

УДК 630*432.0

Ю.Т. Цай, В.М. Груманс

Цай Юрий Тимофеевич родился в 1946 г., окончил в 1968 г. Красноярский сельскохозяйственный институт, кандидат технических наук, профессор, академик МА-НЭБ, заведующий отделом организации лесопожарных работ и экономических исследований ВНИИПОМлесхоза, лауреат золотой медали им. М.В. Ломоносова. Имеет около 130 печатных работ по вопросам механизации сельскохозяйственного и лесохозяйственного производства, охраны труда и безопасности лесных пожарных.



Груманс Виктор Михайлович родился в 1951 г., окончил в 1974 г. Красноярский государственный университет, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела организации лесопожарных работ и экономических исследований ВНИИПОМлесхоза. Имеет около 100 печатных работ по проблеме охраны лесов от пожаров.



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СУТОЧНОГО РАЦИОНА ПИТАНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРНЫХ

Определены основные требования к рациону питания лесных пожарных в полевых условиях. Его оптимизация представлена как задача линейного программирования. Рассчитанные нормы питания сбалансированы.

Ключевые слова: нормативы питания, лесные пожарные, суточный рацион, оптимизация, линейное программирование, ограничение, калорийность.

Питание существенно влияет на физическое состояние лесного пожарного и, следовательно, его работоспособность. Потребность в питательных веществах (белки, жиры, углеводы, микроэлементы) зависит от массы человека, возраста, пола, занятий, интенсивности труда, физиологических особенностей, климатических условий и других факторов. Организм человека нуждается в постоянном притоке питательных веществ, необходимых для нормальной работы организма. Часть их превращается в строительный материал для клеток, наибольшая же затрачивается на образование жизненной энергии. Энергетическая ценность продуктов питания оценивается в килокалориях. При сгорании 1 г белка и 1 г углеводов образуется 4,1 ккал, 1 г жира – 9,3 ккал [2, 4]. Потребность человеческого организма зависит от энергетических потерь во время физической работы. Чем она тяжелее, тем больше затрачивается энергии и тем больше калорий должен получить организм с пищей.

Условия труда рабочих, занятых на тушении лесных пожаров, имеют ряд особенностей: воздействие опасных факторов лесных пожаров и внешней среды (задымленность, угарный газ, углекислый газ, повышенная температура, открытое пламя пожара, искры, тепловое излучение, комары, клещи, мошка, нервно-психологические и физические перегрузки); нерав-

номерность напряженности труда в разные периоды времени; удлинение рабочего дня при тушении лесных пожаров; большие физические нагрузки; дробление рабочего времени пожарного (утро, вечер, ночь); проживание и ночлег пожарных в лесу в полевом лагере; отдаленность работы от места проживания и др. Согласно классификации [1, 3], условия труда лесных пожарных по тяжести и интенсивности соответствуют 4-му классу: опасные (экстремальные), воздействие которых в течение рабочей смены (или ее части) создает угрозу для жизни, высокий риск возникновения тяжелых форм острых профессиональных поражений. К этому классу относятся парашютисты-пожарные; десантники-пожарные; инструкторы парашютно-пожарных и десантно-пожарных групп; рабочие лесопожарных бригад; бригадиры лесопожарных бригад; трактористы-машинисты; водители по доставке людей, пожарного оборудования и огнетушащих материалов; руководители тушения пожара; рабочие, занятые на тушении лесных пожаров.

Для определения оптимального суточного рациона питания исходные данные и условные обозначения представлены в форме табл. 1.

Введем дополнительные обозначения:

a_j – количество усваиваемых веществ j -го вида, которое необходимо в ежедневном рационе лесного пожарного ($j = 1$ – белок; $j = 2$ – жиры; $j = 3$ – углеводы), г;

u^* – необходимая суточная энергетическая ценность продуктов питания, ккал.

Таблица 1

Продукт*	Усваиваемые вещества j -го вида в 100 г i -го продукта (a_{ij}) г			Энергетическая ценность (u_i), ккал	Стоимость i -го продукта (c_i), р.
	Белки (a_{i1})	Жиры (a_{i2})	Углеводы (a_{i3})		
Хлеб пшеничный (x_1)	6,9 (a_{11})	0,4 (a_{12})	45,2 (a_{13})	217 (u_1)	1,35 (c_1)
...
Молоко сгущенное с сахаром (x_4)	6,8 (a_{41})	8,3 (a_{42})	53,5 (a_{43})	324 (u_4)	5,60 (c_4)
...
Макаронные изделия (x_i)	9,3 (a_{i1})	0,8 (a_{i2})	70,9 (a_{i3})	336 (u_i)	1,30 (c_i)
...

* x_i – количество i -го продукта.

Тогда суммарные затраты на питание одного пожарного в сутки равны:

$$Z = \sum_{i=1}^n c_i x_i ; \quad (1)$$

количество усваиваемых веществ j -го вида:

$$A_j = \sum_{i=1}^n a_{ij} x_i ; \quad (2)$$

количество потребляемых калорий:

$$U = \sum_{i=1}^n u_i x_i . \quad (3)$$

Задача оптимизации может быть сформулирована как задача линейного программирования: найти

$$\min_{x_i} \sum_{i=1}^n c_i x_i \quad (4)$$

при следующих ограничениях:

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} x_i \geq a_j , \quad j = 1, 2, 3; \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n u_i x_i \geq u^* ; \quad (6)$$

$$x_i \geq 0. \quad (7)$$

Основные требования к питанию: суточная энергетическая ценность продуктов на одного лесного пожарного 5500 ккал; соотношение белков, жиров и углеводов по массе 1,0:1,2:4,6; питание должно быть разнообразным, т. е. кроме белков, жиров и углеводов следует включать микроэлементы и витамины (поливитамин «Компливит», «Ундевит» и др.); 4-разовое: первый завтрак – 10 ... 15 %, второй завтрак – 25 ... 30 %, обед – 40 ... 45 %, ужин – 15 ... 20 % от суточной энергетической ценности.

В соответствии с основными требованиями к питанию введены дополнения к постановке задачи оптимизации суточного рациона.

а) Количество a_j рекомендуется не определять заранее, а пользоваться их соотношением 1,0:1,2:4,6. Для этого найдем необходимое долевое участие усваиваемых веществ a_j' : белки: $a_1' = \frac{1}{1+1,2+4,6} = 0,147$; жиры:

$$a_2' = \frac{1,2}{1+1,2+4,6} = 0,176; \text{ углеводы: } a_3' = \frac{4,6}{1+1,2+4,6} = 0,677. \text{ Тогда}$$

$$a_j = a_j' \sum_{i,j} a_{ij} x_i = a_j' \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^3 a_{ij} x_i$$

и ограничение (5) запишем в виде

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} x_i \geq a_j' \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^3 a_{ij} x_i , \quad j = 1,2,3 \quad (8)$$

или

$$\sum_{i=1}^n \left(a_{ij} - a'_j \sum_{j=1}^3 a_{ij} \right) x_i \geq 0. \quad (9)$$

В целях подготовки исходной информации к конкретным расчетам необходимо определить коэффициенты $a_{ij}^* = a_{ij} - a'_j \sum_{j=1}^3 a_{ij}$. Следовательно, значения, приведенные в табл. 1 (графы 2–4), нужно заменить следующим образом:

в графе 2 (белки):

$$a_{i1}^* = a_{i1} - 0,147 (a_{i1} + a_{i2} + a_{i3}); \quad (10)$$

в графе 3 (жиры):

$$a_{i2}^* = a_{i2} - 0,176 (a_{i1} + a_{i2} + a_{i3}); \quad (11)$$

в графе 4 (углеводы):

$$a_{i3}^* = a_{i3} - 0,677 (a_{i1} + a_{i2} + a_{i3}). \quad (12)$$

Например, $a_{11} = 5,1$ (см. табл. 1), тогда $a_{11}^* = 6,9 - 0,147 (6,9 + 0,4 + 45,2) = -0,8175$.

Аналогично рассчитывают все другие значения a_{ij}^* по формулам (10)–(12).

б) Вводить ограничения по энергетической ценности в расчете на 4-разовое питание. Для этого разобьем u^* на четыре составляющие: $u_1^* + u_2^* + u_3^* + u_4^*$, где $u_1^* : u_2^* : u_3^* : u_4^* = 0,15 : 0,25 : 0,40 : 0,20$.

В качестве u^* примем установленную по результатам экспериментальных исследований и из литературных источников величину $u^* = 5500$ ккал. Тогда $u_1^* = 0,15 \cdot 5500 = 825$; $u_2^* = 0,25 \cdot 5500 = 1375$; $u_3^* = 0,4 \cdot 5500 = 2200$; $u_4^* = 0,2 \cdot 5500 = 1100$.

В этом случае ограничение (6) заменяется четырьмя неравенствами, каждое из них соответствует одному приему пищи.

Чтобы записать эти ограничения, нужно от переменных x_i перейти к новым переменным x_{ik} – количеству i -го продукта, употребляемого в k -й прием пищи ($k = 1$ – первый завтрак; $k = 2$ – второй завтрак; $k = 3$ – обед; $k = 4$ – ужин).

Таким образом, ограничения по энергетической ценности рациона имеют вид

$$\sum_{i=1}^n u_i x_{ik} \geq u_k^*, \quad k = 1, 2, 3, 4. \quad (13)$$

В связи с переходом к новым переменным требуется внести изменения в выражения (4) и (9).

Найти $\min_{x_k} \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^4 c_i x_{ik}$ при ограничениях:

по белкам:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^4 \left(a_{i1} - 0,147 \sum_{j=1}^3 a_{ij} \right) x_{ik} \geq 0;$$

по жирам:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^4 \left(a_{i2} - 0,176 \sum_{j=1}^3 a_{ij} \right) x_{ik} \geq 0;$$

по углеводам:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^4 \left(a_{i3} - 0,677 \sum_{j=1}^3 a_{ij} \right) x_{ik} \geq 0;$$

по энергетической ценности первого завтрака:

$$\sum_{i=1}^n u_i x_{i1} \geq 825;$$

второго завтрака:

$$\sum_{i=1}^n u_i x_{i2} \geq 1375;$$

обеда:

$$\sum_{i=1}^n u_i x_{i3} \geq 2200;$$

ужина:

$$\sum_{i=1}^n u_i x_{i4} \geq 1100.$$

Таким образом, имеем линейную целевую функцию и систему линейных ограничений. Данная задача решена на компьютере с помощью симплекс-метода, который реализован в пакете программ «STATGRAF». Рассчитаны суточные нормы питания на одного лесного пожарного (табл. 2).

При использовании сухого пайка в его состав необходимо включить продукты, не требующие кулинарной обработки, и дополнительные биологически активные вещества. Сухой паек предназначается для индивидуального использования и должен быть пригодным для употребления без какой-либо обработки; по составу соответствовать привычной пище пожарного; содержать минимальное количество воды; иметь защитную воздухо- и влагонепроницаемую упаковку; необходимо, чтобы каждая затаренная еди-

Таблица 2

Продукт	Суточная норма на 1 чел., г	Усваиваемые вещества, г			Калорийность, ккал	Стоимость**, р.
		Белки	Жиры	Углеводы		
Мясо тушеное (говядина тушеная, свинина тушеная, мясо в белом соусе и др.)	340	51,0	68,0	1,2	851,5	27,0
Колбаса сырокопченая (сало)*	100	20,4	37,4	–	431,0	15,0
Консервы рыбные в масле	125	3,8	58,3	1,4	156,3	7,0
Масло сливочное (топленое)*	80	0,6	39,1	0,3	695,0	6,0
Сыр 50 %-й жирности	50	9,0	12,0	1,3	189,5	5,0
Крупа (гречка, рис, овсянка и др.) или	150	10,0	1,4	109,2	501,0	2,0
Макаронные изделия или	150	14,0	1,2	106,4	504,0	2,0

Картофель, овощи	300	5,1	–	60,0	258,0	2,0
Молоко сгущенное с сахаром	80	5,4	6,6	42,8	259,2	3,7
Карамель с начинкой	20	–	–	20,0	60,0	1,0
Сахар-рафинад, песок	50	–	–	49,9	200,0	1,2
Хлеб пшеничный	500	31,7	2,3	253,3	1085,0	7,0
Сухари пшеничные (галеты, пряники)	100	10,5	1,2	68,5	335,0	1,5
Лук репчатый (чеснок, специи)	50	1,0	–	3,5	21,2	0,5
Соль пищевая	20	–	–	-	-	0,1
Чай	20	–	–	3,0	12,0	4,8
Какао порошок с молоком и сахаром	20	3,6	3,0	2,7	89,5	1,0
Кетчуп	50	0,4	–	1,6	8,2	1,2
Соки плодовые и ягодные	200	0,6	220 мл калия	24,0	120,0	4,5
Шоколад*	50	3,5	20,0	22,1	275,0	7,0
Фрукты свежие или изюм, курага и др.*	200	0,6	–	23,0	115,5	5,0
Поливитамины «Компливит», «Ундевит» и др.	1 шт.			Витамины А, В, С, Е и микроэлементы		1,0
Итого:	2130	153,0	250,0	633,4	5405,0	101,5

* По желанию работающих продукты могут быть заменены на равноценные.

** Стоимость продуктов питания определена на 01.01.04 г.

ница соответствовала одному приему пищи или блюду; пищевая и энергетическая ценность сухого пайка покрывала среднесуточные энергозатраты; биологическая полноценность сухого пайка обеспечивалась за счет сохранения в нем природных биологических свойств продуктов, а также дополнительного включения комплекса биологически активных веществ (витамины, микроэлементы и др.).

В условиях повышенных температур для работающих важно сохранить водный баланс организма. В процессе теплоотдачи, которая происходит, главным образом, в виде потоотделения, терморегуляция организма значительно ухудшается, что приводит к большим потерям воды и минеральных солей. При неблагоприятных условиях потеря жидкости организмом может достичь 8 ... 10 дм³ за смену, в том числе 60 г поваренной соли. Следует знать, что при увеличении потери воды ее восполнение сокращается. Так, при потере воды 20 г/ч восполнение происходит на 95 %, при 500 г/ч – на 75, при 750 г/ч – на 50 %. Потеря же 2 % жидкости (1,5 л) для человека массой 70 кг соответствует потере работоспособности на 20 %, 4 % – 40 %, при потере 10 % возможен летальный исход, так как сгущается кровь, нарушается деятельность сердечно-сосудистой системы, питание тканей и органов. Соблюдение рационального питьевого режима – важное условие обеспечения выносливости лесных пожарных. Для здорового человека в климатических условиях средней полосы объем выпиваемой жидкости должен составлять 2,0 ... 2,5 л, при повышенной температуре окружающей сре-

ды – до 3,5 л. При механизированном и тяжелом труде, когда температура окружающей среды составляет $+(39 \dots 40)^\circ\text{C}$ и выше, объем потребляемой воды на одного работающего увеличивается от 4 до 6 ... 8 л в сутки. При выполнении тяжелой физической работы чувство жажды притупляется и трудно определить потерю воды организмом, поэтому рекомендуется пить воду во время работы до появления чувства жажды. Ее утоление обычно наступает через 10 ... 15 мин после приема жидкости, поэтому при повышенных температурах и усиленном потоотделении воду лучше пить несколькими глотками (150 ... 200 г) с кратковременными промежутками (10 ... 15 мин). При индивидуальном режиме потребления жидкости следует руководствоваться общим самочувствием, работоспособностью и степенью нагретости кожи. Если кожа сухая и теплая, необходимо увеличить прием жидкости; если пот течет по телу каплями, надо пить меньше; если кожа под одеждой влажная, режим питья можно считать правильным. Температура питьевой воды не должна быть выше $+20$ и ниже $+7^\circ\text{C}$, оптимальная $+(8 \dots 12)^\circ\text{C}$. Тем, кто сильно потеет и испытывает постоянную жажду, можно до завтрака съесть 5 ... 10 г соли и запить водой до полного утоления жажды, однако избыточное потребление соли также вредно. При напряженной физической работе в условиях повышенной температуры окружающей среды резко повышается потребность в витамине С, источником которого являются овощи, ягоды, фрукты, поэтому эффективно употребление подкисленной воды с добавлением органических кислот (лимонная, клюквенная), можно также полоскать рот минеральной водой.

Изложенное позволяет заключить, что работающие на тушении лесных пожаров в течение суток затрачивают энергии от 21500 до 22900 кДж (от 5100 до 5500 ккал). В связи с этим суточные нормы питания и калорийность продуктов рассчитаны из средних энергозатрат лесных пожарных на выполнение различных видов лесопожарных работ. Предложенные нормативы питания сбалансированы, т. е. соотношение белков, жиров и углеводов в рационе (г) равно 1,0 : 1,2 : 4,6. В рацион питания включены разнообразные продукты, включая белки, жиры, углеводы, минеральные вещества, микроэлементы и витамины в соответствующих сочетаниях и количествах. При тушении лесных пожаров обоснованным и физически выгодным считается 4-разовое питание, что обеспечивает равномерную нагрузку на органы пищеварения и наиболее полную ферментативную обработку пищи. Рекомендуется следующее суточное распределение рациона: первый завтрак – 10 ... 15; второй завтрак – 25 ... 30; обед – 40 ... 45; ужин – 15 ... 20 %. Распределение питания по времени должно осуществляться в зависимости от конкретных условий, но в определенные промежутки времени. При тяжелом труде объем потребляемой жидкости на одного лесного пожарного составляет 6...8 л в сутки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гигиенические критерии оценки и классификации условий труда по показателям вредности и опасных факторов производственной среды, тяжести и на-

пряженности трудового процесса [Текст]. – М.: Агрохим, 2000. – 162 с.

2. Головина, И.А. Снижение веса (методические рекомендации) [Текст] / И.А. Головина. – Красноярск, 1999. – 21 с.

3. Классификация основных видов работ и профессий по степени вредности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса в лесном хозяйстве [Текст]. – М., 1997. – 140 с.

4. Коломийцев, Ф.М. Профилактика преждевременной старости [Текст] / Ф.М. Коломийцев. – М.: Медицина, 1964. – 98 с.

ВНИИПОМлесхоз

Поступила 20.09.04

Yu.T. Tsai, V.M. Grumans

Determination of Optimal Daily Food Allowance for Forest Firemen

The main requirements to daily food allowance for forest firemen in the field conditions are set. Its optimization is presented as a linear programming problem. The estimated food norms are balanced.