

УДК 004.942

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ ПРИ СОЗДАНИИ СМЕСЕЙ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ ДЛЯ ЗДОРОВОГО ПИТАНИЯ

Усатиков С.В., Тимофеев Т.И., Руденко О.В., Никонович С.Н.,  
Бирбасова А.В., Овчаров Д.А.

ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет»,  
Краснодар, e-mail: kiddy\_1988@mail.ru

Рассмотрена методика расчета рецептур купажированных масел для создания смесей специализированного воздействия. Задача оптимизации решена с помощью методов математического программирования с квадратичной целевой функцией и линейными ограничениями. В статье приведен основной алгоритм программы для оптимизации весового (или %) состава многокомпонентных смесей растительных масел с учетом современных требований рационального питания. Разработаны смеси масел для ежедневного потребления с соотношением омега-6 к омега-3 равным 10 к 1, предназначенные для потребления здоровым населением. В лабораторных условиях определен состав жирных кислот смеси. С помощью разработанной программы создаются не только рецептуры продуктов, сбалансированных для достижения специализированных задач с известным процентным содержанием главных жирных кислот, но и рассчитывается количество масла, рекомендованное для удовлетворения суточной потребности в полиненасыщенных жирных кислотах.

**Ключевые слова:** методы оптимизации, математическое программирование, полиненасыщенные жирные кислоты, соотношение  $\omega$ -6 к  $\omega$ -3, рациональное питание

## ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF USE OF THE COMPUTER PROGRAM AT CREATION OF MIXES OF VEGETABLE OILS FOR HEALTHY FOOD

Usatikov S.V., Timofeenko T.I., Rudenko O.V., Nikonovich S.N.,  
Birbasova A.V., Ovcharov D.A.

FGBOU VPO «Kuban State Technological University», Krasnodar, e-mail: kiddy\_1988@mail.ru

The method of calculating recipes blended oils to create specialized mixes influences. The optimization problem is solved using mathematical programming methods with a quadratic objective function and linear constraints. The paper presents the basic algorithm of the program to optimize the weight (or%) of multicomponent mixtures of vegetable oils with the current requirements of a balanced diet. Developed oil mixture for daily consumption ratio of omega-6 to omega-3 ratio is 10 to 1, intended for consumption by healthy people. Under laboratory conditions, determined the fatty acid mixture. Using software developed are not only the formulation of products for achieving balanced specialized problems with known percentages of the major fatty acids, but also calculated the quantity of oil to meet the recommended daily requirement of polyunsaturated fatty acids.

**Keywords:** optimization methods, mathematical programming, polyunsaturated fatty acids, ratio  $\omega$ -6 to  $\omega$ -3, balanced diet

Особое место в питании человека занимают полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК) – самое ценное в растительных маслах, которые обладают уникальным спектром лечебно-профилактических эффектов, что расширяет область их применения [3, 10, 2]. Исследования ученых показывают, и это для многих уже известный факт, что ПНЖК необходимы для роста клеток, нормального состояния кожи, обмена холестерина, предотвращают развитие воспалительных процессов [6, 4]. ПНЖК могут поступать в организм с рационом питания в разных количествах, но реализация их биологического действия возможна только при соблюдении конкретного соотношения жирных кислот семейств  $\omega$ -3 и  $\omega$ -6 [1, 5]. В соответствии с нормами физиологических потребностей для различных групп

населения России соотношение кислот  $\omega$ -6 к  $\omega$ -3 в рационе ежедневного питания здорового человека должно быть 10:1, для диетического профилактического питания – 5:1, а для диетического лечебного питания – 3...2:1, содержание мононенасыщенной (МНЖК) олеиновой кислоты – на уровне 30–45% от суммы жирных кислот [8, 9].

Алгоритм программы для оптимизации весового (или %) состава многокомпонентных смесей растительных масел основан на методике расчета рецептур купажированных масел, предназначенной для создания смесей масел ежедневного, а также специализированного воздействия: диетического профилактического и диетического лечебного питания с целью коррекции недостатка ПНЖК в организме. Постановка задачи оптимизации проведена в рамках математического

программирования, с квадратичной целевой функцией и линейными ограничениями. Решение задачи оптимизации – интерфейс пользователя, подготовка исходных данных для счёта, запуск счёта и выдача его результатов – реализовано на C# в исполнимом модуле под MS Windows XP и выше (рисунок). Структура модуля следующая. Данные о выбранных для купаживания маслах и требуемых свойствах купажа редактируются пользователем и передаются файлом MS Excel для счёта в MathCAD. Решение задачи квадратического программирования производится средствами математической инструментальной среды MathCAD v.15.0. Результаты счёта передаются файлом MS Excel для выдачи пользователю.

Исходные данные, необходимые для расчёта, – жирнокислотный (ЖК) состав выбранных масел, собранный в матрицу  $A = (a_{ij})$ : строки – наименования масел,  $1 \leq i \leq n$ , ( $n$  – число компонентов, т.е. видов масел); столбцы – наименования ЖК,  $1 \leq j \leq k$ . В данном случае  $k = 4$ , наименования  $j = 1$  для насыщенных ЖК (НЖК),  $j = 2$  для МНЖК (омега-9),  $j = 3$  для омега-6 и  $j = 4$  для омега-3. Обозначим  $a_{ij}$  – содержание  $j$ -й ЖК в  $i$ -м масле. Если  $a_{ij}$  указано в %, необходим пересчёт в доли или г/г, делением на 100.

Пусть купаж состоит из масел с весом (или долей, или %) равным  $x_i$ , собранным в вектор  $X = \{x_i\}$ . Оптимизация производится для расчёта такого искомого  $X$ , который делает купаж масел с повышенной сбалансированностью. Жирнокислотный состав  $C = \{c_j\}$  смеси определяется соотношением

$$c_j(X) = \sum_{i=1}^n a_{ij} x_i, \quad (1)$$

дающим функцию от искомым аргументов  $X$ . Заметим, что общий вес купажа и искомый процентно-долевой состав купажа:

$$m(X) = \sum_{i=1}^n x_i; \quad p_i(X) = 100\% \frac{x_i}{m(X)}. \quad (2)$$

Если вектор  $X$  – составлен из долей или %, то (2) заменяется на условие нормировки:

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

Создавая смеси, оптимизированные по жирнокислотному составу, необходимо изначально задавать нужное соотношение кислот  $\omega$ -6 к  $\omega$ -3, а также ограничить содержание в смеси олеиновой кислоты МНЖК и НЖК. Ввести ограничения на МНЖК можно с помощью функции

$$\min \leq \frac{c_2(X)}{m(X)} \leq \max, \quad (4)$$

где  $m(x)$  – вес получаемого продукта,  $\min$  и  $\max$  – минимально и максимально допустимые доли МНЖК в купаже. Данными условиями определяются цели оптимизации – достижение максимальной сбалансированности купажа масел с учетом заданного назначения (ежедневное, диетическое профилактическое и диетическое лечебное питание). Если целью оптимизации является достижение максимальной сбалансированности купажа масел, то изначально необходимо задавать суточную потребность в  $\omega$ -6 и  $\omega$ -3 кислотах и нужное соотношение  $\omega$ -6 и  $\omega$ -3 кислот. Обозначим вектором  $B = \{b_j\}$  дополнительную последнюю строку в таблице  $A$ , имеющую смысл суточной потребности в  $j$ -й ЖК, 3-й и 4-й столбцы матрицы  $A$  – для  $\omega$ -6 и  $\omega$ -3 кислот. Тогда для достижения наилучшей сбалансированности купажа масел необходимо максимизировать целевую функцию (показатель сбалансированности):

$$K(X) = 100 \left( 1 - \sqrt{\frac{1}{2} \left\{ \left( \frac{c_3(X)}{b_3} - 1 \right)^2 + \left( \frac{c_4(X)}{b_4} - 1 \right)^2 \right\}} \right) \quad (5)$$

который достигает своего максимально возможного значения только при полном совпадении «эталона»  $B$  с реальным ЖК-составом  $C$  смеси, а в остальных случаях показывает «процент сбалансированности» смеси.

Таким образом, постановка задачи оптимизации (т.е. достижение заданной специализации многокомпонентного купажа масел) следующая: необходимо найти вектор  $X$ , доставляющий максимум целевой функции  $K(X)$  из (4)

$$K(X) \xrightarrow{X=?} \max \quad (6)$$

при уравнениях связи (1) и на допустимом множестве, заданном ограничениями (2)–(4).

Основной алгоритм решения задачи (1)–(6) реализован с помощью операторов и функций MathCAD:

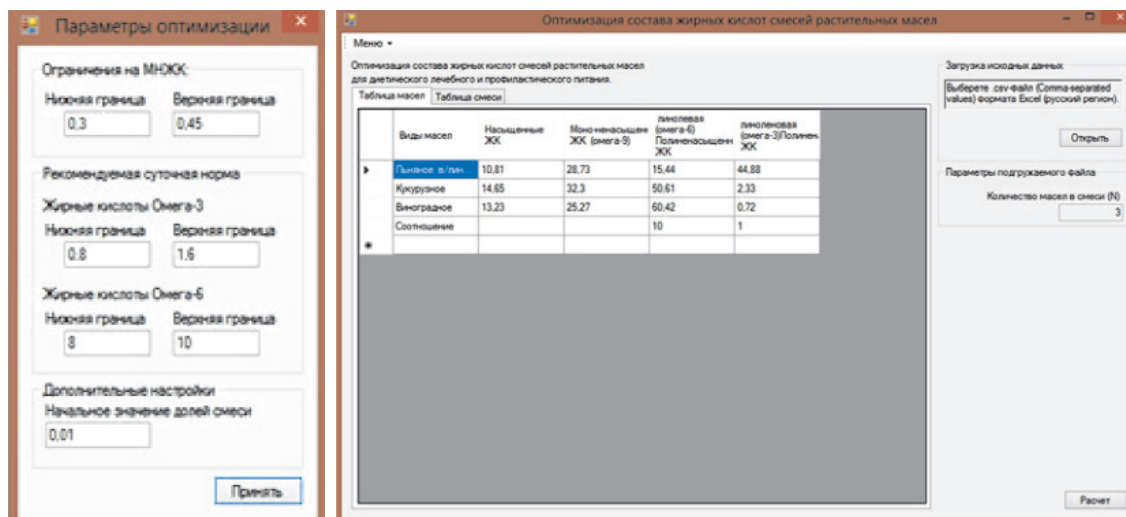
функция желательности всей смеси

$$J(X) = \left( \frac{c_3(X)}{b_3} - 1 \right)^2 + \left( \frac{c_4(X)}{b_4} - 1 \right)^2; \quad (7)$$

$$J(X) \xrightarrow{X=?} \text{Minimize},$$

критерий сбалансированности смеси (%):

$$K(X) = 100 \cdot \left( 1 - \sqrt{\frac{J(X)}{2}} \right) \quad (8)$$



Рабочие окна программы для расчета оптимального состава смеси растительных масел

Для оптимизации весового состава смеси продуктов также необходимо задать начальное приближение для веса (г) каждого продукта: реализовано нулевое для пошагового включения и единичное для пошагового исключения.

Средствами данной программы (рисунок) можно рассчитать двух- или многокомпонентную смесь с заданными параметрами. Если образцы подобраны правильно, в итоге мы получаем купаж с известной концентрацией каждого масла в отдельности в смеси (в пересчете на 100 г). О правильном подборе масел свидетельствует показатель сбалансированности смеси  $K(X)$ , который должен быть равен 100%. В противном случае выбираются другие масла или корректируется начальное приближение для веса каждого продукта. В конце расчетов мы имеем не только сбалансированный продукт, но и долю каждого масла в купаже, а также процентное содержание главных жирных кислот.

Для оценки эффективности компьютерной программы рассчитали рецептуру смеси для ежедневного потребления

здоровым населением. В лабораторных условиях из высококачественного сырья была создана смесь, для которой на хроматографе «Хроматэк-Кристалл» был определен жирнокислотный состав. Результаты расчета смеси и сравнение состава смеси масел согласно программе с полученным составом на приборе представлены в табл. 1 и 2.

**Таблица 1**  
Рецептура смеси растительных масел для ежедневного питания с соотношением омега-6 к омега-3 равным 10/1

Наименование масла	Массовая доля масла в 100 г смеси, %
Льняное в/линоленовое	7,6
Кукурузное	63,6
Виноградное	28,8

Суточная норма потребления смеси составила 17,72 г, чего достаточно для удовлетворения организма в полиненасыщенных жирных кислотах в сутки [9].

**Таблица 2**  
Жирнокислотный состав полученной смеси, % от суммы жирных кислот

Наименование кислоты	Значение показателя	
	Значение, рассчитанное с помощью программы	Значение, полученное при определении состава на хроматографе
МНЖК, %	30,0	30,2
НЖК, %	13,95	13,94
Линолевая, %	50,79	50,77
Линоленовая, %	5,08	5,097
Соотношение омега-6/омега-3	10,0	9,96

Как видно из результатов проведенного опыта, состав смеси, определенный в лабораторных условиях, имеет малое отклонение от состава, рассчитанного компьютерной программой. Соотношение омега-6/омега-3 в разработанной смеси равно 9,96. Таким образом, отклонение от «идеальной смеси» составило 0,04, что говорит об эффективности применения программы в производственных условиях. Данное расхождение можно принять как незначительное, так как на рынке Краснодарского края не существует смесей масел с хотя бы близким к 10/1 соотношением омега-6/омега-3. Также в природе нет растительного масла, где бы соотношение омега-6/омега-3 было 10/1.

С помощью разработанной программы создаются не только рецептуры продуктов, сбалансированных для достижения специализированных задач с известным процентным содержанием главных жирных кислот, но и рассчитывается количество масла, рекомендованное для удовлетворения суточной потребности в полиненасыщенных жирных кислотах. Это позволит создавать принципиально новые, качественные продукты, удовлетворяющие всем требованиям современных норм рационального питания. Также важен тот факт, что программа предусматривает возможность варьирования, как оптимизируемых, так и ограничиваемых параметров при корректировке требований к нормам питания в будущем и, что особенно актуально, с учетом перераспределения в соотношении жирных кислот смешиваемых масел в результате селекции или в связи с изменением климатических условий при выращивании масличных культур.

#### Список литературы

1. Ипатова Л.Г., Кочеткова А.А., Нечаев А.П. Новые направления в создании функциональных жировых продуктов // Масложировая промышленность. – 2006. – № 4. – С. 12–14.
2. Ипатова Л.Г., Кочеткова А.А., Нечаев А.П., Погожева А.В. Эмульсионные жировые продукты для здорового питания // Масложировая промышленность. – 2009. – № 6. – С. 10–12.
3. Ипатова Л.Г., Кочеткова А.А., Нечаев А.П., Тутельян В.А. Жировые продукты для здорового питания // Современный взгляд. – М., 2009. – 396 с.
4. Кулакова С.Н., Байков В.Г., Бессонов В.В., Нечаев А.П., Тарасова В.В. Особенности растительных масел и их роль в питании // Масложировая промышленность. – 2009. – № 3. – С. 16–20.
5. Кулакова, С.Н. Растительные масла нового поколения и их роль в питании // Масла и жиры. – 2006. – № сентябрь. – С. 1–5

6. Левачев М.М. Значение жира в питании здорового и больного человека: справочник по диетологии / под ред. В.А. Тутельяна, М.А. Самсонова. – М., 2002.

7. Левачев М.М. Новые аспекты биологических качеств пищевых жиров // Журнал Всесоюзного химического общества им. Д.И. Менделеева. – 1978. – Т. 23, № 4. – С. 443–449.

8. Методические рекомендации МР 2.3.1.2432-08 Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. – М: Издательство стандартов, 2008. – 41 с.

9. Рошина Н.Н. Разработка рецептуры трехкомпонентных растительных масел, оптимизированных по составу жирных кислот и витаминов // Известия вузов. Пищевая технология. – 2011. – № 5–6 – С. 32–34.

10. Тутельян В.А., Нечаев А.П., Кочеткова А.А. Функциональные жировые продукты в структуре питания // Масложировая промышленность. – 2009. – № 6. – С. 6–9.

#### References

1. Ipatova L.G., Kochetkova A.A., Nechaev A.P. Novye napravleniya v sozdaniy funktsional-nyh zhirovyykh produktov // Maslozhirovaya promyshlennost. 2006. no. 4. pp. 12–14.

2. Ipatova L.G., Kochetkova A.A., Nechaev A.P., Pogozheva A.V. Jemulsionnyye zhirovye pro-dukty dlja zdorovogo pitaniya // Maslozhirovaya promyshlennost. 2009. no. 6. pp. 10–12.

3. Ipatova L.G., Kochetkova A.A., Nechaev A.P., Tuteljan V.A. Zhirovye produkty dlja zdoro-vogo pitaniya. Sovremennyj vzgljad M., 2009. 396 p.

4. Kulakova S.N., Bajkov V.G., Bessonov V.V., Nechaev A.P., Tarasova V.V. Osobennosti ras-titelnykh masel i ih rol v pitanii // Maslozhirovaya promyshlennost. 2009. no. 3. pp. 16–20.

5. Kulakova, S.N. Rastitelnye masla novogo pokoleniya i ih rol v pitanii // Masla i zhi-ry. 2006. no. sentjabr. pp. 1–5.

6. Levachev M.M. Znachenie zhira v pitanii zdorovogo i bolnogo cheloveka: spravochnik po dietologii / pod red. V.A. Tuteljana, M.A. Samsonova. M., 2002.

7. Levachev M.M. Novye aspekty biologicheskikh kachestv pishhevyykh zhirov // Zhurnal Vsesojuz-nogo himicheskogo obshhestva im. D.I. Mendeleeva. 1978. T. 23, no. 4. pp. 443–449.

8. Metodicheskie rekomendacii MR 2.3.1.2432-08 Normy fiziologicheskikh potrebnoстей v jenerгии i pishhevyykh veshhestvakh dlja razlichnykh grupp naseleniya Rossijskoj Federacii.– M: Izdatelstvo standartov, 2008. 41 p.

9. Roshhina N.N. Razrabotka receptury trehkomponentnykh rastitelnykh masel, optimiziro-vannykh po sostavu zhirnykh kislot i vitaminov // Izvestiya vuzov. Pishhevaya tehnologiya. 2011. no. 5–6 pp. 32–34.

10. Tuteljan V.A., Nechaev A.P., Kochetkova A.A. Funktsionalnye zhirovye produkty v strukture pitaniya // Maslozhirovaya promyshlennost. 2009. no. 6. pp. 6–9.

#### Рецензенты:

Мустафаев С.К., д.т.н., профессор кафедры технологии жиров, косметики, товароведения, процессов и аппаратов, ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет», г. Краснодар;

Камалян Р.З., д.т.н., профессор кафедры математики и вычислительных систем, НАН ЧОУ ВО «Академия маркетинга и социально-информационных технологий», г. Краснодар.