

УДК 355.351

С.О. Стародубцев, Ю.І. Кушнерук, В.І. Тробюк

Академія внутрішніх військ МВС України, Харків

## МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ РАЦІОНІВ ХАРЧУВАННЯ ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ

*Розглянута та обґрунтована методика вибору оптимального складу раціонів харчування військовослужбовців з використанням математичних моделей лінійного програмування. Визначені вимоги до енергетичної цінності раціонів харчування. Наведені математичні моделі оптимізації раціонів харчування військовослужбовців.*

**Ключові слова:** військовослужбовець, раціон, харчування, їжа, математична модель.

### Вступ

Потреба людини в різних харчових речовинах залежить від багатьох факторів: фізичного навантаження, умов навколишнього середовища, статі, віку, фізичного розвитку й інше, що особливо важливо враховувати при нормуванні харчування різних контингентів військовослужбовців у повсякденному житті, а особливо, при виконанні службово-бойових завдань, де навантаження на організм людини зростає.

Суттєвий вплив на можливості виконання бойового завдання підрозділом має вихідне значення енергії, що накопичене в організмі кожного військовослужбовця та забезпеченість підрозділу продуктами харчування для її поповнення. Це дає підстави для вивчення, дослідження та визначення складу раціонів харчування для військовослужбовців.

**Метою статті** є обґрунтування методики раціонального вибору складу продовольчих пайків (сухих пайків) для військовослужбовців.

### Результати досліджень

З погляду витрат і віддачі енергії людину можна порівняти з машиною: за даний час вона розвиває лише таку кількість механічної енергії, яка відповідає кількості хімічної енергії, що отримана у вигляді їжі. Як і машина, людина працює з певним коефіцієнтом корисної дії, який коливається в залежності від виду діяльності від декількох відсотків до 30%.

Енергетичні витрати на механічну роботу і потребу в енергії зростають зі збільшенням фізичного зусилля професійної роботи. Енергетичні потреби людини при різних професіях коливаються від 2000 до 5000 ккал на добу [1 – 3]. У нормальних умовах людина поглинає таку кількість калорій, яка відповідає необхідній їй кількості енергії. Почуття голоду регулює кількість споживаної їжі і забезпечує постійну рівновагу енергетичного балансу. Порушення цього процесу регуляції викликає втрату ваги чи її збільшення.

В період крайньої недостатності харчування людина в змозі виконувати лише таку роботу, яка відповідає одержуваній нею харчовій енергії. Виключення з цього правила, можливе, лише на короткий час, на період, коли організм існує за рахунок резервів [1, 4].

У випадку зменшення калорійності харчування добова продуктивність значно знижується. Якщо, наприклад, військовослужбовець, що споживає в нормі 4200 ккал, одержує лише 3000 ккал, його продуктивність не може досягти більш 55% його нормальної добової продуктивності [1]. Втрата продуктивності залежить від впливу травлення. Після прийому їжі продуктивність м'язової роботи значно підвищується, а потім поступово падає до рівня, який супроводжується почуттям голоду й втоми. Енергетичні витрати людини складаються з витрати енергії на основний обмін, витрати енергії, зв'язаної з прийомом їжі, м'язовою і розумовою діяльністю.

**Основний обмін** – сукупність процесів обміну речовин і енергії, що відбуваються в організмі людини, що не спить, у спокої, при оптимальній температурі (20 – 22°C).

Витрати енергії при основному обміні (рівень основного обміну) зв'язані тільки з підтримкою життя (роботою серця, кровообігом, подихом, збереженням постійної температури тіла). Рівень основного обміну залежить від статі, віку і росту людини, розміру поверхні тіла, стану центральної нервової системи, інтенсивності діяльності ендокринних залоз, кліматичних і інших умов.

Деяким змінам основний обмін може піддаватися під впливом специфіки службово-бойової діяльності військовослужбовців. Так, основний обмін у льотчиків у дні висотних польотів більше, ніж у нелітні дні. Підвищення основного обміну може бути викликано збільшенням нервово-психічної напруги в складних умовах бойової й учбово-бойової обстановки. Деякі зміни основного обміну спостерігаються у військових моряків при плаванні в південних широтах, у підводників під час походів і т.д.

У середньому для дорослої людини основний обмін дорівнює 4,1868 КДЖ (1 ккал) на 1 кг маси тіла в годину (7 МДж, чи 1680 ккал, у добу для людини з масою тіла 70 кг).

Прийом їжі супроводжується підвищенням витрат енергії, що виявляється найбільше активно через 2-4 години після їжі. Протягом доби витрата енергії в зв'язку з прийомами їжі складає близько 10-15% величини основного обміну, тобто 0,1-0,15

ккал на 1 кг маси тіла в годину. При цьому найбільше підвищення основного обміну викликають білки (30-40%), на другому місці стоять жири (до 14%) і потім вуглеводи (4-7%).

Розумова чи автоматизована військова праця супроводжується незначною витратою енергії – не більш 0,42 МДж (100 ккал) у годину. Коли ж переважають фізичні навантаження, витрачається 0,84-1,3 МДж (200-300 ккал) у годину і більш.

Орієнтовно енерговитрати військовослужбовців можуть бути визначені таблично-хронометричним способом. Для цього точно враховується час, затрачений на різні види діяльності, а потім по таблицях розраховується витрата енергії. Дані про енерговитрати, що можуть бути використані при розрахунках добової витрати енергії військовослужбовцями, приведені у [1].

Особовий склад механізованих підрозділів витрачає за час наступальних дій до 1,5 – 1,7 МДж/год (351 – 494 ккал/год), механіки-водії в середньому 1,6 МДж/год (378 ккал/год), водії інженерних машин: 0,5 – 0,8 МДж/год (114 – 190 ккал/год) [5].

При вирішенні питань нормування харчування й оцінці пайків і раціонів харчування найбільш важливими є добові енерговитрати військовослужбовців. За даними науково-дослідної лабораторії харчування ВМА ім. С. М. Кірова добові енерговитрати солдатів механізованих підрозділів із середньою масою тіла 65 кг у період зимових 4-денних навчань склали 18,9 МДж (4506 ккал). Добові енерговитрати у солдатів операторського профілю складають: у лінійних телефоністів 12,4 МДж (2957 ккал), у телеграфістів 11,4 МДж (2710 ккал) [5]. Професор Петровський К. С. наводить дані енерговитрат у офіцерів старших віків (40 років і більше): у офіцерів, стройових частин 13,4 МДж (3200 ккал), у офіцерів штабів і управлінь 11,7 МДж (2800 ккал) [1].

Рівень енергетичних витрат дозволяє оцінити кількісну сторону існуючого харчування військовослужбовців і є підставою для обґрунтування методики раціонального вибору складу продовольчих пайків.

**Визначення вимог до енергетичної цінності раціонів харчування.** Уся величезна розмаїтість харчових продуктів, що людині вживає в їжу, зводиться до 6 основних компонентів. Ці компоненти, що входять до складу будь-якого продукту, називаються харчовими речовинами. До харчових речовин відносяться: білки; вуглеводи (включаючи клітковину); жири (насичені і ненасичені); вітаміни (жиророзчинні і водорозчинні); мінеральні речовини чи мінерали; вода.

У кожному продукті своє співвідношення харчових компонентів, що, власне, і пояснює розходження у властивостях усіх продуктів.

**Білки.** Білки – це основний будівельний матеріал організму, необхідний для утворення нових м'язових волокон, відновлення травмованих і заміни відмерлих тканин у всіх органах. Крім того, усі ферменти, тобто регулятори хімічних процесів в організмі, також є білками. Великі молекули білків скла-

даються з більш дрібних по розмірах амінокислот, що, усередині білка з'єднуються між собою, як ланки одного ланцюжка. Частина амінокислот може надходити в організм тільки ззовні з їжею; такі амінокислоти називаються незамінними. Інші амінокислоти – замінні, тому що вони утворюються в організмі за рахунок внутрішніх процесів. Тому повноцінність білкових продуктів багато в чому визначається змістом у них незамінних амінокислот.

**Вуглеводи.** Ці речовини є основним джерелом енергії для роботи м'язів і всього організму в цілому. Крім того, вуглеводи забезпечують харчуванням клітки кори головного мозку. Частина вуглеводів являє собою так названу клітковину, що практично не засвоюється організмом (наприклад, м'якоть огірків, бананів і багатьох фруктів). Найпростішим прикладом енергетично коштовного вуглеводу є глюкоза і фруктоза.

**Жири.** Жири (ліпіди) також важливий енергетичний і будівельний компонент їжі. Жири забезпечують енергетику м'язів при тривалій і неінтенсивній роботі, будучи власне кажучи субстратом (основою) витривалості організму. Молекули ліпідів входять до складу оболонки кліток усіх тканин людини, а підшкірний жировий шар служить тепло ізолятором, підтримуючи постійну температуру тіла.

**Вітаміни.** Вітаміни присутні в деяких продуктах харчування в невеликих кількостях, але впливають на найважливіші функції організму (такі як гормональний баланс, імунітет, зір). Як правило, вітаміни є необхідним додатковим фактором у більшості хімічних реакцій, керованих ферментами. Тому авітаміноз, тобто недолік того чи іншого вітаміну може стати причиною серйозного захворювання.

Вітаміни розрізняють водорозчинні, (вітаміни групи В, аскорбінова кислота, вітамін РР і ін.) і жиророзчинні, (вітаміни А, Е).

У принципі, збалансований щоденний раціон харчування покриває потреби людського організму у вітамінах і мінералах. Однак, у багатьох випадках приходиться прибігати до спеціальних вітамінних препаратів-добавок, що містять або окремі відсутні вітаміни, або комплекси різних вітамінів і мінералів.

Поза залежністю від часу року фізичні перевантаження військовослужбовців практично завжди вимагають підвищеного змісту вітамінів у раціоні харчування. Теоретично збільшити кількість вітамінів можна за рахунок збільшення кількості споживаних фруктів, овочів і зелені. Але прості розрахунки показують, що для підтримки вітамінного балансу організму військовослужбовцю при щоденних тренуваннях необхідно з'їдати більш 3-х кг овочів, фруктів і зелені.

**Мінерали.** Багато чого з того, що сказано про вітаміни, справедливо і для мінералів. Це окремі низькомолекулярні речовини, солі й іони солей, що навіть у мікро кількостях підтримують у нормі багато функцій організму. Так, іони кальцію забезпечують міцність кісток, співвідношення іонів калію і натрію визначають тонус м'язів, від змісту заліза в організмі залежить нормальний рівень гемоглобіну і

т.д. Усього нараховують більш 30 мінералів і мікроелементів, без яких неможливе нормальне функціонування організму.

Як і у випадку з вітамінами, часто виникають ситуації, коли харчових продуктів недостатньо для підтримки балансу мінералів. Тому якісні полівітамінні препарати, як правило, містять і необхідні добавки мінералів і мікроелементів.

*Формула збалансованого харчування.* Добовий раціон харчування вважається збалансованим, якщо він містить найбільш доцільну кількість білків, жирів і вуглеводів, мінералів, вітамінів і води, що відповідає всім запитам організму людини в залежності від умов її життя, професійної діяльності, активності і т.д., що разом цілком покривають енергетичні витрати організму. Таке співвідношення дає так називана формула збалансованого харчування. У цій формулі визначається співвідношення білків, жирів і вуглеводів у щоденному раціоні (хоча, природно, він може складатися з найрізноманітніших продуктів харчування): білки/жири/вуглеводи = 14%:30%:56% [1].

Фахівці в галузі харчування розрахували зміст основних харчових речовин (включаючи вітаміни і мінерали) практично для будь-якого продукту харчування.

*Енергетична цінність і склад раціону харчування військовослужбовців.* Як і в звичайному харчуванні, калорійність раціону харчування за рахунок складових його білків, жирів і вуглеводів повинні цілком покривати енерговитрати організму військовослужбовців. З погляду їх харчування головна особливість полягає в тому, що енерговитрати при службово-бойовій діяльності значно вищі. Відповідно до формули харчування А.А. Покровського для здорової дорослої людини (вагою тіла 70-75 кг), що веде активний спосіб життя, калорійність раціону складає 3000 ккал. У цілому, можна бачити, що енерговитрати, а отже і калорійність добового раціону харчування військовослужбовців на будь-якому етапі їхньої діяльності (тренуваннях, тактичних навчаннях, при виконанні бойових завдань, відновленні сил після бою) у два-три раз вище чим у звичайної людини і складає від 4000 до 8000 ккал (у залежності від виду службово-бойової діяльності).

Сумарна калорійність раціону досягається за рахунок енергетичної цінності вхідних у нього білків, жирів і вуглеводів. Зі збільшенням енерговитрат, природно, зростає і потреба організму військовослужбовця в енергії і відповідно в харчових речовинах. Однак при цьому варто знати, що надмірне збільшення кількості білку може впливати на організм. Так, збільшення рівня сечовини (основний продукт розпаду білків) сповільнює відновлення після навантажень. Тому в порівнянні з раціоном звичайного харчування для військовослужбовців повинне бути змінене співвідношення між складом білків, жирів та вуглеводів.

Енергетичні витрати військовослужбовця складаються з основного обміну та енергетичних витрат, що необхідні для СБД. У нормальних умовах люди-

на повинна поглинати таку кількість калорій, яка відповідає необхідним витратам енергії. Ступінь добової збалансованості харчування визначено за формулою:

$$B = E_p / E_v, \quad \text{якщо } E_p \leq E_v;$$

$$1, \quad \text{якщо } E_p > E_v,$$

де  $E_p$  – енергія, що міститься в добовому раціоні військовослужбовця;  $E_v$  – енергія, що втрачається військовослужбовцем при виконанні службово-бойових завдань за добу.

Добовий раціон харчування вважається збалансованим, якщо він містить найбільш доцільну кількість основних компонентів: білків, жирів і вуглеводів, що відповідає всім запитам організму людини в залежності від умов її життя, професійної діяльності, що разом цілком покривають енергетичні витрати організму. Таке співвідношення дає формула збалансованого харчування Покровського В.А.[5]:  $k_b/k_g/k_u = 0,14/0,3/0,56$ , де  $k_b$  – доля білків,  $k_g$  – доля жирів,  $k_u$  – доля вуглеводів у раціоні харчування ( $k_b+k_g+k_u=1$ ). У харчуванні військовослужбовців співвідношення компонентів їжі в раціоні виглядає в такий спосіб:

$$E = 4500 \dots 5000 \text{ ккал: } k_b/k_g/k_u = 0,13/0,29/0,58;$$

$$E = 5500 \dots 6500 \text{ ккал: } k_b/k_g/k_u = 0,12/0,28/0,60;$$

$$E = 6500 \dots 8000 \text{ ккал } k_b/k_g/k_u = 0,11/0,27/0,62.$$

**Математичні моделі оптимізації раціонів харчування військовослужбовців.** Надамо математичні формулювання задач оптимізації польових раціонів харчування, що засновані на відомій класичній оптимізаційній моделі лінійного програмування – так званої задачі про дієту.

Опишемо вихідні данні задачі оптимізації раціону харчування для одного військовослужбовця:  $n$  – кількість видів продуктів харчування, що пропонується для раціону;  $p_j (j = \overline{1, n})$ ,  $g$  – маса продукту  $j$ -го виду, яка може бути забезпечена на добу;  $b_j (j = \overline{1, n})$ , кДж – енергетична цінність білка, що міститься в  $1g$  продукту  $j$ -го виду;  $g_j (j = \overline{1, n})$ , кДж – енергетична цінність жиру що міститься в  $1g$  продукту  $j$ -го виду;  $u (j = \overline{1, n})$ , кДж – енергетична цінність вуглеводів що міститься в  $1g$  продукту  $j$ -го виду;  $K_b, K_g, K_u$  – частки (долі) білків, жирів та вуглеводів відповідно, що повинно міститися в раціоні харчування ( $K_b + K_g + K_u = 1$ );  $E_0$ , кДж – задана сумарна енергетична цінність раціону харчування на добу

Сформулюємо відповідну задачу оптимізації наступним чином:

Визначити оптимальний раціон харчування за критерієм мінімуму сумарної маси продуктів харчування за добу на одного військовослужбовця при умові обмежень на енергетичну цінність раціону та маси продуктів, які є в наявності.

Математична модель задачі має такий вигляд:

$$V(x) = \sum_{j=1}^n x_j \longrightarrow \min; \quad B(x) = \sum_{j=1}^n b_j x_j = k_b E_0. \quad (1)$$

$$G(x) = \sum_{j=1}^n g_j x_j = K_g E_0; \quad U(x) = \sum_{j=1}^n u_j x_j = K_u E_0;$$

$$0 \leq x_j \leq p_j, \quad j = \overline{1, n},$$

де  $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]$  – шуканий план раціону харчування;  $B(x)$ ,  $G(x)$ ,  $U(x)$  – енергетичні цінності білків, жирів, та вуглеводів відповідно для шуканого плану раціону харчування  $x$ .

Продукти харчування, що переносяться, займають цілком визначений об'єм.

Природно, що рух підрозділів, особливо по пересіченій місцевості, утруднено, якщо габарити продуктів, що переносяться великі. Нехай  $W_j$  – питомий обсяг одного грама продукту  $j$  (дм<sup>3</sup>/г).

Тоді обмеження на загальний об'єм продуктів харчування визначається виразом:

$$W(x) = \sum_{j=1}^n w_j x_j \leq W_0, \quad (2)$$

де  $W_0$  – заданий об'єм продуктів харчування (дм<sup>3</sup>).

Природно, що для рішення відповідної задачі треба додати обмеження (2) до моделі (1)

В деяких випадках має сенс розглянути зворотню задачу до задачі (1): визначити оптимальний раціон харчування за критерієм максимуму енергетичної цінності раціону харчування за добу на одного військово-службовця при умові обмежень на сумарну масу продуктів харчування та маси продуктів які є в наявності. Відповідна математична модель матиме такий вигляд:

$$E_0 \rightarrow \max; \quad B(x) = K_b E_0;$$

$$G(x) = K_g E_0; \quad U(x) = K_u E_0;$$

$$V(x) \leq V_0; \quad 0 \leq x_j \leq p_j, \quad j = \overline{1, n},$$

де  $V_0$  – максимально можлива сумарна маса раціону харчування за добу на одного військово-службовця

Сформульовані задачі відносяться до класу задач лінійного програмування [7], і вирішуються за алгоритмом симплекс-методу, наприклад, за процедурою "Поиск решения" в MS Excel.

## Висновки

Таким чином, з погляду витрат і віддачі енергії людину можна порівняти з машиною: за даний час вона розвиває лише таку кількість механічної енергії, яка відповідає кількості хімічної енергії, що

отримана у вигляді їжі. Суттєвий вплив на можливість виконання бойового завдання підрозділом має вихідне значення енергії, що накопичене в організмі кожного військовослужбовця та забезпеченість підрозділу продуктами харчування для її поповнення. Це дає підстави для визначення для вивчення ще одної складової бойового потенціалу підрозділів так названого біоенергетичного потенціалу.

Сформульовані вимоги до енергетичної цінності раціонів харчування військовослужбовців та розроблена методика її розрахунку. Розроблені математичні моделі оптимізації раціонів харчування військовослужбовців, що засновані на відомій класичній оптимізаційній моделі лінійного програмування – так названої задачі про дієту. При цьому сформульовано:

1) задачу мінімізації загальної ваги продуктів при заданій їхній енергетичній цінності;

2) задачу формування раціону харчування із максимальною енергетичною цінністю при заданій загальній вазі продуктів;

3) задачу мінімізації загальної ваги продуктів при заданій їхній енергетичній цінності і при обмеженні на загальний об'єм продуктів.

Математичні моделі оптимізації раціонів харчування військовослужбовців можуть бути застосовані для обґрунтування бойового раціону харчування (сухого пайка) для військових підрозділів.

## Список літератури

1. *Научные основы рационального питания военнослужащих: Учеб. пособ.* – Вольск: ВВУТ, 1995. – 356 с.
2. *Голубберг В.Н. Рациональное питание военнослужащих.* – М.: Воениздат, 1976. – 316 с.
3. *Смоляр В.И. Рациональное питание.* – К.: Наукова думка, 1991. – 368 с.
4. *Шеррер Ж. Физиология труда (эргономия).* – М., 1973. – 496 с.
5. *Войсковое питание.* – М.: МО СССР, Академия тыла и транспорта, 1977. – 364 с.
6. *Руководство по определению химического состава и энергетической ценности продуктов питания, производственных пайков и рационов.* – М.: МО СССР, Воениздат, 1983. – 64 с.
7. *Гольштейн Е.Г. Юдин Д.Б. Задачи и методы линейного программирования.* – М.: Наука, 1969. – 382 с.

Надійшла до редколегії 21.05.2008

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. І.О. Кириченко, Харківський університет Повітряних сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ РАЦИОНОВ ПИТАНИЯ ВОЕННОСЛУЖАЩИХ

С.А. Стародубцев, Ю.И. Кушнерук, В.И. Троб'юк

*Рассмотрена и обоснована методика выбора оптимального состава рационов питания военнослужащих с использованием математических моделей линейного программирования. Определены требования к энергетической ценности рационов питания. Приведены математические модели оптимизации рационов питания военнослужащих.*

**Ключевые слова:** *военнослужащий, рацион, питание, еда, математическая модель.*

## MATHEMATICAL MODELS OF OPTIMIZATION OF RATIONS OF FEED OF SERVICEMEN

S.O. Starodubcev, Yu.I. Kushneruk, V.I. Trob'uk

*Considered and grounded method of choice of optimum composition of rations of feed of servicemen with the use of mathematical models of the linear programming. Certain requirement to the power value of rations of feed. The mathematical models of optimization of rations of feed of servicemen are resulted.*

**Keywords:** *serviceman, ration, feed, meal, mathematical model.*