



МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЦЕПТУРЫ ПРОТЕИНОВОГО БАТОНЧИКА, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ СПОРТИВНОГО ПИТАНИЯ

Ю. О. Некрасова, магистрантка 2-го курса,
e-mail: yulya.nekrasova.1998@mail.ru
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

О. Я. Мезенова, д.т.н., профессор,
e-mail: mezenova@klgtu.ru
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

Протеиновые батончики являются популярным продуктом питания среди спортсменов. Предложена рецептура батончика, содержащего продукты глубокого гидролиза коллагенсодержащей чешуи сардины – важные составляющие питания спортсменов. Это – пептидная и белково-минеральная добавки, в состав которых входят соответственно низко- и высокомолекулярные белки, фосфор и кальций. Для оптимизации их количества проведено математическое моделирование рецептуры. Получена математическая и геометрическая модели рецептуры батончика, на основе которых рассчитаны оптимальные значения дозировок пептидной (12,9 г) и белково-минеральной (2,1 г) добавок в составе продукта массой 60 г. Предложена итоговая рецептура протеинового батончика с включением добавок из яблочных выжимок и жмыха льняного семени, кедровый орех. Для придания товарного вида батончик сверху покрыт шоколадной глазурью. Показана специализированность продукта по содержанию белка (23,54 %) и его функциональность по содержанию кальция (72,15 % от суточной потребности) и фосфора (27,5 % от суточной потребности). Разработаны рекомендации по употреблению батончика.

Ключевые слова: математическое моделирование, протеиновый батончик, спортивное питание, коллагенсодержащее рыбное сырье, чешуя, гидролиз, пептиды

ВВЕДЕНИЕ

Спортивное питание представляет собой одно или несколько пищевых веществ в концентрированной форме. Комплексы этих специальных пищевых добавок обладают повышенной биологической и питательной ценностью и предназначены для снабжения организма человека полезными элементами, так как с пищей человек чаще всего не получает всего необходимого их количества для нормального функционирования организма, особенно при физических нагрузках [1].

В настоящее время индустрия спортивного питания активно развивается и разрабатываются новые продукты. В особенности популярны среди потребителей протеиновые батончики. Протеиновый батончик – это продукт, который в своем составе содержит повышенное количество белка, дополнительными веществами выступают углеводы, в том числе пищевые волокна, витамины, минеральные вещества. Такой продукт предназначен для поддержания физиологически адекватного уровня макро- и микронутриентов, а также для быстрого восстановления после физической нагрузки.

Актуальность создания протеиновых батончиков с применением новых источников белка обусловлена недовостребованностью биопотенциала коллагенсодержащего рыбного сырья – чешуи. Протеины данного сырья входят в состав важных органов и тканей, находятся в комплексе с минеральными, липидными и нуклеиновыми материалами,

содержат все незаменимые и ценные заменимые аминокислоты, что свидетельствует о его высоком биопотенциале [2–4]. Актуальность разработки также обусловлена популяризацией и активным развитием спорта в Калининградской области, дороговизной спортивного питания и высокой долей импортных товаров в специализированных магазинах.

В качестве основных компонентов в составе проектируемого протеинового батончика, предназначенного для спортивного питания, предложено использовать добавки, полученные на основе продуктов глубокого гидролиза чешуи сардины – пептидная и белково-минеральная добавки, как источники ценных пластических, энергетических и биологически активных веществ, востребованных в спортивном питании. Пептидная добавка содержит в своем составе до 90 % низкомолекулярных активных пептидов, которые, являясь источником быстро усвояемых аминокислот, проявляют разные виды биологической активности – антиоксидантную, иммуномодулирующую, антисептическую, способность ингибировать активность ангиотензинпревращающего фермента и др. Доказано, что активные пептиды, выделенные из рыбьего коллагена, проявляют антибактериальную активность в отношении грамотрицательных и грамположительных бактерий [5, 6], что важно в спортивном питании.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве основных объектов исследования применяли пептидную и белково-минеральную добавки, полученные из коллагенсодержащего рыбного сырья – чешуи сардины/сардинеллы – путем ферментализации с применением ферментного препарата Alcalase 2,5L (Novozymes, Дания (активность 2,5 AU / г (единицы Ансона) при температуре 50 °С и рН 7,0) с последующим высокотемпературным термолизом при следующих параметрах – 130 °С, давлении 0,25 МПа, рН 7,0 в течение 60 мин в автоклаве [2]. Разработанные добавки представляют собой мелкодисперсный лиофилизированный порошок с размером частиц не более 0,02 мм (ТУ 9283-004-00471544-2016).

В качестве вспомогательных пищевых ингредиентов, содержащих важные для спортсмена БАВы, в состав батончиков вводили добавки из яблочных выжимок, льняного жмыха и кедровые орехи, соответствующие по качеству ГОСТ 31852-2012, ГОСТ 10974-95, ГОСТ 27572-2017. Данные компоненты при моделировании рецептуры фиксировали на постоянном уровне, количественно обоснованном в предварительных экспериментах: содержание биодобавки из яблочных выжимок – 16,7 %, кедрового ореха – 15 % и жмыха льняного семени – 35 %.

Добавку из яблочных выжимок получали из яблок сорта «Гала» после удаления сока методом прямого отжима. Полученная масса содержит разнообразные питательные вещества – пектин, целлюлозу, глюкозу, витамины группы В и С, минеральные вещества (железо, фосфор, кальций, магний). Кроме того, входящий в состав выжимок пектин является важным структурообразующим компонентом, положительно влияющим на создание формы поликомпонентного батончика [7].

Добавку из жмыха льняного семени получали методом холодного прессования для отжима жировой фракции с последующим измельчением. Данный компонент вводили в рецептуру в качестве источника биологически активных полиненасыщенных жирных кислот (ЖК) семейства омега-3 (линоленовая ЖК), пищевых волокон (целлюлоза, гемицеллюлоза, лигнин), ценных белков с незаменимыми аминокислотами [8].

Кедровый орех вводили в состав рецептуры в измельченном состоянии в качестве источника незаменимых аминокислот, токоферолов, минеральных веществ (кальция и фосфора), полиненасыщенных жирных кислот [9].

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью данной работы является обоснование состава рецептуры специализированного протеинового батончика для спортивного питания на основе математического моделирования с применением пептидной и белково-минеральной добавок, полученных глубоким гидролизом чешуи рыб.

Для достижения поставленной цели были выдвинуты следующие задачи:

- разработать план эксперимента для моделирования рецептуры протеинового батончика, выбрать основные факторы, подлежащие варьированию, и обосновать параметры оптимизации, наиболее полно описывающие качество разрабатываемого продукта;
- получить адекватную модель рецептуры в кодированном и натуральном видах, проанализировать полученную зависимость, определить оптимальные значения уровней факторов, построить пространственную трехмерную модель;
- на основе оптимальных значений основных пищевых добавок – продуктов гидролиза чешуи рыб – обосновать рецептуру протеинового батончика, изготовить заданный продукт и оценить его качество.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Массовую долю белка определяли по методу Кьельдаля, минеральный состав белково-минеральной добавки – по методу атомно-абсорбционной спектрометрии на приборе Carl Zeiss Jena AAS 5 FL, жир – непрерывной экстракцией (по Сокслету), массовую долю золы – по ГОСТ 5901-2014.

Для обоснования рецептуры батончика использовали ортогональный центральный композиционный план второго порядка для двух факторов, позволяющий получить математическую модель и провести оптимизацию значений содержания пептидной и белково-минеральной добавок. На основе выбранного математического плана разработаны матрица и план эксперимента, в соответствии с которыми были приготовлены девять экспериментальных образцов батончика.

Подбор интервалов варьирования факторов осуществлялся, исходя из химического состава добавок и требуемого содержания белка и минеральных веществ в готовом продукте. В пептидной добавке содержание белка составляет 90–95 % [3, 4].

Установление оптимального содержания пептидной и белково-минеральной добавок осуществляли с использованием математического планирования эксперимента. В качестве варьируемых частных факторов, подлежащих регулированию и оптимизации, использовали дозировку протеинового гидролизата ($W_{\text{гидр}}$) и белково-минеральной добавки ($W_{\text{бмо}}$) в граммах к массе батончика (60 г). Значения изменяемых факторов, их интервалы и пределы варьирования представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения изменяемых факторов, их интервалы и пределы варьирования

Факторы	Уровни			Интервал варьирования, ΔX
	-1	0	+1	
Содержание пептидной добавки $W_{\text{гидр}}$ (X_1), г к массе батончика в 60 г	11	13	15	2,0
Содержание белково-минеральной добавки (X_2), г к массе батончика в 60 г	1	2	3	1,0

Параметром оптимизации был выбран безразмерный обобщенный показатель «Y», в состав которого вошли частные отклики: массовая доля белка, содержание фосфора и содержание кальция. В таблице 2 представлены «идеальные» значения частных откликов, принятые таким образом, что обеспечивают функциональный уровень данных компонентов в готовом продукте. Совокупность данных откликов на основе обобщенного безразмерного параметра оптимизации позволяет получить целостную характеристику влияния изменяемых факторов на качество целевого продукта.

Таблица 2 – Частные отклики и их «идеальные» значения (содержание в % на 100 г продукта)

Наименование отклика	«Идеальное» значение
Содержание кальция (Ca)	0,6
Содержание фосфора (P)	0,3
Содержание белка	21,0

Статистическую обработку полученных экспериментальных данных проводили при доверительной вероятности 95% с доверительным интервалом для протеиновой добавки $12,35 < x < 13,65$, для белково-минеральной добавки – $1,9 < y < 2,1$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Биопотенциал яблочного сырья и льняного жмыха представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Биопотенциал яблочного сырья и льняного жмыха

Показатели, %	Яблочные выжимки	Льняной жмых
Влага	80,2	8,89
Сухие вещества	19,8	91,11
Белок	0,38	30,17
Жир	0,69	14,24
Зола	0,81	4,69
Углеводы (получено расчетным путем)	17,92	42,01

Яблочных жмых характеризуется высоким содержанием углеводов, в основном пищевых волокон (клетчатки, пектин). Жмых льняного семени является белковым продуктом (до 30 % белка), но также отличается высоким содержанием углеводов, в состав которых также входят пищевые волокна.

Спектрометрический анализ минеральных компонентов белково-минеральной добавки представлен в табл. 4.

Таблица 4 – Содержание минеральных веществ в белково-минеральной добавке (г/100 г)

Минеральные вещества (макроэлементы)	Содержание, г/100г	Суточная потребность, мг/сут*	Верхний допустимый уровень потребления, мг/сут	% от суточной потребности
Натрий	0,2158	1300	Не установлен	16,5
Калий	0,0936	2500	То же	3,7
Кальций	22,1922	1000	2500	2219,2
Магний	0,3200	400	Не установлен	80,0
Фосфор	11,9789	800	То же	1497,2

* Согласно МР 2.3.1.2432-08 Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации.

Как видно из таблицы 4, белково-минеральная добавка в проектируемом продукте является главным источником минеральных компонентов, в особенности кальция и фосфора, которые важны в спортивном питании. 100 г данной добавки удовлетворяет суточную потребность в кальции более чем на 2219, а в фосфоре – 1497 %.

В результате проведения эксперимента по плану согласно матрице ОЦКП второго порядка для двух факторов были изготовлены девять образцов протеинового батончика и определены их показатели качества (частные отклики), приведенные в таблице 5.

Таблица 5 – План эксперимента по моделированию и оптимизации рецептуры протеинового батончика для спортивного питания и его результаты

№ п/п	План эксперимента		Частные отклики			Частные безразмерные отклики			Y	$(\bar{Y} - Y_i)^2$	$(\bar{Y} - \bar{Y})^2$
	$\omega_{гидр}$ (X ₁), г	$\omega_{бмо}$ (X ₂), г	содержание, г			S ² _{белка}	S ² _{Ca}	S ² _P			
			белка	Ca	P						
1	15,0	3,0	15,45	0,66	0,33	0,0355	0,4225	0,4225	0,8805	0,4654	2,7567
2	11,0	3,0	11,50	0,66	0,33	0,0133	0,4225	0,4225	0,8583	0,4378	2,8282
3	15,0	1,0	15,03	0,22	0,11	0,0244	0,2025	0,2025	0,4294	0,2108	2,0323
4	11,0	1,0	11,08	0,22	0,11	0,0218	0,2025	0,2025	0,4268	0,2104	2,3943
5	15,0	2,0	15,24	0,44	0,22	0,0297	0,0100	0,0100	0,0497	0,3457	1,9853
6	11,0	2,0	11,29	0,44	0,22	0,0173	0,0100	0,0100	0,0373	0,2978	1,8374
7	13,0	3,0	13,48	0,66	0,33	0,0014	0,4225	0,4225	0,8464	0,5047	2,3848
8	13,0	1,0	13,06	0,22	0,11	0,0000	0,2025	0,2025	0,4050	0,2323	2,8522
9	13,0	2,0	13,27	0,44	0,22	0,0004	0,0100	0,0100	0,0204	0,3987	1,7897
-	-	-	-	-	-	-	-	-	$\sum Y = \bar{y} = 3,9538$	$\sum = 2,89$	$\sum = 20,8$

После математической обработки эксперимента по алгоритму ОЦКП были определены коэффициенты модели в форме полинома второго порядка и получено математическое уравнение, которое адекватно описывает функцию отклика в искомой области по критерию Фишера и коэффициенту детерминации с кодированными значениями уровней факторов (1):

$$y = 0,4393 + 0,0062x_1 + 0,2207x_2 + 0,0049x_1x_2 + 0,0231x_1^2 + 0,6053x_2^2. \quad (1)$$

Анализ модели, проведенный сравнением абсолютных значений коэффициентов, позволил установить, что несколько более высокие значения второго фактора (x_2) свидетельствуют о большем влиянии на целевую функцию содержания белково-минеральной добавки, чем дозировки протеинового гидролизата.

Для проверки адекватности полученной модели рассчитывают критерий Фишера и коэффициент детерминации. Табличное значение критерия Фишера при доверительной вероятности 95 % $F_{табл} = 3,18$. Расчетное значение критерия Фишера находят по формуле (2):

$$F_{раст} = \frac{S_{ад}^2}{S_y^2}, \quad (2)$$

где $S_{ад}^2$ – дисперсия адекватности; S_y^2 – дисперсия оптимизации.

$$S_{ад}^2 = \frac{\sum_1^9 (\bar{Y} - Y_i)^2}{f}, \quad (3)$$

где f – число степеней свободы, $f = N - (k+1)$; N – количество опытов; k – число факторов.

Расчетный критерий Фишера равен 0,0004. Таким образом, $F_{расч} < F_{табл}$ при $P = 95 \%$, что говорит об адекватности модели.

Другим коэффициентом, который также показывает адекватность модели, служит коэффициент детерминации R . Данный показатель является статистической мерой согласия, с помощью которой можно определить, насколько уравнение регрессии соответствует реальным данным. Коэффициент детерминации изменяется в диапазоне от 0 до 1. При значении коэффициента, близком к 0, делается вывод об отсутствии связи между переменными, при значении этого коэффициент, близкого к 1, свидетельствует об идеальной модели. Проводим расчет коэффициента по формуле (4):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(\bar{Y} - Y_i)^2}{\sum(\bar{Y} - \bar{Y})^2} \quad (4)$$

Рассчитанный коэффициент детерминации равен 0,92 и таким образом подтверждается адекватность модели по этому показателю.

При переходе к натуральному виду модели с натуральными значениями уровней факторов была получена следующая зависимость:

$$y = 0,0057\omega_{гидр}^2 + 0,6053\omega_{бмо}^2 + 0,0024\omega_{гидр}\omega_{подс} - 0,1488\omega_{гидр} - 2,2323\omega_{бмо} + 3,4687, \quad (5)$$

где $\omega_{гидр}, \omega_{бмо}$ – натуральные значения факторов – дозировки пептидной добавки и белково-минеральной добавки.

Методом математического дифференцирования модели в натуральном виде и решения системы уравнения были определены оптимальные значения факторов: содержание пептидной ($\omega_{гидр}$) и белково-минеральной ($\omega_{бмо}$) добавок составляют соответственно 12,9 и 2,1 г в составе одного батончика (60 г). Таким образом, оптимальное массовое соотношение между ними может быть обозначено, как 12,9:2,1 (6,45:1,05).

На основе полученных зависимостей была построена геометрическая модель рецептуры протеинового батончика, иллюстрирующая наглядно изменение качества продукта в зависимости от содержания в нем основных протеиновых компонентов – продуктов гидролиза чешуи (рисунок). На ней четко просматриваются координаты установленного оптимума (точки экстремума).

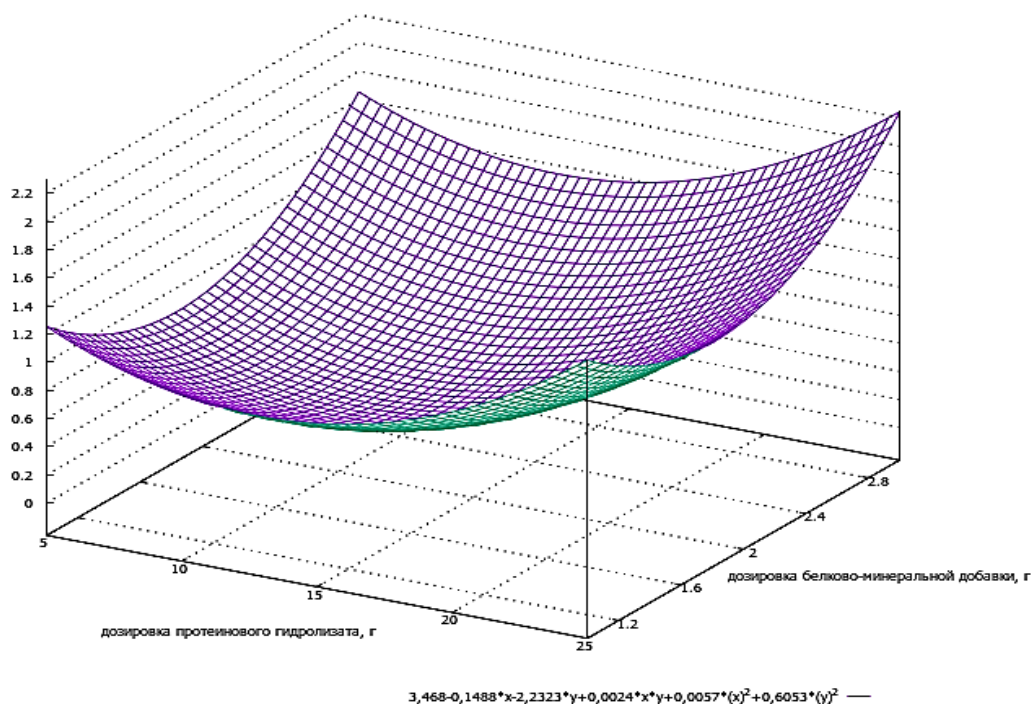


Рисунок – Геометрическая модель рецептуры протеинового батончика для спортивного питания

Проведенные исследования позволили предложить итоговую рецептуру протеинового батончика (таблица 6).

Таблица 6 – Рецептура протеинового батончика для спортивного питания

Ингредиент	Количество, г/100 г
Протеиновый гидролизат	21,5
Белково-минеральная добавка	3,5
Яблочный жмых	16,7
Кедровый орех	15
Льняной жмых	35
Шоколадная глазурь	8,3

В соответствии с данной рецептурой были изготовлены образцы батончика, показатели качества которого (частные параметры оптимизации) были максимально близки к своим «идеальным значениям»: содержание белка 23,54, кальция – 0,73 и фосфора – 0,36 % при их «идеальных значениях» соответственно 21,0, 0,60 и 0,30 %. Это подтверждает достоверность полученных с применением математического моделирования данных (таблица 7).

Таблица 7 – Оценка физико-химических показателей готового продукта

Наименование показателя	Результаты эксперимента	Суточная потребность * г/сут	% от сут. Потребности (60 г продукта)
Массовая доля влаги, %	13,47	-	-
МД сухих веществ, %	86,53	-	-
МД белка, %	23,54	81,7	17,2
МД жира, %	10,51	96,5	5,2
МД золы, %	4,22	-	-
МД углеводов, % в том числе клетчатки, %	48,26 24,05	20	72,15
Содержание Са, %	0,73	1	44
Содержание Р, %	0,36	0,8	27,5
Энергетическая ценность, ккал (на 100 г)	390,03	-	-

*Согласно МР 2.3.1.2432-21 Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации.

Содержание белка в разработанном протеиновом батончике составляет 24,14 % от его энергетической ценности, что позволяет отнести данный продукт к высокобелковым изделиям согласно ГОСТ 34006-2016 «Продукция пищевая специализированная. Продукция пищевая для питания спортсменов. Термины и определения». По содержанию кальция и фосфора протеиновый батончик является функциональным, поскольку его употребление удовлетворяет суточную потребность в данных минералах на 44 и 27,5 % соответственно.

Разработанный продукт рекомендуется всем категориям взрослого населения в количестве один батончик в сутки до/после физических нагрузок или в качестве перекуса, как источник высокоценного натурального белка, витаминов и минеральных веществ и других биологически активных соединений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обосновано включение в состав протеинового батончика – продукта спортивного питания – пептидной и белково-минеральной добавок, изготовленных методом глубокого гидролиза чешуи сардины.

Получена математическая модель рецептуры протеинового батончика. Определены оптимальные значения содержания пептидной и белково-минеральной добавок: 12,9 и 2,1 г в составе батончика массой 60 г. Расчетно и экспериментально показана адекватность модели и достоверность полученных данных.

Установлен общий химический состав батончика, свидетельствующий о его соответствии специализированному белковому продукту для спортивного питания. По содержанию кальция и фосфора, а также пищевых волокон он может считаться функциональным пищевым изделием.

Разработаны рекомендации по употреблению протеинового батончика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Худяков, М. С. Рынок спортивного питания / М. С. Худяков // СТЭЖ. – 2015. – № 1 (20). – С. 89–91.
2. Мезенова, О. Я. Биотехнология гейнеров для спортивного питания на основе активных пептидов рыбной чешуи / О. Я. Мезенова, Н. Ю. Мезенова, Л. С. Байдалинова // Вестник биотехнологии и физико-химической биологии. – 2014. – № 1. – С. 20–24.
3. Мезенова, Н. Ю. Активные пептиды рыбной чешуи в гейнерах для спортивного питания / Н. Ю. Мезенова, Л. С. Байдалинова, О. Я. Мезенова, J.-T. Moerseel, A. Hoeling // Вестник МАХ. – 2014. – № 2. – С. 48–52.
4. Мезенова, Н. Ю. Разработка технологии биопродукта для спортивного питания с использованием биомодифицированного коллагенсодержащего рыбного сырья.: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04, 05.18.07 / Наталья Юрьевна Мезенова. – Калининград, 2017. – 26 с.
5. Wald M. Detection of antibacterial activity of an enzymatic hydrolysate generated by processing rainbow trout by-products with trout pepsin /M. Wald, K. Schwarz, H. Rehbein, B. Bußmann, C. Beermann // Food Chemistry. – 2016. – № 15. – P. 205-221.
6. Yamada S. Effects of fish collagen peptides on collagen post-translational modifications and mineralization in an osteoblastic cell culture system / S. Yamada, H. Nagaoka, M. Terajima // Dent Mater Journal. – 2013. – № 1. – P. 88–95.
7. Lyu F. Apple Pomace as a Functional and Healthy Ingredient in Food Products: A Review / F. Lyu, S.F. Luiz, D.R.P. Azeredo, A.G. Cruz, S. Ajlouni, S. Ranadheera // Processes. – 2020. – № 8, 319. – URL: <https://doi.org/10.3390/pr8030319>
8. Gutierrez C, Rubilar M, Jara C, Verdugo M, Sineiro J, Shene C. Flaxseed and flaxseed cake as a source of compounds for food industry /M. Rubilar, C. Jara, M. Verdugo, J. Sineiro, C. Shene // Journal of soil science and plant nutrition. – 2010. – № 10. – P. 454–463.
9. Егорова, Е. Ю. Пищевая ценность кедровых орехов Дальнего Востока / Е. Ю. Егорова, В. М. Позняковский // Известия ВУЗов. Пищевая технология. – 2010. – № 4. – С. 21–24.

MODELING THE RECIPE FOR A PROTEIN BAR INTENDED FOR SPORTS NUTRITION

Yu. O. Nekrasova, 2nd year master's student,
e-mail: yulya.nekrasova.1998@mail.ru
Kaliningrad State Technical University

O. Ya. Mezenova, Doctor of Technical Sciences, Professor,
e-mail: mezenova@klgtu.ru
Kaliningrad State Technical University

Protein bars are a popular food item among athletes. The formulation of a bar containing products of deep hydrolysis of collagen-containing sardine scales – important components of

athletes' nutrition is proposed. These are peptide and protein-mineral additives, which include, respectively, low-molecular and high-molecular proteins, phosphorus and calcium. To optimize their number, mathematical modeling of the formulation was carried out. Mathematical and geometric models of the recipe of the bar were obtained, on the basis of which the optimal values of the dosages of the peptide additive (12.9 g) and protein-mineral additive (2.1 g) in the composition of the product weighing 60 g were calculated. The final recipe of a protein bar with the inclusion of additives from apple pomace and linseed cake, pine nuts is proposed. To give a marketable appearance, the bar is covered with chocolate icing on top. The specialization of the product in protein content (23.54%) and its functionality in calcium content (72.15 % of the daily requirement) and phosphorus (27.5% of the daily requirement) is shown. Recommendations on the use of the bar have been developed.

Keywords: *mathematical modeling, protein bar, sports nutrition, collagen-containing fish raw materials, scales, hydrolysis, peptides*