

Аспирант А.В. Токарев

(Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского)
кафедра «Информационные технологии». тел. +7 (908) 134-65-29

E-mail: av.tokarev@bk.ru

Graduate A.V. Tokarev

(Moscow state university of technologies and management named after K.G. Razumovskiy)
Department "Information Technology". phone +7 (908) 134-65-29

E-mail: av.tokarev@bk.ru

Система управления производством колбасных изделий заданного качества

Production control system specified quality sausage products

Реферат. В статье рассматривается задача управления производственным заданием в технологической системе производства колбасных изделий заданного качества. Рассмотрена декомпозиция технологической системы, выделены функции управления: формирование оптимальной рецептуры фарша, экспертный анализ рецептуры, лабораторный анализ рецептуры и ее утверждение. Предложена информационная технология взаимодействия этих функций. Представлена математическая постановка задачи нахождения оптимальной рецептуры мясосыродного продукта с использованием возможных заменителей ингредиентов. Данная задача представляет собой классическую задачу линейного программирования, для решения которой имеются стандартные программы. Поскольку при изготовлении готового продукта возможны различные нелинейные эффекты, учесть которые в настоящее время практически невозможно, то в настоящей методологии предусмотрены операции «Экспертный анализ рецептуры» и «Лабораторный анализ готового продукта». Приведен пример расчета оптимальной альтернативы базовой рецептуре «Сосиски «Венские с сыром»» ТУ 9213-010-40155161-2002. К альтернативной рецептуре были предъявлены требования по стоимости фарша, ингредиентному составу, а также готовый продукт по органолептическим и физико-химическим показателям должен был соответствовать нормативным требованиям «Сосиски «Венские с сыром»» ТУ 9213-010-40155161-2002. Показатель кислотной активности (pH) фарша рассчитанной рецептуры должен быть в диапазоне 6,0-6,3. В качестве частичной замены основного сырья были предложены допустимые заменители. Требовалось рассчитать на базе рецептуры «Сосиски «Венские с сыром»» ТУ 9213-010-40155161-2002 оптимальную по цене и качеству альтернативную рецептуру. В результате удешевление стоимости фарша по альтернативной рецептуре составило 14,5 % при выполнении всех ограничений по потребительским свойствам. Предложенная информационная технология реализована в программном комплексе «Мультимит Эксперт» и представляет собой систему поддержки принятия решений для технолога мясоперерабатывающего предприятия.

Summary. The problem of management of production target in technological system of production of sausages of the set quality is considered in article. Decomposition of technological system is considered. Functions of management are allocated: formation of an optimum compounding of forcemeat, expert analysis of a compounding, laboratory analysis of a compounding and its statement. Information technology of interaction of these functions is offered. The mathematical problem definition of finding of an optimum compounding meat product with use of possible substitutes of ingredients is presented. This mathematical problem is a classical linear programming problem whose solution has the standard program. Since the manufacture of the finished product are various nonlinear effects are taken into account at the present time it is practically impossible, the methodology provided in this operation "Expert analysis of the formulation" and "Laboratory analysis of the finished product." An example of calculating the optimum alternative base recipe "Sausages "Viennese with cheese"" TS 9213-010-40155161-2002. For an alternative formulation demands were made at a cost of meat, the ingredient composition, as well as the final product organoleptic and physico-chemical indicators should comply with regulatory requirements "Sausages "Viennese with cheese"" TS 9213-010-40155161-2002. Indicator acid activity (pH) calculated stuffing formulation should be in the range 6.0-6.3. As a partial replacement for the main raw material have been proposed acceptable substitutes. It was necessary to calculate on the basis of the formulation "Sausages "Viennese with cheese"" TS 9213-010-40155161-2002 optimal price and quality alternative formulation. As a result of depreciation of the value of alternative stuffing recipe was 14.5 % when all of the restrictions on the consumer properties. The proposed information technology implemented in the software package "MultiMeat Expert" and a decision support system for the technology of meat processing enterprise.

Ключевые слова: управление, оптимизация, системный анализ, технологическая система, производство колбас, информационная технология, экспертная система, качество продукта.

Keywords: management, optimization, system analysis, technological system, production of sausages, information technology, expert system, quality of a product.

© Токарев А.В., 2016

Для цитирования

Токарев А.В. Система управления производством колбасных изделий заданного качества // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2016. №1. С. 63-69. doi:10.20914/2310-1202-2016-1-63-69.

For cite

Tokarev A.V. Production control system specified quality sausage products *Vestnik voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy* [Proceedings of the Voronezh state university of engineering technologies]. 2016, no. 1, pp. 63–69. (In Russ.). doi: 10.20914/ 2310-1202-2016-1-63-69.

Введение. В условиях все возрастающих требований к качеству продовольственных товаров возникает актуальная проблема повышения эффективности управления соответствующими технологическими системами. Решение этой проблемы в настоящей работе связывается с применением методов системного анализа и современных информационных технологий обработки информации [1. применительно к производству вареных колбас.

• структурно-функциональная модель технологической системы производства вареных колбас.

Согласно общей методологии системного анализа, в соответствии со стандартом

IDEF0 [2] и описанием существующей технологии производства вареных колбас [3, 4] разработана структурно-функциональная модель технологической системы. На рисунке 1 представлен фрагмент декомпозиции модели для операции «Составить оперативную рецептуру и производственное задание».

После выбора базовой рецептуры (блок 1 на рисунке 1) осуществляется расчет оптимальной рецептуры (блок 3 на рисунке 1), где в роли целевой функции выбирается минимизация цены продукта, а в качестве налагаемых ограничений максимально используются требования к рецептуре конечного продукта с учётом знаний предметной области.

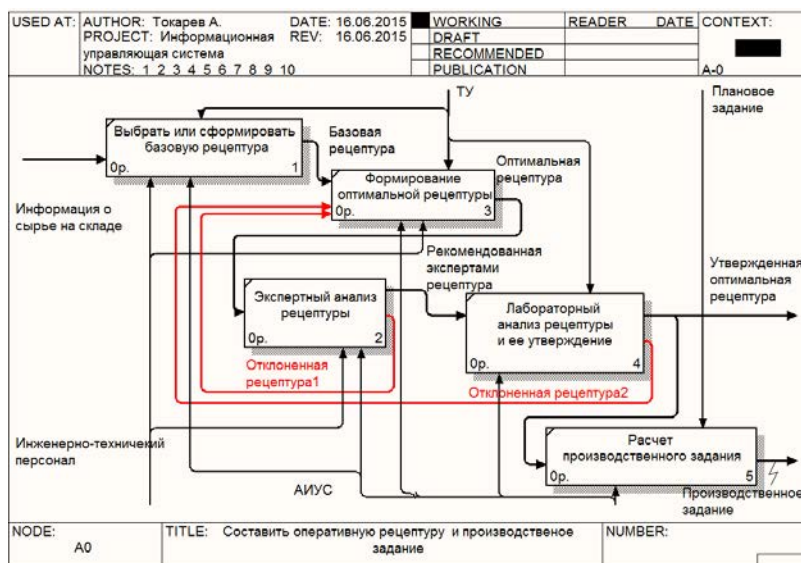


Рисунок 1. Декомпозиция функции «Составить оперативную рецептуру и производственное задание»

Рассчитанная рецептура поступает на экспертный анализ (блок 2 на рисунке 1) и далее на лабораторный анализ (блок 4 на рисунке 1). Утвержденная рецептура поступает в блок 5 для расчета производственного задания.

Информационная технология реализации функций управления

На рисунке 2 представлена информационная технология взаимодействия блоков 2, 3, 4 структурно-функциональной модели, использующая базу данных информационной системы и базу знаний экспертной системы.

На рисунке 2 использованы обозначения:

→ – сплошные линии, которые определяют алгоритмическую последовательность действий,

← - - - - - – пунктирные линии, которые определяют использование блоком информации из базы данных (базы знаний) либо передачу информации блоком в базу данных (базу знаний).

Рассмотрим алгоритмическую часть этой технологии.

1. Из архива нормативных рецептов, каждая из которых соответствует нормативному документу (ГОСТ, ТУ и т.п.), выбирается рецептура для оптимизации. Если стоит задача моделирования нового продукта, то создается базовая рецептура с «нуля» (блоки 1-4). При этом рассчитываются физико-химические, структурно-механические свойства продукта, пищевая ценность и его основные экономические показатели.

2. Формируются требования к рецептуре (блок 5):

- указывается разрешенный диапазон по изменению физико-химических свойств продукта (допустимое отклонение по содержанию влаги, белка, жира, поваренной соли, коэффициент гидратации, pH и т.д.);

- выбираются ингредиенты рецептуры для замены, назначаются для них допустимые заменители и определяется уровень их возможных замен;
- назначаются требования (минимальная и максимальная величина) к рецептурному составу групп, подгрупп или конкретных ингредиентов и заменителей;
- обозначается ограничение на конечную стоимость продукта.

Требования к рецептуре задаются пользователем (технологом), следуя рекомендациям экспертной системы (ЭС) и собственному уровню профессионализма.

3. Рассчитывается оптимальная рецептура с учетом следующего принципа (целевой функции): минимизировать себестоимость продукта при условии сохранения его потребительских качеств и удовлетворения заданных требований к рецептуре (блок 6);

4. С помощью ЭС проводится первичный анализ рецептуры (блок 7) на экономическую и технологическую пригодность (физико-химические показатели, уровень использования ингредиентов, сырьевая структура рецептуры, показатели качества, коэффициент гидратации фарша, pH, экономические показатели и т.п.). Если какой-либо из параметров не удовлетворяет требованиям, то согласно рекомендациям ЭС производится коррекция требований (переход к пункту 2) и пересчет рецептуры.

5. Если рассчитанная рецептура удовлетворяет требованиям технолога, то он сохраняет её в базу данных в архив «оперативные рецептуры» и передаёт на дальнейший лабораторный анализ (блок 10).

6. Лабораторный анализ (блок 11). Рецептура проверяется на технологическую пригодность, а также проверяются следующие свойства выработанного по рецептуре готового мясопродукта: органолептические, функциональные (пищевая и биологическая ценность, консистенция, эластичность, жёсткость, сочность), химический состав, а также сроки годности и сохранения потребительских свойств при хранении. Если продукт не удовлетворяет требованиям, определяются причины, вызвавшие проблемы, и ЭС предлагает пути их устранения; на их основании проводится коррекция рецептуры (переход к пункту 2).

7. Если рецептура прошла лабораторный анализ и по результатам анализа получено подтверждение ее заданного состава, технолог утверждает её, тем самым переводя в базу данных (в архив «утверждённые рецептуры»). Рецептура

утверждена и может быть запущена в производство для изготовления продукта согласно производственному заданию (блок 12, 13).

Пункт 2-7 повторяется столько раз, сколько нужно получить альтернативных рецептов для конкретного мясопродукта. В дальнейшем, при исполнении производственного задания на выработку мясных изделий согласно информации из базы данных о текущих остатках и ценах на сырье, а также о себестоимости продукции, среди альтернативных рецептов продукта выполняется поиск оптимальной с целью получения максимальной прибыли.

Математическая постановка задачи составления оптимальной рецептуры колбасного фарша

Для постановки задачи оптимизации состава фарша необходимо иметь следующую информацию:

- перечень всех видов ингредиентов, которые могут войти в состав определяемой фаршевой смеси;
- показатели качества каждого вида сырья, т.е. содержание учитываемых эссенциальных веществ и результаты оценки их функционально-технологических свойств.

Пусть дано множество ингредиентов, представленных кортежами Y :

$$Y(i) = \langle y(i,k) \rangle_{i=1,N, k=1,K}$$

где $y(i,1)$ – минимально допустимая доля i -го ингредиента в фарше; $y(i,2)$ – максимально допустимая доля i -го ингредиента в фарше; $y(i,3)$ – содержание влаги в i -ом ингредиенте, %; $y(i,4)$ – содержание белка в i -ом ингредиенте, %; $y(i,5)$ – содержание жира в i -ом ингредиенте, %; $y(i,6)$ – содержание нитрита натрия в i -ом ингредиенте, %; $y(i,7)$ – содержание поваренной соли в i -ом ингредиенте, %; $y(i,8)$ – pH i -го ингредиента; $y(i,9)$ – коэффициент гидратации i -го ингредиента; $y(i,10)$ – цена 1 кг i -го ингредиента, руб.

Так как ограничения по показателям задаются к конечному продукту, а расчёт рецептуры ведётся по фаршу, то при формировании ограничений необходимо учитывать потери (термопотери, потери при усушке). Для этого задается коэффициент термопотерь $K_{тр}$. Допустим, предъявлены следующие требования к показателям качества в конечном продукте:

- влаги не более K_v , %;
- белка не менее K_b , %;
- жира не более K_j , %;
- нитрита натрия не более K_{nit} , %;

- поваренной соли не более K_{sol} , %;
- pH не менее K_{ph} ,
- коэффициент гидратации не менее K_{gid} , %.

Например, для рецептуры варёной колбасы в натуральной оболочке «Синюга» конкретные значения указанных коэффициентов будут следующими: $K_{tp} = 14$ %, $K_v = 65$ %, $K_b = 13$ %, $K_j = 22$ %, $K_{nit} = 0.005$ %, $K_{sol} = 2,5$ %, $K_{ph} = 6,0$, $K_{gid} = 5$ %. С учетом коэффициента термопотерь $K_{tp} = 0,14$, коэффициента потерь нитрита натрия $K_{tpn} = 0,3$ получим следующие скорректированные значения коэффициентов:

- $K_{vk} = K_v / (1,00 - K_{tp})$, $//K_{vk} = 65$ % / $(1,00 - 0,14) = 65$ % / $0,86 = 75,6$ %, т.е. массовая доля влаги после варки уменьшается, значит, в фарше её должно быть больше.

- $K_{bk} = K_b * (1,00 - K_{tp})$, $//K_{bk} = 13$ % * $0,86 = 11,18$ %, массовая доля белка после варки увеличивается за счет уменьшения массовой доли влаги, значит, в фарше его должно быть меньше.

- $K_{jk} = K_j * (1,00 - K_{tp})$, $//K_{jk} = 22$ % * $0,86 = 18,92$ %, массовая доля жира после варки увеличивается за счет уменьшения массовой доли влаги, значит, в фарше его должно быть меньше.

- $K_{nitk} = K_{nit} / (1,00 - K_{tpn})$, $//K_{nitk} = 0,005$ % / $(1,00 - 0,3) = 0,0071$ %.

- $K_{solk} = K_{sol} * (1,00 - K_{tp})$, $//K_{solk} = 2,5$ % * $0,86 = 2,15$ % массовая доля поваренной соли после варки увеличивается за счет уменьшения массовой доли влаги, значит, в фарше её должно быть меньше.

При перечисленных исходных данных требуется определить вектор $x = \langle x(i) \rangle$, $i=1, N$, где $x(i)$ – относительная доля i -го ингредиента в фарше.

Допустимым решением является вектор x , удовлетворяющий ограничениям (1) – (10):

- ограничение по содержанию влаги:

$$\sum_{i=1}^N x(i) * y(i, 3) \leq K_{vk} \quad (1)$$

- ограничение по содержанию белка:

$$\sum_{i=1}^N x(i) * y(i, 4) \geq K_{bk} \quad (2)$$

- ограничение по содержанию жира:

$$\sum_{i=1}^N x(i) * y(i, 5) \leq K_{jk} \quad (3)$$

- ограничение по содержанию нитрита натрия:

$$\sum_{i=1}^N x(i) * y(i, 6) \leq K_{nitk} \quad (4)$$

- ограничение по содержанию поваренной соли:

$$\sum_{i=1}^N x(i) * y(i, 7) \leq K_{solk} \quad (5)$$

- ограничение по содержанию показателя кислотной активности pH:

$$\sum_{i=1}^N x(i) * 10^{-y(i, 8)} \leq 10^{-K_{pH}} \quad (6)$$

- ограничение по содержанию коэффициента гидратации:

$$\sum_{i=1}^N x(i) * y(i, 9) \geq K_{gid} \quad (7)$$

- сумма долей должна быть равна единице:

$$\sum_{i=1}^N x(i) = 1 \quad (8)$$

- ограничения на использование ингредиентов:

$$\forall i (y(i, 1) \leq x(i) \leq y(i, 2)) \quad i=1, N \quad (9)$$

Оптимальным решением поставленной задачи будем считать такой вектор x , который минимизирует линейную форму $F(x)$:

$$F(x) = \sum_{i=1}^N x(i) * y(i, 10) \quad (10)$$

Рассмотренная постановка задачи является типовой при формировании фарша для вареных колбас [5, 6]. В соответствии с рассмотренной ранее технологией формирования фарша отдельные ингредиенты рецептуры в ограниченном (допустимом) объеме можно заменять другими ингредиентами. Рассмотрим, как изменится постановка задачи в таком случае.

Пусть задан возможный заменитель (ингредиент): $yz = \langle yz(k) \rangle$, $k=1, K$, где $yz(1)$ – минимально допустимая доля заменителя в фарше; $yz(2)$ – максимально допустимая доля заменителя в фарше; $yz(3)$ – содержание влаги в заменителе, %; $yz(4)$ – содержание белка в заменителе, %; $yz(5)$ – содержание жира в заменителе, %; $yz(6)$ – содержание нитрита натрия в заменителе, %; $yz(7)$ – содержание поваренной соли в заменителе, %; $yz(8)$ – pH заменителя; $yz(9)$ – коэффициент гидратации заменителя; $yz(10)$ – цена 1 кг заменителя, руб.

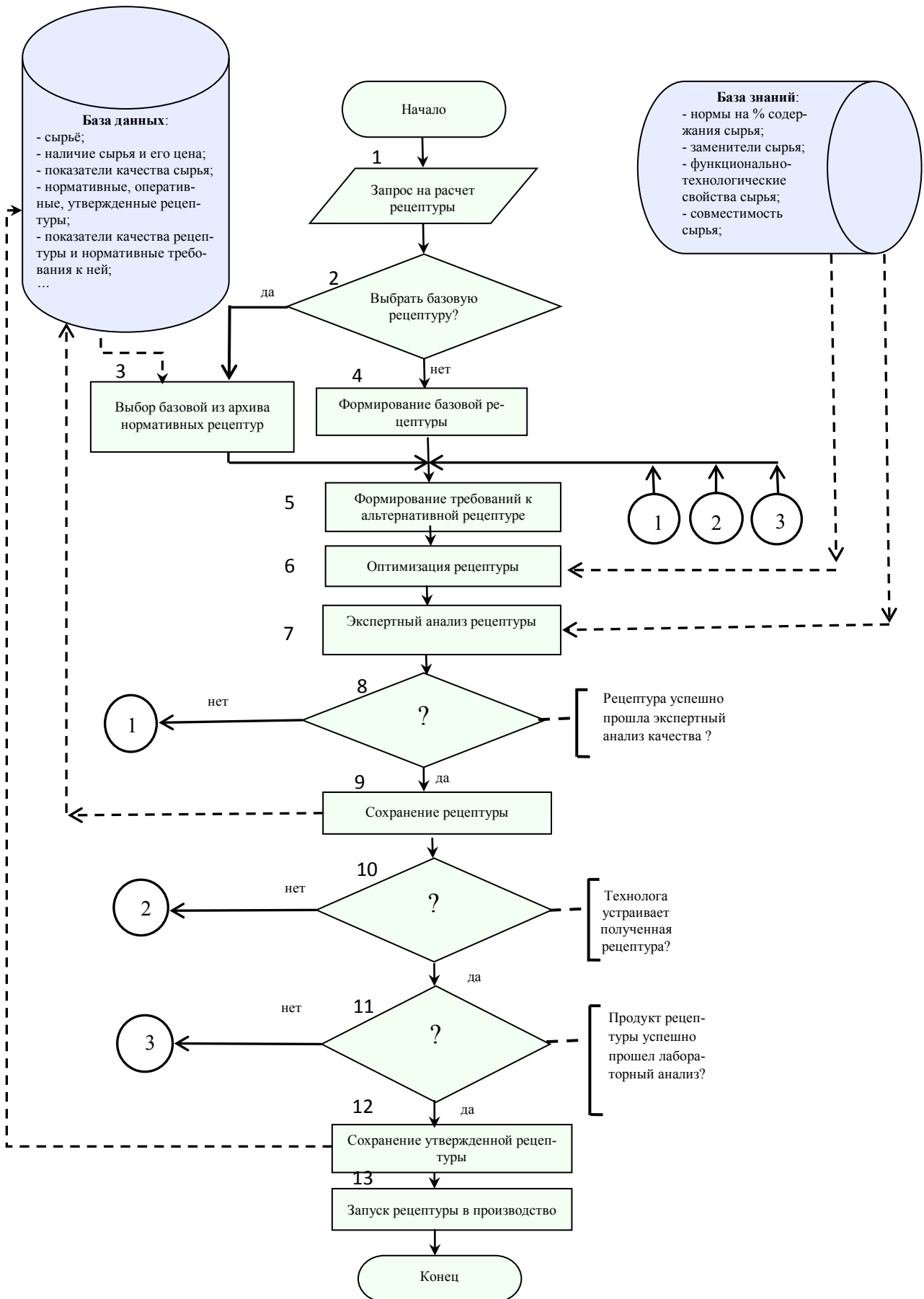


Рисунок 2. Информационная технология реализации управляющих блоков структурно-функциональной модели

Пусть также задано множество S – множество номеров ингредиентов из таблицы 1. Тогда, если $kz \in S$, то при его замене ингредиентом uz в постановке задачи нужно внести следующие изменения:

- включить в множество ингредиентов заменитель uz под номером $N+1$;
- в формулах (1) – (9) заменить N на $N+1$;
- формула (9) для номера kz запишется в следующем виде:

$$y(kz, 1) \leq x(kz) + x(N+1) \leq y(kz, 2), \quad (11)$$

для остальных номеров формула (9) не меняется.

Рассмотренная задача моделирования рецептуры фарша представляет собой классическую задачу линейного программирования, для решения которой имеются стандартные программы. Поскольку при изготовлении готового продукта возможны различные нелинейные эффекты, учесть которые в настоящее время практически невозможно, то в настоящей методологии предусмотрены операции «Экспертный анализ рецептуры» и «Лабораторный анализ готового продукта». Предложенная информационная технология реализована в программном комплексе «МультиМит Эксперт» [7] и представляет собой систему поддержки принятия решений для технолога мясоперерабатывающего предприятия.

Экспериментально-производственная проверка предлагаемых методов

Рассмотрим расчет оптимальной альтернативы базовой рецептуре «Сосиски «Венские с сыром»» ТУ 9213-010-40155161-2002.

К альтернативной рецептуре были предъявлены следующие требования:

- стоимость фарша не должна превышать 80 рублей за 1 кг;
- ингредиентный состав фарша (в расчете на 100 %) должен соответствовать требованиям, приведенным в таблице 1;
- по органолептическим и физико-химическим показателям готовый продукт должен соответствовать нормативным требованиям «Сосиски «Венские с сыром»» ТУ 9213-010-40155161-2002;
- рН фарша рассчитанной рецептуры должен быть в диапазоне 6,0-6,3.

В качестве замены сырья: говядины 1 сорта и 2 сорта, меланжа - экспертной системой были предложены заменители: животный белок, свинина полужирная, грудка бройлера, эмульсия из свиной шкурки, витацель (пищевая клетчатка), яичный порошок.

Т а б л и ц а 1

Требования к ингредиентному составу фарша
(в расчете на 100 %)

Ингредиенты	Не менее, %	Не более, %
Говядина 1 сорт	15	
Свинина полужирная		10
Шпик боковой	13	
Грудка бройлера		4
Эмульсия из свиной шкурки		5
Животный белок		0,7
Витацель		1

Требовалось рассчитать на базе рецептуры «Сосиски «Венские с сыром»» ТУ 9213-010-40155161-2002 оптимальную по цене и качеству альтернативную рецептуру. Стоимость фарша альтернативной рецептуры составила 79,78 руб. за кг, что на 13,58 руб. дешевле нормативной. Удешевление стоимости фарша составило 14,5 % при выполнении всех ограничений по потребительским свойствам. На рисунках 3 и 4 представлены диаграммы сравнения экономических показателей и показателей качества базовой и альтернативной рецептуры соответственно, подтверждающие эффективность рассмотренных методов.

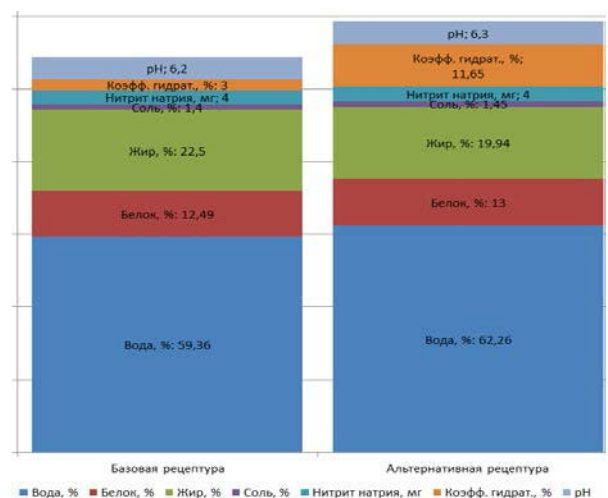
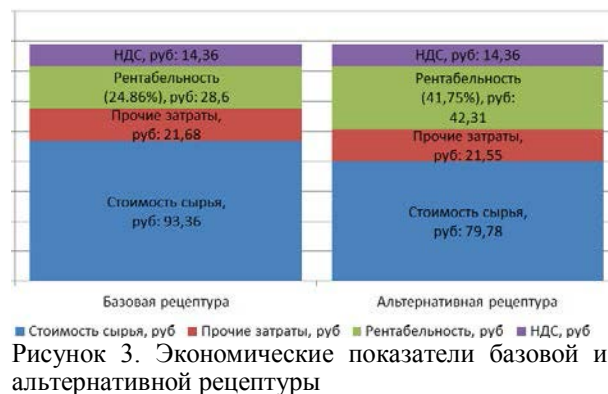


Рисунок 4. Показатели качества базовой и альтернативной рецептуры

Результаты и обсуждение

Разработка структурно-функциональной модели технологической системы производства вареных колбас позволила предложить информационную технологию реализации задачи управления производством мясопродуктов заданного качества на основе оптимизации функционально-

технологических показателей колбасного фарша. Эта технология включает операции «Оптимизация рецептуры», «Экспертный анализ рецептуры», «Лабораторный анализ рецептуры». Предложенные модели и методы проверены экспериментально и реализованы программным комплексом «МультиМит Эксперт» [7].

ЛИТЕРАТУРА

1 Новицкий В.О., Карпов В.И. Методология исследования и моделирования сложных систем управления для предприятий и компаний зернового сектора АПК // Информационные технологии. 2010. № 9. С. 50-52.

2 ГОСТ Р 50.1.028-2001. Рекомендации по стандартизации. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования, 2001. 49 с.

3 Бобренева И.В. Функциональные продукты питания. Учебное пособие. СПб.: ИЦ «Интермедиа», 2012. 180 с.

4 Kerry J., Kerry J., Ledward D. Meat processing: improving quality. New York: Woodhead publishing limited, 2002. 443 p.

5 Красуля О.Н. и др. Моделирование рецептур пищевых продуктов и технологий их производства: теория и практика. Учебное пособие. СПб.: ГИОРД, 2015. 320 с.

6 Sablani S. S., Rahman M. S., Datta A. K., Mujumdar A.S. Handbook of Food and Bioprocess Modeling Techniques. London: CRC Press Taylor & Francis Group, 2007. 613 p.

7 Свидетельство № 2013616949 РФ. Программа для решения технологических и учетных задач на предприятиях мясной и рыбной промышленности «МультиМит Эксперт»: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / Токарев А.В., Красуля О.Н.; заявитель и правообладатель Токарев А.В. Заявка № 2013615177, 17.06.2013; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 29.07.2013.

REFERENCES

1 Novitskii V.O., Karpov V.I. The methodology of the study and simulation of complex control systems for enterprises and the agricultural sector grain companies. *Informatsionnyie tehnologii* [Information technology], Moscow, 2010, no. 9, pp. 50-52 (In Russ.).

2 GOST P50.1.028-2001. Rekomendatsii po standartizatsii. Informatsionnyie tehnologii podderzhki zhiznennogo tsikla produktsii. Metodologiya funktsionalnogo modelirovaniya [State Standard P50.1.028-2001. Recommendations for standardization. Information technology support for the product lifecycle. Methodology of functional modeling]. 2001. 49 p. (In Russ.).

3. Bobrenova I.V. Funktsional'nye produkty pitaniya [Functional Foods]. Saint-Petersburg, «Intermedia», 2012. 180 p. (In Russ.).

4 Kerry J., Kerry J., Ledward D. Meat processing: improving quality. New York: Woodhead publishing limited, 2002. 443 p.

5 Krasulia O.N., Nikolaeva S.V., Tokarev A.V. et al. Modelirovanie retseptur pischevyih produktov i tehnologiy ih proizvodstva: teoriya i praktika [Modeling of food recipes and manufacturing technologies: theory and practice]. Saint-Petersburg, GIORД, 2015. 320 p. (In Russ.).

6 Sablani S. S., Rahman M. S., Datta A. K., Mujumdar A.S. Handbook of Food and Bioprocess Modeling Techniques. London: CRC Press Taylor & Francis Group, 2007. 613 p.

7 Tokarev A.V., Krasulya O.N. Programma dlya resheniya tehnologicheskikh i uchetnykh zadach na predpriyatiyah myasnoy i ryibnoy promyshlennosti "MultiMeat Expert" [The program for the solution of technological tasks, and accounting at the enterprises of meat and fish industry "MultiMeat Expert"]. Certificate RF, no. 2013616949, 2013.