

Принципы формирования модульных технологий продуктов энтерального питания

Е. Ю. Агаркова, З. Ю. Беякова, В. В. Кондратенко

Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, г. Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение: Продукты энтерального питания (ЭП) представлены на рынке широким ассортиментом импортной продукции, технология и рецептуры которых уникальны и являются объектами интеллектуальной собственности зарубежных научных центров. Применение унифицированного методологического подхода к конструированию продуктов ЭП позволит перевести этот процесс из эмпирической в научно обоснованную плоскость.

Цель: Сформировать рациональное множество технологических решений для производства специализированных продуктов ЭП на основе принципов модульности с учётом каскада технологических качественных и количественных преобразований.

Материалы и методы: В качестве материалов использовали цифровые матрицы состояний пациентов, продуктов ЭП и ингредиентов. Основным методом исследований являлось расширенное цифровое профилирование с учётом трансформации нутриентов в процессе производства.

Результаты: По сформированным матрицам химического состава импортных продуктов ЭП установлены критериальные взаимосвязи их цифровых профилей и профилей состояний. На основе принципов пищевой комбинаторики и цифрового профилирования предложен алгоритм усовершенствованного подхода к конструированию и производству ЭП. Разработана обобщенная модульная технология производства продуктов ЭП и доказана её вариативность без изменения структуры за счёт комбинаторной универсальности каждого из совокупности моделей. Установлена степень его доступной комбинаторной вариативности, находящейся в функциональной зависимости от количества комбинаторно манипулируемых ингредиентов, с учётом всех возможных k-компонентных составов. Искомое множество рецептов продуктов ЭП – совокупность решений в части конструирования с возможностью детерминации вектора решаемых задач.

Выводы: Полученные результаты исследования могут быть применены в пищевой промышленности в части унифицированного производства специализированной продукции.

Ключевые слова: модульная технология; цифровое профилирование; специализированные продукты; энтеральное питание

Корреспонденция:

Евгения Юрьевна Агаркова
e-mail: e_agarkova@vniimi.org

Конфликт интересов:

авторы сообщают
об отсутствии конфликта
интересов.

Финансирование.

Исследовательская работа
проведена за счёт средств
субсидии на выполнение
государственного задания
№ 075–03-2023–484.

Поступила: 08.09.2023

Принята: 15.11.2023

Опубликована: 30.11.2023

Copyright: © 2023 Авторы



Для цитирования: Агаркова, Е.Ю., Беякова, З.Ю., & Кондратенко, В.В. (2023). Принципы формирования модульных технологий продуктов энтерального питания. *FOOD METAENGINEERING*, 1(3), 33–46. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.3.26>

Principles of Forming Modular Technologies for Enteral Nutrition Products

Evgenia Yu. Agarkova, Zinaida Yu. Belyakova, Vladimir V. Kondratenko

All-Russian Dairy Research Institute,
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction: Enteral nutrition (EN) products are represented in the market by a wide assortment of imported products, whose technology and recipes are unique and are the intellectual property of foreign research centers. Applying a unified methodological approach to designing EN products will transform this process from empirical to scientifically substantiated.

Purpose: To form a rational set of technological solutions for the production of specialized EN products based on the principles of modularity, taking into account the cascade of technological qualitative and quantitative transformations.

Materials and Methods: Digital matrices of patient states, EN products, and ingredients were used as materials. The main research method was extended digital profiling, taking into account the transformation of nutrients during production.

Results: Using the formed matrices of the chemical composition of imported EN products, criterial correlations of their digital profiles and state profiles were established. Based on the principles of food combinatorics and digital profiling, an algorithm for an improved approach to designing and producing EN has been proposed. A generalized modular technology for the production of EN products has been developed, and its variability without changing the structure has been proven due to the combinatorial universality of each model in the set. The degree of its available combinatorial variability has been established, depending on the number of combinatorially manipulated ingredients, taking into account all possible k-component compositions. The sought set of EN product recipes is a set of solutions in terms of design with the possibility of determining the vector of the tasks being solved.

Conclusion: The results of the study can be applied in the food industry for the standardized production of specialized products.

Keywords: modular technology, digital profiling, specialized products, enteral nutrition

Correspondence:

Evgeniya Yu. Agarkova,
e-mail: e_agarkova@vnimi.org

Conflict of interest:

The author report the absence of a conflict of interest.

Received: 08.09.2023

Accepted: 15.11.2023

Published: 30.11.2023

Copyright: © 2023 The Author



To cite: Agarkova, E.Yu., Belyakova, Z.Yu., & Kondratenko, V.V. (2023). Principles of formation of modular technologies of enteral nutrition products. *FOOD METAENGINEERING*, 1(3), 33-46. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.3.26>

ВВЕДЕНИЕ

Основным методом конструирования новых продуктов в пищевой промышленности является базовая пищевая комбинаторика, суть которой заключается в подборе сочетаний исходных ингредиентов для достижения требуемых потребительских свойств конечного продукта (Липатов & Рогов, 1987). Существующие алгоритмы проектирования пищевых продуктов (Горников, 2022; Колокольцова & Ульянова, 2021; Савинков et al., 2019), основанные на комбинаторном приближении компонентного состава проектируемого продукта к некоторому заданному эталону посредством вариирования соотношения исходных ингредиентов с известными компонентными составами, обеспечивают рутинный характер его практического применения. При этом метод пищевой комбинаторики либо не учитывает процесс химической трансформации компонентов в ходе технологических процессов производства продукта, либо в полученное в результате конструирования соотношение ингредиентов дискретно вносится финальная корректура с учётом нормируемого процента потерь.

Особенностью продуктов энтерального питания (ЭП), отличающей их от прочих видов пищевой продукции, является адаптированный к физиологическим потребностям потребителя состав и соотношение компонентов (Ильина и соавт., 2020; Лейдерман et al., 2021; Юрова et al., 2022). Продукты ЭП применяют в качестве диетического лечебного питания пациентов с дисфункцией желудочно-кишечного тракта (ЖКТ), в комплексном лечении целого ряда заболеваний (онкологические, сердечно-сосудистые, неврологические и др.) (Boelens, et al., 2014; Freijer et al., 2014), а также в качестве профилактического средства в пред- и послеоперационный период, при паллиативной помощи, высоких умственных и силовых нагрузках. В связи с этим ассортимент продуктов ЭП расширяется, как по назначениям врачей, так и в зависимости от состояний пациентов: основных, сопутствующих диагнозов и их возможных вариаций¹ (Попова, 2020). В силу особенностей целевого назначения проектирование продуктов ЭП представляет собой симбиоз пищевой комбинаторики и точечного поиска таких эффективных композиций (Семипятный, 2021), которые бы в максимальной степени способствовали

стабилизации состояния пациента и последующей нормализации жизненно важных функций его организма² (Mistiaen & Van den Heede, 2020; Allen & Hoffman, 2019)

Такой точечный поиск является достаточно сложной задачей, на решение которой направлены усилия ведущих фармакологических центров мира (Nestlé Institute of Health Sciences, B. Braun Innovation Hub, Danone Nutricia Research и др.). При этом конечный результат — формула конкретного продукта ЭП — каждый раз является уникальным, во многом феноменологическим и, как следствие, представляет собой объект интеллектуальной собственности повышенной ценности. По этому принципу построены запатентованные формулы представленного в настоящий момент на рынке ЭП (Diben®, Nutrison®, Peptamen® и др.). Данный подход глубоко эмпиричен и потому не является унифицированным. Вследствие этого запатентованные формулы ЭП представляют собой скорее частные варианты возможных рецептов без строгого логически обоснованного соотношения компонентов (Endo et al., 2018; Ruperto & Piñeiro-Mondelo, 2020; Yang et al., 2023).

В результате разработка каждого отдельно взятого продукта становится фактически элементом наукотворчества без единой концепции, которая бы позволила перевести данный процесс в область рутины с быстрым и дешёвым созданием спектра продуктов ЭП, ориентированного не только на основные заболевания и сопутствующие им синдромы, но и возможные вариации с учётом индивидуальных физиологических, генетических, биохимических и др. особенностей пациентов (Гамеева et al., 2022; Исаков et al., 2020; Тутьян & Никитюк, 2020).

Исходя из указанных выше обширных базовых условий, задача проектирования продуктов ЭП требует формирования общих методологических подходов (Семипятный et al., 2018; Zobkova et al., 2022). Нами была сформулирована и обоснована концепция конструирования продуктов ЭП на основе системы цифрового профилирования от сырья до потребителя. Цель настоящего исследования — сформировать рациональное множество технологических решений для производства специализированных продуктов ЭП на основе принципов модульности с учетом каскада технологических, качественных и количественных преобразований.

¹ Рыжкова, О. В. (2022) *Энтеральное и парентеральное питание: учебное пособие*. Иркутск: ИГМУ.

² Seres, D. (2019). *Nutrition support in critically ill patients: An overview*. UpToDate, 1617, 58.0. <https://medilib.ir/uptodate/show/1617>

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект

В качестве объектов исследования использовали информацию о химическом составе, осмолярности и целевом назначении представленных на российском рынке продуктов ЭП. Были проанализированы 12 наименований коммерческих продуктов ЭП иностранного производства, каждому из которых был присвоен цифровой код: DIBEN® (1), Nutrison® 1.0 (2), Nutrison® Advanced Dison (3), Nutridrink Nutrison® Advanced (4), Impact® Enteral (5), Nutricomp® Hepa Liquid (6), Nutricomp® Diabet Liquid neutral (7), Nutricomp® Energy Fiber Liquid (8), Peptamen® AF (9), Resource® Diabet Plus (10), Fresubin® VB Energy (11), Fresubin® Original (12).

Методы

К методам проведения исследования относятся основные методики проектирования пищевых продуктов:

- (1) базовая пищевая комбинаторика — метод конструирования новых пищевых продуктов посредством подбора состава и соотношения пищевых ингредиентов и биологически активных добавок для достижения необходимых органолептических, физико-химических и иных характеристик готового продукта (Липатов, 1995);
- (2) цифровое профилирование — создание математической модели готового продукта (цифрового профиля), включающего матрицы ингредиентов и нутриентного состава, а также физико-химических, органолептических и иных свойств продукта (Семипятный, 2021);
- (3) расширенное цифровое профилирование с учётом трансформации нутриентов в процессе производства — разработка комплексных математических моделей, отвечающих на воздействия виртуальных факторов аналогично тому, как сам продукт отвечал бы на воздействие реальных факторов (Семипятный, 2021).

Процедура

Для достижения поставленной цели существующий подход к проектированию пищевых продуктов на основе цифрового профилирования был дополнен цифровым профилем состояния пациента. Цифровой профиль продукта был трансформирован заменой матриц

физико-химических параметров и органолептических показателей матрицами соответствующих функций от компонентного состава. Далее на базе анализа существующих открытых источников была сформирована матрица химического состава продуктов ЭП, включающая в себя численные значения основных компонентов и характеристик для каждого из анализируемого множества продуктов. Также была сформирована матрица соответствий продуктов ЭП профилям состояний (по принадлежности к основному и сопутствующему заболеванию). На основании сравнительного анализа на примере принадлежности продуктов ЭП сахарному диабету были идентифицированы два формальных критерия соответствия, для которых определены интервалы значений их применимости. Сформирована принципиальная схема усовершенствованного комбинаторно-технологического подхода к созданию продуктов ЭП. Для этого принцип цифрового профилирования дополнен цифровым профилем ингредиентов. Также в состав принципиальной схемы введён принцип модульности технологии производства, позволяющий оперировать не отдельными технологическими процессами, а унифицированными взаимосвязанными модулями. Определена комбинаторная структура жирового модуля в качестве примера. Разработана схема модульной технологии производства продуктов ЭП, определяющая взаимосвязь отдельных модулей друг с другом.

Анализ результатов

Сравнительный анализ данных проводили визуальной оценкой значений компонентов/характеристик матрицы химического состава продуктов ЭП для продуктов с идентичным соответствием тому или иному основному заболеванию, включая сопутствующие заболевания/синдром, согласно матрице соответствий.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Расширенное цифровое профилирование

Рассматривая вопрос применимости основных существующих методов конструирования пищевых продуктов к объекту исследования, можно утверждать, что в каждом из них имеют место очевидные недостатки, ограничивающие их применимость для конструирования продуктов ЭП. Так, базовая пищевая комбинаторика не позволяет учесть изменение составных компонентов

ингредиентов в ходе технологических операций, что недопустимо при производстве специализированных продуктов с заданным набором и соотношением макро-, микроэлементов и витаминов. Цифровое профилирование позволяет приблизить профиль проектируемого продукта к некоторой контрольной матрице, однако имеет ограниченную применимость в случае продуктов ЭП. Классическое цифровое профилирование оперирует комбинаторикой химического состава, но практически не учитывает формируемые этим составом физические и органолептические свойства (реология, кислотность, окислительно-восстановительный потенциал), а также физиологические особенности состояния потенциального потребителя (Хуршудян & Рябова, 2021; Oganesyantset al., 2018a; Oganesyants et al., 2018b).

В качестве эффективного пути нивелирования указанных недостатков целесообразным видится формирование системы расширенного цифрового профилирования, представляющей, по сути, комплексное применение принципов цифрового профилирования и пищевой комбинаторики посредством введения дополнительного элемента — цифрового профиля состояния пациента (D_p) и органичным дополнением от него отдельных функциональных зависимостей элементов цифрового профиля продукта (D_p). В этом случае формат цифрового профиля продукта примет вид $D_p(A, f_Q, f_O, I)$, где A — базовая матрица или состав продукта, f_Q — матрица физико-химических параметров, представленная, по сути, матрицей многопараметрических функций от компонентного состава, f_O — матрица органолептических показателей, которая также, как и предыдущая, включается в виде ма-

трицы функции от состава, но кроме того и от физико-химических показателей, I — кортеж метаданных. В свою очередь профиль состояния пациента $D_p(D, S, C, M, T, I_p)$ включает матрицу нутритивных факторов болезни (D), коррекционную матрицу возраста пациента (S), матрицы нутритивных факторов сопутствующих осложнений (C), нутритивных факторов текущего физиологического состояния (M), временных факторов нутритивной и энергообеспеченности (T), а также метаданные (I_p).

Установление критериев полисоответствия

Однако в условиях существующих реалий, когда практически все продукты ЭП, присутствующие на отечественном рынке, разработаны за рубежом, такого рода зависимости имеют статус ноу-хау (Буч, 2020; Кожитов & Райкова, 2011; Кочеткова et al., 2020) и являются коммерческой собственностью компаний-разработчиков. Поэтому при разработке продуктов ЭП возникает необходимость проведения исследований по установлению зависимостей между функционально-компонентными характеристиками продукта и особенностями заболеваний, для коррекции которых они предназначены. Для этого на основании анализа доступной информации по двенадцати наиболее распространенным в России импортным продуктам ЭП была сформирована обобщенная матрица химического состава, энергетической ценности и осмолярности (Таблица 1). Далее по тексту вместо непосредственных наименований продуктов ЭП будем оперировать их цифровым кодом, установленным во второй строке матрицы.

Таблица 1

Матрица химического состава продуктов ЭП

Наименование компонента/ характеристика	Содержание в 100 мл готового продукта ЭП											
	1*	2*	3*	4*	5*	6*	7*	8*	9*	10*	11*	12*
Углеводы, г	9,25	12	11	12,2	13,4	15,5	12,3	18,8	13,5	15,7	17	13,8
Сахара, г	2,41	0,7	2,3	1,9	–	1,6	0,44	1,9	–	1,4	1	1
Крахмал, г	6,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Лактоза, г	0,1	–	–	0,03	<0,01			0,02		<0,3	0,06	≤0,02
Жиры, г	5,0	3,9	4,2	3,9	2,8	5,8	3,5	5	6,5	6,3	5,8	3,4
насыщенные, г	–	1	0,5	1,8	1,6	3,5	–	–	–	1	3,7	0,3
мононенасыщенные, г	3,7	2,2	3	–	0,59	–	–	–	–	3,6	0,4	2,1
полиненасыщенные, г	–	0,7	0,7	–	0,58	–	0,65	0,9	0,28	1,7	0,5	1
ЭПК**, мг		20	–	–								10
ДГК**, мг	170	14	–	–	0,33	1,6	0,3	0,43	24	1,3	0,05	10

Наименование компонента/ характеристика	Содержание в 100 мл готового продукта ЭП											
	1*	2*	3*	4*	5*	6*	7*	8*	9*	10*	11*	12*
Белки, г	4,5	4	4,3	3,9	5,6	4	4,1	7,5	9,4	9	7,5	3,8
Соль, г	–	–	–	0,26	–	–	–	–	–	0,26	–	–
Пищевые волокна, г	2,4	–	1,5	–	< 1	0,6	2,1	2	<0,1	2,5	–	–
Вода, мл	83	85	84	–	–	–	83	75	–	–	79	84
Осмолярность, мосм/л	270	255	300	320	298	395	215	440	380	300	300	220
Гликемический индекс	22	–	17	–	–	–	–	–	–	30	–	–
Энергетическая ценность, ккал	105	100	103	100	101	130	103	156	150	160	150	100
Натрий, мг	85	100	100	102	107	91	100	150	100	105	120	75
Калий, мг	143	150	150	153	134	156	150	225	230	170	234	125
Хлориды, мг	124	125	125	125	–	90	100	150	60	120	184	115
Кальций, мг	–	80	80	80,1	80	71	75	112	100	132	80	80
Фосфор, мг	59	72	72	62,8	72	60	65	98	30	114	63	63
Магний, мг	31	23	23	15	23	26	–	30	–	22	27	25
Железо, мг	1,48	1,6	1,6	1,59	1,2	1,56	1,2	1,8	1,6	1,2	1,33	1,33
Цинк, мг	1,33	1,2	1,2	1,2	1,5	1,56	1,2	1,8	1,5	1,4	1,2	1,2
Медь, мкг	148	180	180	180	170	195	150	225	180	130	133	130
Марганец, мг	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,26	0,2	0,3	0,34	0,26	0,27	0,27
Фтор, мг	0,15	0,1	0,1	0,1	–	0,13	0,1	0,15	–	0,086	0,13	0,13
Молибден, мкг	11,1	10	10	10,5	16	13	10	15	18	12	10	10
Селен, мкг	7,4	5,7	7,5	5,7	4,7	9,1	7	11	10	10	6,7	6,7
Хром, мкг	29,6	6,7	12	5,36	14,1	9,1	10	0,15	8,5	7	–	6,7
Йод, мкг	14,8	13	13	13,6	15	17	13	20	20	16	13,3	13,3
Каротиноиды, мг	–	0,2	0,2	0,16	–	0,13	0,1	0,15	–	–	0,13	0,13
Витамин А, мкг-RE	78	82	82	82,4	100	117	90	135	146	96	70	70
Витамин D3, мкг	1,1	1	0,7	1,3	0,67	1,3	1	1,5	1,7	1,3	1,67	1
Витамин Е, мг-α ТЕ	7,4	1,3	2,5	1,28	3	2	1,5	3	2,9	2,6	1,67	1,33
Витамин К, мкг	7,4	5,3	5,3	5,28	6,7	9,1	7	11	9,9	11	6,67	6,67
Тиамин В1, мг	0,15	0,2	0,2	0,15	0,12	0,26	0,2	0,3	0,28	0,16	0,13	0,13
Рибофлавин В2, мг	0,19	0,2	0,2	0,16	0,17	0,26	0,2	0,3	0,22	0,25	0,17	0,17
Ниацин В3, мг-NE	1,8	1,8	0,9	1,79	2,2	2,3	1,8	2,7	0,95	2,4	1,6	1,6
Пантотеновая кислота, мг	0,52	0,5	0,5	0,53	0,8	0,78	0,6	0,9	0,5	0,6	0,47	0,47
Пиридоксин В6, мкг	0,18	0,2	0,2	0,17	0,15	0,26	0,2	0,3	0,29	0,2	0,16	0,16
Фолиевая кислота, мкг	29,6	27	38	26,6	28	39	30	45	46	29	27	26,7
Цианкобаламин, мкг	0,3	0,2	0,5	0,22	0,4	0,39	0,2	0,45	0,8	0,6	0,27	0,27
Биотин, мкг	5,6	4	4	4,27	7	6,5	5	7,5	5,4	5	–	5
Витамин С, мг	18,5	10	15	12,9	6,7	13	10	15	18	22	6,7	6,67
Холин, мг	40,7	37	37	35,6	27	39	30	45	–	–	26,7	36,7

Примечание. * 1 — Diben® (Германия); 2 — Nutrison® №1, 3 — Nutrison® Advanced Diason, 4 — Nutrison® Advanced Nutridrink (Нидерланды); 5 — Impact® Enteral (Швейцария); 6 — Nutricomp® Hepa Liquid, 7 — Nutricomp® Diabet Liquid, 8 — Nutricomp® Energy Fiber Liquid (Германия); 9 — Peptamen® AF, 10 — Resource® Diabet Plus (Швейцария); 11 — Fresubin® VB Energy, 12 — Fresubin® Original (Германия).

** ЭПК — эйкозапентаеновая кислота, ДГК — докозагексаеновая кислота.

Содержание ячеек матрицы отличаются некоторой неполнотой по отдельным позициям. Такому положению дел, вероятно, есть две причины: неполнота данных в силу ограниченной информативности исходных ресурсов (что, предположительно, можно отнести к осмолярности, гликемическому индексу и, в отдельных случаях, к массовой доле мононенасыщенных жирных кислот) и отсутствие отдельных компонентов в составе продукта ЭП как таковых, либо присутствие их в критически малых количествах, значения которых находятся ниже порога аналитического определения.

Анализ данных матрицы показал сравнительно широкую вариативность состава практически по всем ключевым компонентам.

Следующим этапом для каждого продукта ЭП были определены соответствия профилям состояния в части таких метаданных, как «Основное заболевание» и «Сопутствующее заболевание/синдром». Матрица данных представлена в Таблице 2.

Анализ матрицы показал, что кроме продукта 1, однозначно соответствующего диабету без сопутствующих заболеваний и синдромов, остальные продукты отличались полисоответствием по 6–16 позициям целевых метаданных. Этот факт весьма затрудняет установление однозначных критериев соответствия, тем не менее в отношении диабета таковые были установлены. Сравнительный анализ данных показал, что элементами матрицы, максимально выделяющимися у продуктов, соответствующих диабету, являются массовые доли углеводов (но не сахаров — предположительно, олигосахаридов) и мононенасыщенных жирных кислот. Первый компонент соответствовал по минимуму его массовой доли, тогда как второй — по максимуму. Также условию моносоответствия продукта 1 диабету без прочих заболеваний и синдромов сопутствует уникально высокое среди анализируемых продуктов суммарное значение массовых долей эйкозапентаеновой (EPA) и докозагексаеновой (DHA) кислот, относящихся к группе ω -3 полиненасыщенных жирных кислот. Учитывая необходимость обеспечения применимости критериев ко всем анализируемым составам, а также — некоторые допущения, подразумеваемые информационной ограниченностью используемых матриц, формальный критерий соответствия продуктов ЭП диабету в целом имеет вид:

$$Q_{D_1} = \frac{\omega_{MUFA}}{\omega_{oligos} + 1}, \quad (1)$$

Таблица 2

Матрица соответствий продуктов ЭП профилям состояния

Основное заболевание	Сопутствующее заболевание/синдром	Цифровой код продукта ЭП
Диабет	—	1, 3, 7, 10
	стрессовая гипергликемия	7, 10
	ожирение	10
Подготовка к операции	—	2 — 7, 12
Послеоперационный период	—	2 — 7, 10 — 12
	перитонит	7
	сепсис	7
	пролежни	11
Ожоги	—	2, 3, 7, 8, 11
Сепсис	—	2, 3, 5, 7
Множественные травмы	—	2, 3, 5, 8, 10
Заболевания ЖКТ	—	2 — 4
	панкреатит	2 — 4, 9
	острая диарея	9
Онкологические заболевания	—	3 — 5, 7, 8, 11, 12
	лучевой энтерит	2 — 4
	анорексия	11, 12
Сердечно-сосудистые заболевания	—	2
	сердечно-сосудистая недостаточность	2, 4, 9
Психические заболевания	—	2 — 4
Синдром приобретённого иммунодефицита (СПИД)	—	2 — 4, 8
Неврологические расстройства	—	3, 4, 7, 8
Муковисцидоз	—	4, 11
Заболевания печени	—	2, 4, 5, 7
	холестаз	7
	острая печеночная недостаточность	7, 9
Кома	—	8, 12
Сердечно-лёгочные заболевания	—	11
Общее истощение	—	2, 5 — 8, 11, 12
	—	2 — 4, 7
Нарушения прохождения пищи	опухоли и травмы головы и шеи	2 — 4
	обструкция ЖКТ	3, 4
Полиорганная недостаточность	—	5, 9

где ω_{MUFA} — массовая доля мононенасыщенных жирных кислот, г/100 г; ω_{oligos} — массовая доля углеводов (предположительно, олигосахаридов), г/100 г.

Область определения значений критерия, предположительно, соответствует $Q_{D_1} \in [0,2; 0,4]$. Нижняя граница области определения обусловлена соображениями некоего запаса в связи с тем, что минимальное значение критерия Q_{D_1} для продуктов ЭП, соответствующих диабету в целом (продукты 1, 3 и 10), составило 0,216, тогда как для остальных продуктов — не превышало 0,166.

Также, на основании связи высокого содержания ω -3 жирных кислот с соответствием продукта ЭП диабету без сопутствующих заболеваний и синдромов, определим в качестве критерия соответствия данному состоянию следующий:

$$Q_{D_2} = \omega_{EPA+DHA}, \quad (2)$$

где $\omega_{EPA+DHA}$ — суммарная массовая доля эйкозапентаеновой (EPA) и докозагексаеновой (DHA) кислот, г/100 г.

Также, из соображений запаса, область определения критерия зададим как $Q_{D_2} > 100$.

Установленные критерии являются, по сути, элементом профиля состояния в части идентификации соответствия продукта ЭП диабету с наличием или отсутствием сопутствующих заболеваний и синдромов.

Усовершенствование комбинаторно-технологического подхода

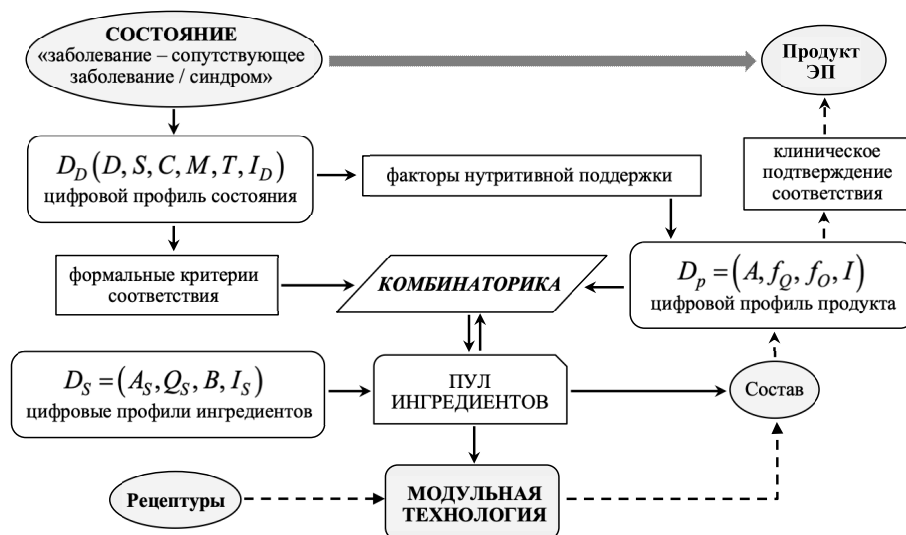
Таким образом, в целом, усовершенствованное представление о конструировании продуктов ЭП может быть представлено в виде принципиальной схемы (Рисунок 1).

Предложенный подход включает следующие основные этапы: «Состояние», «Комбинаторика» и «Модульная технология» — и базируется на системе взаимосвязей цифровых профилей состояния, ингредиентов и продукта.

Применение этого подхода начинается с формирования цифрового профиля, оценки его соответствия разработанным формальными критериям и последующего определения факторов нутритивной поддержки. Далее на основе этих факторов формируется цифровой профиль продукта. Для обеспечения возможности оперативного оперирования характеристиками исходных ингредиентов, имеющих потенциал использования для производства продукта ЭП, в качестве базовых метапеременных введём цифровые профили с учётом профилей ингредиентов (D_S), включающих матрицы сырья (A_S), физико-химических параметров (Q_S) и микробиологических показателей (B), а также — кортежа метаданных (I_S). В результате, для удовлетворения необходимости соответствия цифровому профилю продукта комбинаторно формируется пул ингредиентов, из которого посредством учёта особенностей модульной технологии

Рисунок 1

Принципиальная схема усовершенствованного комбинаторно-технологического подхода к созданию продуктов ЭП



будет сформировано некоторое множество рецептов готового продукта.

Предложенный подход учитывает параметры профиля состояния пациента, определяемого системой «заболевание — сопутствующее заболевание / синдром», задающего основные факторы формирования будущего продукта — комплекс факторов нутритивной поддержки в купе с критериями соответствия.

Одним из ключевых элементов принципиальной схемы является модульная технология, основанная на принципе трансформации компонентов и их свойств в каскаде технологических процессов, где первые модули обусловлены физико-химическими свойствами исходных ингредиентов, а последний — готового продукта.

Разработка принципа модульности технологии продуктов ЭП

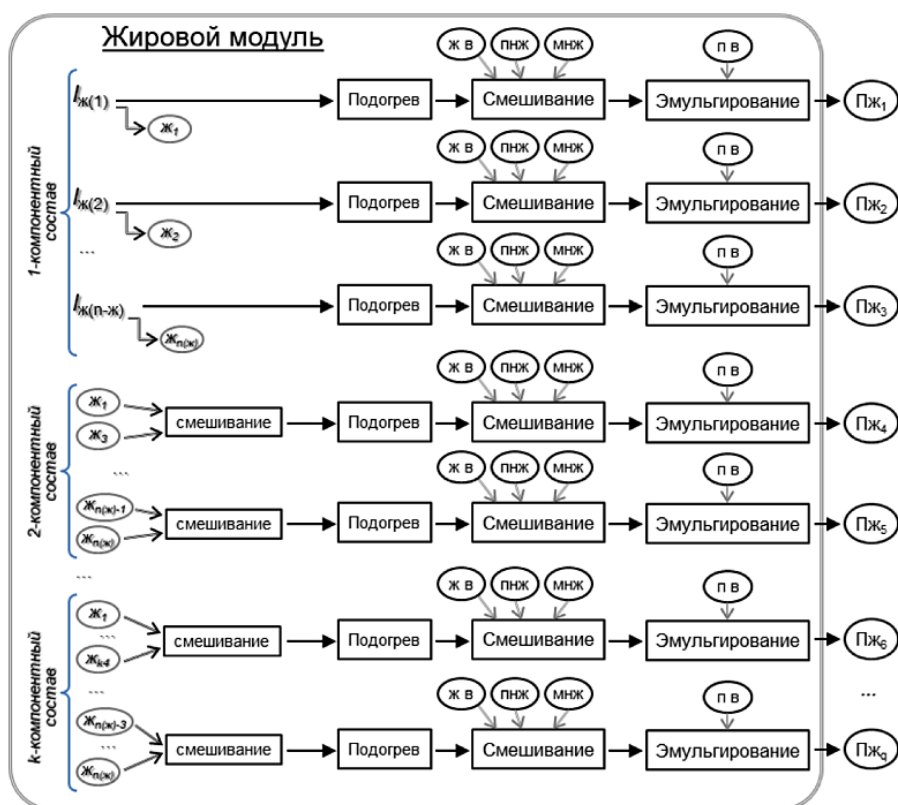
Поскольку совокупность и технические характеристики технологических процессов, определяющих этап переработки совокупности ингредиентов в конечный

продукт, находятся в тесной зависимости от свойств исходных ингредиентов и требуемых характеристик продукта, совокупное техническое воплощение может быть реализовано посредством оперативного сочетания модулей. При этом границы дифференциации модулей определяются технологическими свойствами однородной группы модулеобразующих ингредиентов. Таковыми, например, являются жиры / масла, пул которых может быть представлен как одним (1-компонентный состав) или двумя (2-компонентный состав) маслами, так и смесью нескольких видов одновременно — k -компонентный состав, где k — количество видов масел (подсолнечное, рапсовое, соевое и др.) в смеси.

Так, жировой модуль, по нашему представлению, должен включаться в технологические операции подогрева, смешивания с жирорастворимыми витаминами (ЖВ), моно- (МНЖ) и полиненасыщенными (ПНЖ) жирными кислотами с последующим эмульгированием в присутствии пищевых волокон (ПВ), в составе которых должны присутствовать и эмульгаторы (Рисунок 2).

Рисунок 2

Структура жирового модуля технологии производства продуктов ЭП



В результате реализации модульного подхода на выходе каждого из модулей, (кроме финального) имеет место потенциал получения q промежуточных продуктов (профилей). В случае жирового модуля таковыми являются профили Пж. Таким образом, применение модульного подхода способствует организации гибко-модифицируемой технологии. При этом включённые в модуль сторонние промежуточные профили являются следствием реализации соответствующих модулей также с комбинаторной структурой. В результате общая модульная технология производства продуктов ЭП представляет собой технологически рациональное сочетание модулей, связанных друг с другом посредством промежуточных профилей — продуктов каждого отдельно взятого модуля (Рисунок 3). Например, жировой профиль, как продукт жирового модуля, представляет собой один из исходных ингредиентов для модуля жирорастворимых витаминов и др.

Лимитирующим фактором, определяющим рациональное количество ингредиентов, являются граничные условия цифрового профиля продукта ЭП, ориентированного на удовлетворение цифрового профиля состояния пациента. При этом пул ингредиентов должен быть ориентирован на создание продукта ЭП, соответствующего цифровому профилю продукта, который, в свою очередь, удовлетворяет цифровому профилю состояния.

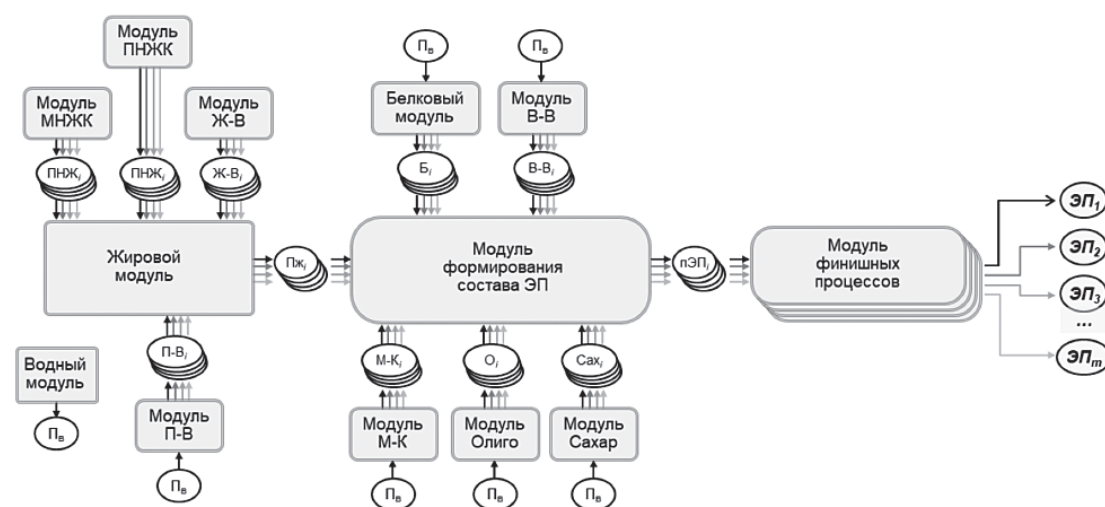
По аналогичному принципу формируется структура остальных модулей с учётом специфики вовлечённых в них ингредиентов. Промежуточные профили каждого из таких модулей представляют собой исходные ингредиенты для последующих модулей технологической цепи. Одним из базовых является водный модуль, связанный с очисткой и стабилизацией жёсткости воды. На выходе этого модуля получаем водный профиль, который является промежуточным профилем для таких модулей как: белковый, водорастворимых витаминов, где предварительно подготовленная вода является одним из исходных компонентов.

В результате реализации модульного подхода на выходе i -го модуля имеет место потенциал получения q_i промежуточных профилей, которые далее могут быть вовлечены в технологический процесс. Таким образом, применение модульного подхода способствует организации гибко модифицируемой технологии. При этом включённые в модуль сторонние промежуточные продукты являются следствием реализации соответствующих модулей также с комбинаторной структурой.

В результате общая модульная технология производства продуктов ЭП представляет собой технологически рациональное сочетание модулей, связанных друг с другом посредством промежуточных профилей — продуктов каждого отдельно взятого модуля (Рисунок 3).

Рисунок 3

Схема модульной технологии производства продуктов ЭП



Примечание. МНЖК — мононенасыщенные жирные кислоты; ПНЖК — полиненасыщенные жирные кислоты; Ж-В — жирорастворимые витамины; В-В — водорастворимые витамины; П-В — пищевые волокна; М-К — минеральные компоненты; Олиго — олигосахариды; ЭП — продукты энтерального питания

Использование предлагаемого принципа модульной технологии позволяет унифицировать формирование технологии производства каждого отдельно взятого продукта ЭП посредством использования некоторого фиксированного множества модулей, составляемых друг с другом по принципу блочного конструктора в составе и порядке в зависимости от пула цифровых модулей ингредиентов и, в конечном счёте, — от цифрового профиля продукта. При этом такого рода манипулирование являет собой моделирование и оптимизацию достаточно высокого уровня, что соответствует вызовам, определяемым необходимостью прогрессивной смены технологических укладов как объективной реалии начала XXI века.

Данный подход перерабатывает и существенно расширяет существующие методы создания пищевых продуктов. Предположительно, он обладает достаточным потенциалом, чтобы стать одной из необходимых составляющих основы для существенного прорыва в области автоматизации проектирования продуктов ЭП и разработки технологий их производства. Результаты проведённых исследований могут быть использованы при создании в Российской Федерации собственной развёрнутой системы отечественного производства продуктов ЭП в условиях существующего санкционного давления недружественных государств — в прошлом основных поставщиков энтерального питания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный подход на основании модульных технологий позволяет гибко моделировать формирование свойств конструируемого параметра с учётом каскада технологических качественных и количественных преобразований. Такой подход, в комплексе с пищевой комбинаторикой позволяет итеративно приближать цифровой профиль получающегося продукта к результату, удовлетворяющему некоторой контрольной матрице, формирующей множество допустимых девиаций целевых свойств.

Разработанные критерии соответствия позволяют установить граничные условия, определяющие однозначное соответствие комбинаторно-разрабатываемого продукта ЭП определённому заболеванию, сопутствующему другим заболеванием / синдромом, либо без такового.

На основании критериев и с использованием принципа модульности технологий сформирован алгоритм усовершенствованного подхода к конструированию и производству продуктов ЭП.

Определена обобщённая схема внутренней структуры технологических модулей на примере жирового модуля. Установлена степень его доступной комбинаторной вариативности, находящейся в функциональной зависимости от количества комбинаторно манипулируемых ингредиентов, с учётом всех возможных k -компонентных составов. Предложена обобщённая схема модульной технологии производства продуктов ЭП. Показана её вариативность без изменения структуры за счёт комбинаторной универсальности каждого из совокупности модулей.

Искомое множество рецептов будет заключать в себе совокупность всех возможных решений в части конструирования продуктов ЭП с возможностью детерминации вектора решаемых задач: создания целевого ассортимента ЭП, конкретных реализаций технологических продуктов и т.д.

Одним из ограничений разработанного подхода в настоящий момент является пока ещё достаточно ограниченная матрица химического состава продуктов ЭП. Дальнейшее расширение её за счёт включения новых как существующих, так и разрабатываемых продуктов ЭП позволит в значительной степени данное ограничение нивелировать.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Евгения Юрьевна Агаркова: общее руководство и дизайн исследования, написание текста, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Зинаида Юрьевна Белякова: сбор и систематизация данных, написание текста, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Владимир Владимирович Кондратенко: методология и статистическая обработка данных, написание текста, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Буч, Ю. И. (2020). Ноу-хау. Основные понятия и практика применения. *Инновации*, 6, 111–120. <https://doi.org/10.26310/2071–3010.2020.260.6.014>
- Buch, Yu. I. (2020). Know-how. Basic concepts and application practice. *Innovations*, 6, 111–120. (In Rus.) <https://doi.org/10.26310/2071–3010.2020.260.6.014>
- Гамеева, Е. В., Степановна, А. М., Хороненко, В. Э., Гриднев, О. В., Свиридов, С. В. & Шестопалов, А. Е. (2022). Нутритивная поддержка на периоперационном этапе лечения пациентов онкологического профиля. *Современная онкология*, 24(1), 125–132. <https://doi.org/10.26442/18151434.2022.1.201479>
- Gameeva, E. V., Stepanovna, A. M., Khronenko, V. E., Gridnev, O. V., Sviridov, S. V., & Shestopalov, A. E. (2022). Nutritional support at the perioperative stage of treatment of oncology patients. *Modern Oncology*, 24(1), 125–132. (In Rus.) <https://doi.org/10.26442/18151434.2022.1.201479>
- Горников, Н. В. (2022). Формирование потребительских свойств специализированных продуктов питания на этапе проектирования. В *Развитие современной науки и технологий в условиях трансформационных процессов* (с. 150–156). СГЭУ.
- Gornikov, N. V. (2022). Formation of consumer properties of specialized food products at the design stage. In *Development of modern science and technology in the context of transformational processes* (pp.150–156). SSEU. (In Rus.)
- Ильина, О.А., Иунихина, В.С., Маслова, А.С. & Шатнюк, Л.Н. (2020). Актуальные вопросы разработки обогащенной и специализированной пищевой продукции. *Хлебопродукты*, (3), 43–45. <https://doi.org/10.32462/0235–2508-2020–29-3–43-45>
- Ilyina, O.A., Iunikhina, V.S., Maslova, A.S., & Shatnyuk, L.N. (2020). Current issues in the development of enriched and specialized food products. *Bread Products*, (3), 43–45. (In Rus.) <https://doi.org/10.32462/0235–2508-2020–29-3–43-45>
- Исаков, В. А., Морозов, С. В. & Пилипенко, В. И. (2020). Инновационные подходы к анализу состава рациона и диетотерапии функциональных заболеваний органов пищеварения. *Вопросы питания*, 89(4), 172–185. <https://doi.org/10.24411/0042–8833-2020–10051>
- Isakov, V. A., Morozov, S. V., & Pilipenko, V. I. (2020). Innovative approaches to the analysis of diet composition and dietotherapy of functional digestive system diseases. *Questions of Nutrition*, 89(4), 172–185. (In Rus.) <https://doi.org/10.24411/0042–8833-2020–10051>
- Кожитов, Л. В. & Райкова, Т. В. (2011). Охрана интеллектуальной собственности — основа коммерциализации результатов научно-технической деятельности. *Инновации*, 11, 10–17.
- Kozhitov, L. V. & Raykova, T. V. (2011). Protection of intellectual property - the basis for the commercialization of scientific and technical activities results. *Innovations*, 11, 10–17. (In Rus.)
- Колокольцова, К. Е. & Ульянова, Г. С. (2021). Разработка алгоритма создания продукта с антиоксидантными свойствами. *Пищевые инновации и биотехнологии*, 1, 323–324.
- Kolokoltsova, K. E. & Ulyanova, G. S. (2021). Development of a product creation algorithm with antioxidant properties. *Food Innovations and Biotechnology*, 1, 323–324. (In Rus.)
- Кочеткова, А. А., Воробьева, В. М., Саркисян, В. А., Воробьева, И. С., Смирнова, Е. А., & Шатнюк, Л. Н. (2020). Динамика инноваций в технологии производства пищевых продуктов: от специализации к персонализации. *Вопросы питания*, 89(4), 233–243. <https://doi.org/10.24411/0042–8833-2020–10056>
- Kochetkova, A. A., Vorobyeva, V. M., Sarkisyan, V. A., Vorobyeva, I. S., Smirnova, E. A., & Shatnyuk, L. N. (2020). Dynamics of innovations in food production technology: from specialization to personalization. *Questions of Nutrition*, 89(4), 233–243. <https://doi.org/10.24411/0042–8833-2020–10056>
- Лейдерман, И. Н., Грицан, А. И., Заболотских, И. Б., Мазурок, В. А., Поляков, И. В., Потапов, А. Л., Сытов, А. В. & Ярошецкий, А. И. (2022). Периоперационная нутритивная поддержка. Методические рекомендации Федерации анестезиологов и реаниматологов. *Вестник интенсивной терапии имени А.И. Салтанова*, (4), 7–20. <https://doi.org/10.21320/1818–474X-2021–4-7–20>
- Leiderman, I. N., Gritsan, A. I., Zabolotskikh, I. B., Mazurok, V. A., Polyakov, I. V., Potapov, A. L., Sytov, A. V., & Yaroshetsky, A. I. (2022). Perioperative Nutritional Support. Methodological recommendations of the Federation of Anesthesiologists and Resuscitators. *Bulletin of Intensive Therapy named after A.I. Saltanov*, (4), 7–20. (In Rus.) <https://doi.org/10.21320/1818–474X-2021–4-7–20>
- Липатов, Н. Н. & Рогов, И. А. (1987). Методология проектирования продуктов питания с требуемым комплексом показателей пищевой ценности. *Известия вузов. Пищевая технология*, 2, 9–15.
- Lipatov, N. N., & Rogov, I. A. (1987). Methodology for designing food products with the required complex of nutritional value indicators. University News. *Food Technology*, 2, 9–15. (In Rus.)

- Липатов, Н. Н. (1995) Предпосылки компьютерного проектирования продуктов и рационов питания с задаваемой пищевой ценностью. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 4–9.
- Lipatov, N. N. (1995) Preconditions for computer-aided design of food products and diets with a specified nutritional value. *Storage and Processing of Agricultural Raw Materials*, (3), 4–9. (In Rus.)
- Попова, Т. С. (2020). Нутритивная поддержка: современная концепция клинического питания. *Клиническое питание и метаболизм*, 1(1), 5–7. <https://doi.org/10.17816/clinutr33034>
- Popova, T. S. (2020). Nutritional support: Modern concept of clinical nutrition. *Clinical Nutrition and Metabolism*, 1(1), 5–7. (In Rus.) <https://doi.org/10.17816/clinutr33034>
- Савинков, С. В., Данько, Т. П., Петренко, Е. С., Гарнова, В. Ю., Мешков, В. Р., & Петушкова, Е. В. (2019). Теория и практика пищевой комбинаторики. Кейс: продуктовые рационы, адекватные нормам оптимального питания. *Инновации и инвестиции*, 5, 339–346.
- Savinkov, S. V., Danko, T. P., Petrenko, E. S., Garnova, V. Y., Meshkov, V. R., & Petushkova, E. V. (2019). Theory and practice of food combinatorics. Case: Food rations adequate to the norms of optimal nutrition. *Innovations and Investments*, 5, 339–346. (In Rus.)
- Семипятный, В. К. (2021). *Идентификация пищевых продуктов. Цифровые мета-информационные решения*. Москва: ВНИМИ.
- Semipyatny, V. K. (2021). *Identification of food products. Digital meta-information solutions*. Moscow: VNIMI. (In Rus.)
- Семипятный, В. К. (2018) Оптимизация экспериментального моделирования новых рецептов напитков методами математической статистики. *Пиво и напитки*, 3, 48–51.
- Semipyatny, V. K. (2018) Optimization of experimental modeling of new beverage recipes using methods of mathematical statistics. *Beer and Beverages*, 3, 48–51. (In Rus.)
- Хуршудян, С. А. & Рябова, А. Е. (2021). Качество продукции: проблема обобщенной модели. *Контроль качества продукции*, 5, 50–53. <https://doi.org/10.35400/2541-9900-2021-5-50-53>
- Khurshudyan, S. A., & Ryabova, A. E. (2021). Product quality: The problem of a generalized model. *Quality Control of Products*, 5, 50–53. (In Rus.) <https://doi.org/10.35400/2541-9900-2021-5-50-53>
- Oganesyants, L. A., Khurshudyan, S. A., Galstyan, A. G., Semipyatnyi, V. K., Ryabova, A. E., Vafin, R.R., Nurmukhanbetova, D.E. & Assembayeva, E.K. (2018a). Base matrices — invariant digital identifiers of food products. *News of the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences*, 432(6), 6–15. <https://doi.org/10.32014/2018.2518-170X.30>
- Oganesyants, L., Semipyatniy, V., Galstyan, A., Vafin, R., Khurshudyan, S., Ryabova A. (2018b). Multi-criteria food products identification by fuzzy logic methods. *Foods and Raw Materials*, 8(1), 12–19. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-1-12-19>
- Тутельян, В. А. & Никитюк, Д. Б. (2020). *Нутрициология и клиническая диетология: национальное руководство*. Москва: ГЭОТАР-Медиа.
- Tutelyan, V. A., & Nikityuk, D. B. (2020). *Nutriciology and clinical dietetics: National guidelines*. Moscow: GEOTAR-Media.
- Юрова, Е. А., Фильчакова, С. А., & Ананьева, Н. В. (2022). Молоко как основа для производства специализированных продуктов питания с улучшенными нутритивными свойствами. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, 182(5), 206–215. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-5-206-215>
- Yurova, E. A., Filchakova, S. A., & Ananyeva, N. V. (2022). Milk as a basis for the production of specialized food products with improved nutritional properties. *Bulletin of Krasnoyarsk State Agrarian University*, 182(5), 206–215. (In Rus.) <https://doi.org/10.36718/1819-4036>
- Allen, K., & Hoffman, L. (2019). Enteral nutrition in the mechanically ventilated patient. *Nutrition in Clinical Practice*, 34(4), 540–557. <https://doi.org/10.1002/ncp.10242>
- Boelens, Petra G., Heesakkers, Fanny F. B., Luyer, Misha D., van Barneveld, Kevin W. Y., de Hingh, Ignace H. J. T., Nieuwenhuijzen, Grard A. P., Roos, Arnout N., Rutten, & Harm J. T. (2014). Reduction of postoperative ileus by early enteral nutrition in patients undergoing major rectal surgery: Prospective, randomized, controlled trial. *Annals of Surgery*, 259(4), 649–655. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000000288>
- Endo, A., Shiraishi, A., Fushimi, K. et al. (2018). Comparative effectiveness of elemental formula in the early enteral nutrition management of acute pancreatitis: a retrospective cohort study. *Annals of Intensive Care*, 69(8). <https://doi.org/10.1186/s13613-018-0414-6>
- Freijer, K. et al. (2014). The economic value of enteral medical nutrition in the management of disease-related malnutrition: a systematic review. *American Medical Directors Association*, 312(5), 514–524. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2013.09.005>
- Mistiaen, P., & Van den Heede, K. (2020). Nutrition support teams: A systematic review. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, 44(6), 1004–1020. <https://doi.org/10.1002/jpen.1811>
- Ruperto, M.D.M., & Piñeiro-Mondelo, M. (2020). Comparison of enteral formulas with recommended dietary allowances in

- the general population. A descriptive study. *Clinical Nutrition ESPEN*, 40, 678. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2020.09.824>.
- Seres, D. (2019). Nutrition support in critically ill patients: An overview. *UpToDate*, 1617, 58.0. <https://medilib.ir/uptodate/show/1617>
- Yang, H., Hou, L., Sun, H. M., & Ye, S. H. (2023). Comparison of micronutrients in adult enteral formulas widely used in clinical practice. *Food Science & Nutrition*, 00, 1–10. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3545>
- Zobkova, Z. S., Lazareva, E. G. & Semipyatniy, V. K. (2022). Methodological approach to designing fermented dairy products with optimal biological value. *Foods*, 11(1), 114. <https://doi.org/10.3390/foods11010114>