

УДК 637.52 (078)

# Исследование и проектирование многокомпонентных систем в биотехнологической промышленности в условиях неопределенности на основе энтропийных потенциалов показателей качества

Канд. техн. наук В. Л. ЛАЗАРЕВ  
holod25@yandex.ru  
Университет ИТМО

*Предложен подход к исследованию и проектированию рецептур многокомпонентных систем в условиях априорной неопределенности, обусловленных «дефицитом» измерительной информации о качестве сырья и продукции. Такая ситуация характерна для многих процессов и производств биотехнологической промышленности. Она определяется нестабильностью состава и свойств используемого сырья, а также сложностью и дороговизной проведения измерений отдельных показателей. Решение данных проблем предлагается осуществлять с использованием моделей состояний неопределенности на основе энтропийных потенциалов анализируемых показателей. Также рассматриваются методологические и вычислительные аспекты определения параметров моделей в различных ситуациях с исходными данными. Анализируются перспективы использования моделей для организации мониторинга и управления.*

**Ключевые слова:** многокомпонентные системы, рецептуры, управление качеством, энтропийные потенциалы, состояния неопределенности.

---

## Информация о статье:

Поступила в редакцию 01.11.2016, принята к печати 15.05.2017

DOI: 10.21047/1606-4313-2017-16-2-84-90

Язык статьи — русский

## Для цитирования:

*Лазарев В. Л. Исследование и проектирование многокомпонентных систем в биотехнологической промышленности в условиях неопределенности на основе энтропийных потенциалов показателей качества // Вестник Международной академии холода. 2017. № 2. С. 84–90.*

---

## Analysis and design of multicomponent systems in biotechnology industry in the context of uncertainty based on entropy potential quality indicators

Ph. D. V. L. LAZAREV  
holod25@yandex.ru,  
ITMO University

*The article deals with the approach to the analysis and design of formulations for multicomponent systems in the context of a priori uncertainty due to «deficiency» of information to measure the quality of raw materials and products. This situation is typical for many processes and industries in biotechnology industry. It results from the instability of the composition and properties of the raw materials used, and the difficulty and expensiveness of measuring individual indicators. To solve the problems in question it is proposed to use the models for the states of uncertainty based on entropy potentials of the analyzed indicators. Also, methodological and computational aspects of determining the parameters of the models in different situations with the original data are discussed. The prospects for the use of the models for monitoring and control are analyzed.*

**Keywords:** multicomponent systems, formulation, quality management, entropic potentials, state of uncertainty.

---

## Article info:

Received 01/11/2016, accepted 15/05/2017

DOI: 10.21047/1606-4313-2017-16-2-84-90

Article in Russian

## For citation:

Lazarev V. L. Analysis and design of multicomponent systems in biotechnology industry in the context of uncertainty based on entropy potential quality indicators. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2017. No 2. p. 84–90.

---

Важнейшей задачей развития биотехнологической промышленности является «конструирование» и производство продуктов различного функционального назначения с заданными гастрономическими и питательными свойствами. Таковыми являются линейки продукции мясной, молочной, кондитерской, комбикормовой и др. отраслей промышленности [1–5]. Производство большинства таких продуктов осуществляется из многокомпонентных смесей, как, например, производство колбас из фарша или производство шоколадных изделий из шоколадной массы, производство мороженого, карамели и различных биопрепаратов из соответствующих смесей. Имеет место тенденция по увеличению количества рецептурных ингредиентов с целью расширения ассортимента изделий с заданными свойствами. Состав и свойства используемых смесей (многокомпонентных систем) в значительной мере определяют качество выпускаемой на их основе продукции, ее пищевую ценность, гастрономические особенности и свойства. Поэтому стабилизация показателей качества таких систем является важнейшим аспектом при производстве «прецизионных» продуктов.

Формирование состава смесей, в основном, происходит при «закладке» сырья. Так, например, при составлении закладок для производства колбасного фарша используются как мясные компоненты (свинина, говядина различных сортов), так и не мясные (соевая мука, крахмал и др.), имеющие различное содержание жира, белка, влаги. Наличие этих веществ определяет состав готовой продукции после реализации последующих этапов производства: куттерования, термообработки. Рецептуры, в большинстве случаев, разрабатываются на использовании «детерминистских» моделей, основанных на предположении о том, что химический состав закладываемых компонентов является постоянным для используемых партий сырья [3, 4, 6]. Методики адаптированы к изменению содержания какого-либо вещества в используемой партии сырья, когда для производства одного и того же количества продукции требуется разное количество сырья. В таких случаях предусмотрена возможность расчета по содержанию сухих веществ. В результате, рецептуры закладки сырья могут быть рассчитаны как в «натуральном виде», так и по содержанию сухих веществ. Адаптация к конкретной массе закладки осуществляется с использованием коэффициентов пересчета.

Обобщенный вид модели, описывающей формирование показателей состава системы  $z_j$  ( $j \in J$ ), имеет вид

$$z_j = \frac{\sum_{(i)} x_{ij} y_i}{\sum_{(i)} y_i}, \quad (1)$$

где  $x_{ij}$  — содержание  $j$ -го показателя состава в  $i$ -ой партии сырья;  $y_i$  — масса  $i$ -ой партии сырья ( $i \in I$ ).

Для расчета рецептур в различных отраслях промышленности могут использоваться частные варианты модели (1) и иные обозначения.

Для проведения расчетов задаются требованиями к составу смеси и ограничениям по закладке компонентов в различных вариантах.

Первый, т. н. «жесткий» вариант, когда требования задаются в виде

$$z_j = z_{j0}, \quad (j \in J), \quad (2)$$

где  $z_{j0}$  — требуемое значение содержания  $j$ -го показателя состава в смеси.

В ряде случаев допускается использование «гибкого» варианта в виде

$$z_{j(\min)} \leq z_j \leq z_{j(\max)}, \quad (j \in J), \quad (3)$$

где  $z_{j(\min)}$  и где  $z_{j(\max)}$  — минимально и максимально допустимые значения содержания  $j$ -го показателя состава в готовой смеси, соответственно.

Кроме того, возможно введение дополнительных ограничений на диапазоны варьирования масс компонентов —  $y_i$  ( $i \in I$ ), например, вида (3).

Далее, на основании информации о содержании  $j$ -го показателя состава в каждой  $i$ -й партии исходного сырья —  $x_{ij}$ , ( $i \in I, j \in J$ ), используя варианты моделей (1)–(3), осуществляют расчет рецептуры для заданной массы полуфабриката  $M$  ( $M = \sum_{(i)} y_i$ ) в соответствии с выбран-

ном критерием  $L$ . В качестве такового, например, может быть задано условие минимизации или ограничения суммы относительных отклонений показателей состава  $z_j$  от установленных норм —  $z_{j0}$  с учетом значимости этих показателей, задаваемой соответствующими весовыми коэффициентами  $c_j$  ( $\sum_{(j)} c_j = 1$ ), ( $j \in J$ ) в виде

$$L = \sum_{(j)} c_j \left( \frac{z_j - z_{j0}}{z_{j0}} \right)^2 \rightarrow \min$$

$$\text{или } L_{\min(\text{доп})} \leq L \leq L_{\max(\text{доп})} \quad (4)$$

Возможны и другие варианты критериев [6, 7].

Методы решения подобных задач хорошо проработаны на инженерном уровне [8, 9]. Специфика их реализации на практике состоит в том, что с учетом тенденций по увеличению размерности задачи (увеличению количества ингредиентов в составе смеси и показателей состава), также возрастают объемы вычислений. Для проведения расчетов используется прикладное программное обеспечение (ПО). В первую очередь сюда относится «классический» вариант ПО MS Excel, а также ряд специализированных программ, позволяющих упростить и автоматизировать ввод исходных моделей и данных [10–14]. Эти пакеты ПО адаптированы к особенностям расчетов рецептур различных типов продуктов (кондитерские изделия, продукты из растительного сырья, продукты для функционального питания и др.). Так, например, для расчета рецептур продукции, свойства которой оцениваются на основании сенсорного анализа, применяются модели показателей качества с нечеткой логикой [14]. Для работы с ними используются модули пакета Mat Lab (Fuzzy Logic Toolbox и др.).

По изначальному замыслу, существующие подходы к разработке рецептур должны обеспечивать стабилизацию их состава и свойств. Реалии же таковы, что имеет

место значительный разброс показателей состава и свойств однотипных систем на производстве, что, в конечном счете, сказывается на качестве выпускаемых, на их основе, изделий. Так, например, вариации содержания жира в однотипных партиях фарша для вареных колбас могут находиться в пределах 11–25%; содержания влаги — 60–75%; содержания белка — 9–19% и т. д. Аналогичная ситуация имеет место и в других отраслях. Причина этого обусловлена, в основном, следующими обстоятельствами.

Первое связано с нестабильностью состава используемого сырья. Так, например, вариации содержания жира в используемой для приготовления фарша говядине могут находиться в пределах 5–12%; содержания влаги — 51–78%; содержания белка — 16–26% и т. д. Аналогично, вариации содержания жира в используемой свинине могут находиться в пределах 25–49%; содержания влаги 40–58%; содержания белка 10–16% и т. д. Такая же ситуация характерна и для ряда не мясных добавок: соевая мука, крахмал и др. Указанная особенность характерна и для других отраслей промышленности. Так, например, в тертом какао — основном компоненте для производства шоколадной массы в кондитерской промышленности, реальными являются вариации важнейших показателей состава в пределах: жиры — 54–58%; белки — 12,6–14,1%; дубильные вещества — 5,4–8,6%; органические кислоты — 0,6–2,4%; зола — 2–3,2% и др.

Второе обстоятельство обусловлено наличием априорной неопределенности, возникающей при формировании «информационного поля», необходимого для проведения расчетов и принятия решений по выбору рецептур. Причина этого кроется в сложности, длительности и дорогостоящем проведении отдельных измерений показателей химического состава [7, 8]. Так, например, проведение измерений таких показателей как содержание жира, белка, соли и других может быть осуществлено «классическими» лабораторными методами (например, метод Сокслета, метод Кьельдаля и др.) и методами экспресс-анализа. В первом случае, для проведения измерений, необходимо наличие сложного и громоздкого оборудования, дорогостоящих реактивов. При этом сам процесс является трудоемким и длится несколько часов. В качестве альтернативы могут использоваться методы экспресс-анализа, основанные на исследовании различных физических свойств образцов: оптических, реологических и др. Существующие приборы являются весьма дорогостоящими, в ряде случаев их использование оказывается экономически не целесообразным.

Указанные обстоятельства порождают возникновение «дефицита» измерительной информации, который зачастую и является причиной возникновения состояний неопределенности при проектировании многокомпонентных систем. Это, в конечном счете, сказывается на качестве продукции и, в ряде случаев, может привести к появлению брака. Следует отметить, что подобная проблематика также характерна и для других отраслей промышленности: химической, металлургической и др. [8].

Поэтому актуальной является задача по интеграции моделей состояний неопределенности многокомпонентных систем в базовые модели, используемые для проектирования этих систем.

Проблема описания состояний неопределенности является одной из актуальнейших на современном этапе развития науки и техники. Она является базовой при создании систем интеллектуального проектирования, мониторинга и управления. Следует отметить, что не существует единого, комплексного подхода к ее решению. Существующие подходы к описанию состояний неопределенности основаны на использовании различных теорий, методов и технологий, имеют свои достоинства, недостатки, области применений [15–17]. Одной из разработок, адаптированной к вышеизложенной специфике априорной неопределенности, является теория энтропийных потенциалов (ТЭП) [15, 17, 18]. Методы ТЭП являются «инструментами» для «проектирования» различных систем и организации управления ими в условиях неопределенности. Прикладная суть этой теории применительно к поставленной проблеме, кратко, состоит в следующем.

В рамках ТЭП описание состояний неопределенности анализируемых параметров осуществляется набором объективных характеристик, поддающихся числовому определению на основе результатов наблюдений. Таковыми являются: энтропийный потенциал (ЭП)  $\Delta_e$ , комплексный ЭП (КЭП)  $L_{\Delta}$ , многомерный КЭП (МКЭП)  $La_z$ . Эти понятия взаимосвязаны на основе принципа «вложения», когда понятия более «высокого» уровня выражаются через понятия предыдущих уровней. В соответствии с ним, описание состояния неопределенности состава многофазной смеси будет осуществляться величиной МКЭП в виде

$$La_z = \left( \sum_{(j)} \left( c_j |L_{\Delta j}| \right)^z \right)^{\frac{1}{z}} = \left( \sum_{(j)} \left( c_j \frac{\Delta_{ej}}{|X_{nj}|} \right)^z \right)^{\frac{1}{z}} = \left( \sum_{(j)} \left( c_j \frac{\frac{1}{2} e^{H_j}}{|X_{nj}|} \right)^z \right)^{\frac{1}{z}} = \left( \sum_{(j)} \left( c_j \frac{K_{ej} \cdot \sigma_j}{|X_{nj}|} \right)^z \right)^{\frac{1}{z}}. \quad (5)$$

В выражении (5) использованы следующие обозначения:  $c_j$  — весовой коэффициент, характеризующий значимость, приоритет каждого  $j$ -го показателя состава смеси;  $L_{\Delta j}$  и  $\Delta_{ej}$  — величины КЭП и ЭП, описывающие состояния неопределенности  $j$ -го показателя состава на соответствующих уровнях;  $X_{nj}$  — величина базового значения, на фоне которого рассматривается вариация  $j$ -го показателя (в частности, в качестве нее может быть выбрана величина  $z_{j0}$ );  $z$  — вариант МКЭП ( $z = 1, 2 \dots n$ ), в рассматриваемом случае целесообразно использовать вариант  $z = 2$ ;  $\sigma_j$  — величина среднего квадратического отклонения (СКО)  $j$ -го показателя;  $K_{ej}$  — энтропийный коэффициент, характеризующий свойства закона распределения вариаций  $j$ -го показателя состава.  $H_j$  — величина энтропии  $j$ -го показателя, ( $j \in J$ ).  $H_j = -\sum_{(s)} P(X_{js}) \ln P(X_{js})$ , где  $P(X_{js})$  — вероятность появления значения величины  $X_{js}$  в анализируемой выборке:  $s \in S$ . Для однофазной системы, когда рассматриваются вариации одного параметра, величина  $La_z$  вырождается в величину  $L_{\Delta}$ . Если еще пренебречь изменением величины базового значения, (т.е. считать

$X_n = \text{const}$ ), то величина  $L_\Delta$  вырождается в масштабное изображение величины  $\Delta_e$ . Величина  $\Delta_e$  может быть выражена как через энтропию параметра, так и через его характеристики рассеяния  $K_e, \sigma$  [17–19]. Пренебрежение изменением свойств закона распределения параметра ( $K_e = \text{const}$ ) приведет к преобразованию величины  $\Delta_e$  в масштабное изображение величины  $\sigma$ . Если в качестве базового значения используется величина математического ожидания этого показателя ( $X_n = m_x$ ), то величина  $\Delta_e$  вырождается в коэффициент вариации  $V_x$ . Каждая из приведенных характеристик является информативной и характеризует различные свойства состояний неопределенности рассматриваемых показателей.

Для эффективного проектирования и производства систем необходимы модели их состояний неопределенности с учетом вариативных свойств состава сырья. Так как значения весовых коэффициентов, в подавляющем большинстве случаев, задаются директивно (в виде инструкций, директив и др.), то исследование процессов формирования величины МКЭП следует начинать с предыдущего уровня понятий — величины  $L_\Delta$ . В соответствии с (5), эта величина определяется тремя базовыми величинами:  $X_n, \sigma, K_e$ . Рассмотрим возможности определения этих величин на основании информации о составе и свойствах исходного сырья.

Величина  $X_{nj}$  в ряде случаев, может быть задана в виде некоторого нормированного значения (предельно допустимого значения, диапазона изменения рассматриваемого показателя и др.). Зачастую, когда в качестве базового значения используется величина математического ожидания ( $X_{nj} = m_{xj}$ ), ее нахождение может быть осуществлено на основании (1). В этом случае, в качестве значений величин  $x_{ij}$ , следует использовать среднее значение содержания  $j$ -го показателя состава в  $i$ -ой партии сырья, ( $i \in I, j \in J$ ).

Величина  $\sigma_{zj}$  также может быть определена расчетным путем на основании информации о характеристиках разброса каждого показателя в используемых партиях сырья. Для этого преобразуем выражение (1) следующим образом

$$z_j = \frac{y_1 x_{1j} + y_2 x_{2j} + \dots + y_n x_{nj}}{\sum_{i=1}^n y_i} = \frac{y_1}{\sum_{i=1}^n y_i} x_{1j} + \frac{y_2}{\sum_{i=1}^n y_i} x_{2j} + \dots + \frac{y_n}{\sum_{i=1}^n y_i} x_{nj} = \sum_{i=1}^n a_i x_{ij}. \quad (6)$$

В выражении (6) использованы обозначения  $a_i$  — коэффициент, описывающий доленое присутствие  $i$ -ого компонента в общей массе закладки,

$$a_i = \frac{y_i}{\sum_{i=1}^n y_i}, \quad (i \in I). \quad (7)$$

Теперь, на основе выражения (6), можно определить дисперсию величины  $z_j$  —  $\sigma_{zj}^2$  через величины дисперсий этого показателя состава для отдельных компонент в закладке  $\sigma_{xij}^2, (i \in I)$ . В этом случае, дисперсия суммы вза-

имно независимых случайных аргументов находится из выражения

$$\sigma_{zj}^2 = \sum_{(i)} a_i^2 \sigma_{xij}^2 \quad (8)$$

В случае, если какие-либо  $l$ -й и  $k$ -й ( $l \in I, k \in I$ ) показатели состава в используемых партиях сырья коррелированы, что в силу физического смысла рассматриваемой задачи является маловероятным, то в выражении (8) появятся дополнительные слагаемые в виде произведений парных корреляционных моментов  $\rho\{x_l, x_k\}, (l \neq k)$  на коэффициенты при соответствующих аргументах и выражение (8) примет вид

$$\sigma_{zj}^2 = \sum_{(i)} a_i^2 \sigma_{xij}^2 + \sum_{(l) (k \neq l)} a_l a_k \rho\{x_l, x_k\}. \quad (9)$$

Возможно, что зависимость  $z_j$  от исходных показателей состава сырья может в итоге оказаться нелинейной, отличающейся от уравнения (1). То есть  $z_j = f(y_1, y_2, \dots, y_n)$ . Такая ситуация может иметь место, когда в процессе составления смеси в ней происходят различные биохимические процессы, например, происходит переход части влаги из свободного состояния в связанное. В этих случаях значения коэффициентов  $a_i$ , входящих в выражения (8) и (9), могут быть определены из выражения

$$a_i \approx \left( \frac{\partial f(y_1, y_2, \dots, y_n)}{\partial y_i} \right)_{\bar{y}=\bar{y}_0}, \quad (i \in I). \quad (10)$$

В выражении (10) координаты вектора  $\bar{y}_0$  описывают точку «номинального» состава смеси, в которой берутся частные производные.

Определение значений  $K_e$  показателей качества многокомпонентной системы может быть осуществлено различными способами, исходя из конкретной ситуации. Систематизация, классификация, описание и их характеристики подробно изложены в [17]. Не вдаваясь в отдельные детали, рассмотрим основные варианты решения этой задачи.

Необходимо отметить, что закон распределения каждого показателя состава смеси ( $a$ , следовательно, и значение величины  $K_e$ ) определяется видом законов распределений этого показателя для каждой из компонент, а также относительной долей этой компоненты в общей массе закладки. Аналитического описания такой зависимости в общем виде не существует. Имеются инженерные методики численного решения такой задачи, из которых наиболее подходящими являются следующие.

Первая основана на использовании специальных номограмм для определения энтропийного коэффициента результирующего показателя, сформированного наличием нескольких факторов [19, 20]. В качестве аргумента используется величина, характеризующая относительный вес дисперсии одного из факторов в суммарной дисперсии двух факторов, на основании которой и определяется результирующий энтропийный коэффициент. Далее, по аналогии, осуществляется учет влияния следующего фактора и так далее.

Вторая, так называемая методика робастного оценивания, позволяет получить оценку величины результирующего энтропийного коэффициента на основе огра-

## Характеристики состояний неопределенности по содержанию жира

Содержание жира (обозначение)	Среднее значение $m$ (%)		СКО $\sigma$ (%)		Энтропийный коэффициент $K_e$		ЭП $\Delta_e$ (%)		КЭП $L_\Delta$	
	Измер.	Расч.	Измер.	Расч.	Измер.	Расч.	Измер.	Расч.	Измер.	Расч.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Фарш ( $y_1$ )	22,5	23,7	4,0	4,1	2,0	2,0	8,0	8,2	0,35	0,35
Говядина ( $x_{11}$ )	7,0	—	2,1	—	1,8	—	3,8	—	0,54	—
Свинина ( $x_{21}$ )	31,4	—	5,8	—	1,9	—	11	—	0,35	—

нической выборки, характеризующей нестабильность рассматриваемого показателя в готовой смеси [17]. Она основана на использовании специально разработанной для этих целей т. н. «тарировочной кривой». Далее, для типовых вариантов рецептур эти значения табулируются. Впоследствии, заранее выявленные значения величин  $K_e$  могут использоваться при проведении исследований и расчетов.

Достоинство предложенных методов получения искомых оценок состоит в том, что их реализация требует минимального объема измерительной информации, в отличие от других подходов [17, 18].

Следует отметить, что если пренебречь вариативными свойствами законов распределений показателей состава, то есть полагать, что закон распределения везде и во всех случаях являются одинаковым (например, нормальным с  $K_e = 2,066$ ), то это приведет к упрощению и «огрублению» предлагаемых моделей на условия  $K_e = \text{const}$ . В этом случае проведение исследований и проектирование рецептур в условиях неопределенности будет проводиться с использованием «классических» методов дисперсионного анализа. Поэтому предлагаемый подход не противоречит существующим разработкам, а только «расширяет» их возможности [21, 22].

В свете изложенного, проектирование рецептур многокомпонентных систем должно осуществляться на основе рассмотрения приемлемых вариантов, полученных на основе детерминистских моделей, с последующим выбором варианта, обеспечивающего минимизацию выражения (5). Тем самым будет обеспечиваться минимизация состояний неопределенности качества синтезируемой системы.

Для иллюстрации возможностей изложенного подхода рассмотрим пример. Проводилось исследование состояния неопределенности состава колбасного фарша для докторской колбасы по показателю содержания жира  $y_1$  (%). Используемая рецептура закладки на 100 кг была следующей: говядина — 25 кг, свинина — 70 кг, мясные добавки (сухое молоко, специи и др.) — 5 кг. Так как в данной системе не используются добавки, содержащие существенное количество жира, то было принято, что состояние неопределенности этого показателя, в основном, определяется вариациями содержания жира в исходном сырье: говядине —  $x_{11}$  и свинине —  $x_{21}$ . Исходя из этого, в соответствии с выражениями (6) и (7), были определены значения  $a_1 = 0,25$ ,  $a_2 = 0,70$ . Было произведено исследование 20 партий фарша и исходного мясного сырья. Расчет параметров моделей состояний неопре-

деленности проводился по вышеизложенным методикам. Результаты исследований представлены в таблице. Данные в столбцах 2, 4, 6, 8 и 10 получены на основании обработки результатов измерений о содержании жира в использованных образцах сырья и фарша. Результаты по фаршу, представленные в столбцах 3, 5, 7, 9 и 11, получены на основании расчетов с использованием вышеизложенных методов и моделей. На основании этого можно сделать следующие выводы.

Имеет место высокий уровень состояния неопределенности содержания жира в системе. Об этом свидетельствуют значения величин  $\sigma$ ,  $\Delta_e$  и  $L_\Delta$ . На их основе, возможно прогнозирование ситуации, когда отклонение этого показателя от среднего значения может достигать десяти и более процентов, что чревато появлением брака. Кроме того, довольно большое значение величины  $K_e$  позволяет сделать вывод о повышенной «турбулентности» процесса формирования показателя, плохой «предсказуемости» его значений.

Основной причиной этого состояния является нестабильность рассматриваемого показателя в исходном сырье, о чем также свидетельствуют соответствующие значения величин  $\sigma$ ,  $\Delta_e$  и  $L_\Delta$ . Причем наиболее значительно эта ситуация имеет место для свинины. Одним из путей практического решения существующей проблемы является разделение сырья каждого вида на отдельные, более однородные по составу, партии. В качестве признаков для такой «идентификации» могут являться: район поставки сырья, производитель, сезон заготовки и др. В этом случае расчеты рецептур необходимо осуществлять для каждого конкретного случая. Другим путем является внедрение т. н. «гибких» рецептур, в которых предусмотрена возможность допустимых изменений масс закладки каждого вида сырья [6].

Расхождения между значениями характеристик состояний неопределенности фарша, полученными на основе экспериментальных данных и моделей (1)–(8), объясняются наличием элементов не адекватности моделей, например, обусловленных проявлением зависимостей типов (9) и (10), малым объемом выборки, а также погрешностями измерений, округлений и вычислений.

Аналогичные исследования могут быть проведены и по другим показателям: содержанию влаги, белка, релогическим и пр. В этом случае представляется возможным получить комплексную оценку качества системы в виде величины МКЭП и на ее основе разрабатывать рекомендации по организации проектирования рецептур и синтеза систем.

## Литература

1. *Рогов И. А., Забашта А. Г., Казюлин Г. П.* Технология мяса и мясных продуктов: учебник. Кн. 1. Общая технология мяса. — М.: КолосС, 2009. 568 с.
2. *Рогов И. А., Забашта А. Г., Казюлин Г. П.* Технология мяса и мясных продуктов: учебник. Кн. 2. Технология мясных продуктов. — М.: КолосС, 2009. 712 с.
3. *Апет Т. К., Пащук З. Н.* Справочник технолога кондитерского производства. — СПб.: ГИОРД, 2004. 560 с.
4. *Олейникова А. Я., Магомедов Г. О., Плотникова И. В.* Технологические расчеты при производстве кондитерских изделий. — СПб.: Изд-во РАПП, 2008. 240 с.
5. *Лисицын А. Б. и др.* Теория и практика переработки мяса. / Лисицын А. Б., Липатов Н. Н., Кудряшов Л. С., Алексанина В. А., Чернуха И. Н. — М.: Эдиториал сервис, 2008. 308 с.
6. *Лазарев В. Л., Нелеп В. А., Стегаличев Ю. Г.* Реализация методов оптимизации рецептур фарша в колбасном производстве. // Известия вузов. Пищевая технология. 1985. № 5. с. 100–102.
7. *Краснов А. Е., Красуля О. В., Большаков О. В., Шленская Т. В.* Информационные технологии пищевых производств в условиях неопределенности. — М.: ВНИИМ, 2001. 496 с.
8. *Лазарев В. Л.* Робастное управление в биотехнологической промышленности. Учебное пособие. — СПб.: Университет ИТМО, 2015. 196 с.
9. Методы классической и современной теории управления. Учебник: том 5. Методы современной теории автоматического управления. / Под ред. Н. Д. Егупкина. — М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. 748 с.
10. Свидетельство № 2005611720 Программа для автоматизированного проектирования, расчета и оценки качества многокомпонентных рецептур пищевых продуктов (Genetic-2.0) / Запорожский А. А., Запорожский В. А.; заявитель и правообладатель ГОУ ВПО КубГТУ. № 2005611157; заявл. 23.05.2005; Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 12.07.2005 г.
11. Свидетельство № 2009616582. Расчет однофазных рецептур кондитерских изделий / Муратова Е. И., Толстых С. Г., Толстых С. С. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 26.11.2009.
12. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ «Etalon» № 2005610751 / А. А. Борисенко. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 30.03.2005.
13. Свидетельство на программу для ЭВМ № 2007610187. Разработка рецептур композиций из растительного сырья (РКРС) / Бугаец И. А., Москаленко Ф. В., Тамова М. Ю., Бугаец Н. А. Заявлено № 2006613856 от 15.11.2006.
14. Свидетельство на программу для ЭВМ № 2005612711. Электронный ресурс для расчета рационалов школьного питания (ШкоОптиПит) / Колесникова Н. Г., Бородихин А. С., Шамкова Н. Т., Зайко Г. М., Григорьев А. С. Заявлено № 2005612189 от 24.08.2005.
15. Управление в условиях неопределенности. Монография. / С. В. Прокопчина, М. Ю. Шестопалов, Л. В. Уткин, М. С. Куприянов, В. Л. Лазарев, Д. Х. Имаев, В. Л. Горюхов, Ю. А. Жук, А. В. Спесивцев. Под общ. ред. С. В. Прокопчиной. — СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. 304 с.

## References

1. Rogov I. A., Zabashta A. G., Kazyulin G. P. Technology of meat and meat products: textbook. Book 1. Common technology of meat. Moscow, KolosS, 2009. 568 p. (in Russian)
2. Rogov I. A., Zabashta A. G., Kazyulin G. P. Technology of meat and meat products: textbook. Book 2. Technology of meat products. Moscow, KolosS, 2009. 712 p. (in Russian)
3. Apet T. K., Pashuk Z. N. Reference book of the confectionery technologist. SPb.: GIORД, 2004. 560 p. (in Russian)
4. Oleinikova A. Ya., Magomedov G. O., Plotnikova I. V. Technological calculations by production of confectionery. SPb.: Izd-vo RAPP, 2008. 240 p. (in Russian)
5. Lisitsyn A. B. i dr. Theory and practice of processing of meat. / Lisitsyn A. B., Lipatov N. N., Kudryashov L. S., Aleksakhina V. A., Chernukha I. N. Moscow, Editorial servis, 2008. 308 p. (in Russian)
6. Lazarev V. L., Nelep V. A., Stegalichev Yu. G. Realization of methods of optimization of compoundings of forcemeat in sausage production. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya*. 1985. No 5. p. 100–102. (in Russian)
7. Krasnov A. E., Krasulya O. V., Bol'shakov O. V., Shlenskaya T. V. Informational technologies of food productions in the conditions of indeterminacy. Moscow, VNIIM, 2001. 496 p. (in Russian)
8. Lazarev V. L. Robastny management in the biotechnological industry. Manual. SPb.: Universitet ITMO, 2015. 196 p. (in Russian)
9. Methods of the classical and modern theory of management. Textbook: volume 5. Methods of the modern theory of automatic control. / Under edition. N. D. Egupkina. M.: MGТУ im. N. E. Baumana, 2005. 748 p. (in Russian)
10. Certificate No. 2005611720 Program for an automated, calculation and evaluation test of multicomponent compoundings of foodstuff (Generic-2.0) / Zaporozhskii A. A., Zaporozhskii V. A.; applicant and owner of Public Educational Institution of Higher Professional Training to KUBGT. No. 2005611157; it is declared 23.05.2005; It is registered in the Register of the computer programs 12.07.2005. (in Russian)
11. Certificate No. 2009616582. Calculation of uniphase compoundings of Confectionery / Muratova E. I., Tolstykh S. G., Tolstykh S. S. It is registered in the Register of the computer programs 26.11.2009. (in Russian)
12. Certificate on filing of the computer program of «Etalon» No. 2005610751 / A. A. Borisenko. It is registered in the Register of the computer programs 30.03.2005. (in Russian)
13. The certificate on the computer program No. 2007610187. Development of compoundings of compositions from vegetable raw materials (RKRS) / Bugaets I. A., Moskalenko F. V., Tamova M. Yu., Bugaets N. A. Zayavleno № 2006613856 от 15.11.2006. (in Russian)
14. The certificate on the computer program No. 2005612711. An electronic resource for calculation of diets of a school delivery (ShkoOptiPit) / Kolesnikova N. G., Borodikhin A. S., Shamkova N. T., Zaiko G. M., Grigor'ev A. S. Zayavleno № 2005612189 от 24.08.2005. (in Russian)
15. Management in the conditions of indeterminacy. Monograph. / S. V. Prokopchina, M. Yu. Shestopalov, L. V. Utkin, M. S. Kupriyanov, V. L. Lazarev, D. Kh. Imaev, V. L. Gorokhov, Yu. A. Zhuk, A. V. Spesivtsev. Pod obshch. red. S. V. Prokopchينوi. SPb.: SPbGETU «LETI», 2014. 304 p. (in Russian)

16. Уткин Л. В. Анализ риска и принятие решений при неполной информации. — СПб.: Наука, 2007. 404 с.
17. Лазарев В. Л. Теория энтропийных потенциалов. — СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2012. 127 с.
18. Lazarev V. L. The Theory of Entropy Potentials, Basic Concepts, Results and Applications. // *Pattern Recognition and Image Analysis*, 2011, Vol. 21, No 4, pp. 637–648.
19. Туричин А. М., Новицкий П. В., Левшина Е. С. и др. Электрические измерения неэлектрических величин. — Л.: Энергия, 1975. 576 с.
20. Лазарев В. Л., Грахольская Т. А., Травина Е. А., Фролков Н. А. Использование когнитивных образов состояний систем в пространстве параметров энтропийных потенциалов для организации мониторинга и управления // *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств»*. 2015. № 4. С. 54–61.
21. Лазарев В. Л. Квалиметрия систем на основе энтропийных потенциалов параметров. Прикладные аспекты для пищевой промышленности и нанотехнологий // *Вестник Международной академии холода*. 2009. № 4. С. 48–52.
22. Лазарев В. Л., Митин Е. Е. Мониторинг процессов термообработки жидких продуктов на основе методов теории энтропийных потенциалов // *Вестник Международной академии холода*. 2013. № 2. С. 43–45.
16. Utkin L. V. The analysis of risk and decision making at inexact information. SPb.: Nauka, 2007. 404 p. (in Russian)
17. Lazarev V. L. Theory of entropic potentials. SPb.: Publishing house Polytechnical un-that, 2012. 127 p. (in Russian)
18. Lazarev V. L. The Theory of Entropy Potentials, Basic Concepts, Results and Applications. *Pattern Recognition and Image Analysis*, 2011, Vol. 21, No 4, pp. 637–648.
19. Turichin A. M., Novitskii P. V., Levshina E. S. etc. Electric measurements of not electrical quantities. L.: Energiya, 1975. 576 p. (in Russian)
20. Lazarev V. L., Grakhol'skaya T. A., Travina E. A., Frolkov N. A. Use of cognitive images of conditions of systems in space of parameters of entropic potentials for the organization of monitoring and management. *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya «Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv»*. 2015. No 4. p. 54–61. (in Russian)
21. Lazarev V. L. Kvalimetriya of systems on the basis of entropic potentials of parameters. Applied aspects for the food industry and nanotechnologies. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2009. No 4. p. 48–52. (in Russian)
22. Lazarev V. L., Mitin E. E. Monitoring of processes of heat treatment of fluid products on the basis of methods of the theory of entropic potentials. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2013. No 2. p. 43–45. (in Russian)

### Сведения об авторе

#### Лазарев Виктор Лазаревич

к. т. н., доцент кафедры автоматизации биотехнологических и теплофизических процессов Университета ИТМО, 191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, holod25@yandex.ru

### Information about author

#### Lazarev Viktor Lazarevich

Ph. D., associate professor of automation of biotechnological and thermal processes of ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, holod25@yandex.ru

### VIII международная научно-техническая конференция

## «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке»



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

ОРГАНИЗАТОРЫ:  
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО  
МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ ХОЛОДА



**15 – 17 ноября 2017 г.**

Конференция проводится на базе мегафакультета биотехнологий и низкотемпературных систем Университета ИТМО по адресу: 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

#### ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ КОНФЕРЕНЦИИ:

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Низкотемпературная техника и системы низкопотенциальной энергетики;</li> <li>➤ Надежность материалов оборудования биотехнологий и низкотемпературных систем;</li> <li>➤ Автоматизация процессов и устройств;</li> <li>➤ Криогенная техника и технологии СПГ;</li> <li>➤ Системы кондиционирования и жизнеобеспечения;</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Теоретические основы тепло- и хладотехники;</li> <li>➤ Техника и процессы пищевых производств;</li> <li>➤ Пищевые технологии. Биотехнологии;</li> <li>➤ Химический инжиниринг;</li> <li>➤ Промышленная экология и техносферная безопасность;</li> <li>➤ Экономика и управление производством.</li> </ul> |
|---|---|

Телефон для справок: (812) 572-27-10, Платунова Яна Яковлевна

E-mail: rft21@corp.ifmo.ru

[www.rft21.ifmo.ru](http://www.rft21.ifmo.ru)