

УДК 65.01.85.664

Зав. кафедрой М.М. Благовещенская, аспирант А.Э. Козловская,
доцент Л.А. Крылова

(Москва, Россия, Московский государственный университет пищевых производств.)
кафедра информационных технологий и автоматизированных систем. тел.+7 (499) 750-01-11
E-mail: mmb@mgupp.ru

профессор И.Г. Благовещенский

(Москва, Россия, Московский государственный технический университет имени
Н.Э. Баумана.) кафедра теоретической механики. тел.+7 (916) 964-72-81
E-mail: drbl@bk.ru

Head of chair M.M. Blagoveshchenskaia, graduate A.E. Kozlovskaja,
associate Professor L.A. Krylova

(Moscow, Russia, Moscow State University of Food Production.) Department of information
technology and automated systems. phone +7 (499) 750-01-11
E-mail: mmb@mgupp.ru

professor I.G. Blagoveshchenskii

(Baumann Moscow State Technical University, Moscow) Department of Theoretical Mechanics.
phone (916) 964-72-81
E-mail drbl@bk.ru

Модель управления качеством технологических процессов зерноперерабатывающих и мельничных предприятий

Model of quality management of technological processes of the grain processing and mill enterprises

Реферат. В работе представлена модель управления качеством технологических процессов зерноперерабатывающих и мельничных предприятий. Показано, что мукомольное производство является важным звеном агропромышленного комплекса, поскольку оно обеспечивает производство основного продукта питания людей – муки. Представлены аналитические показатели качества технологического процесса. Составлена матрица экспертных оценок i -го уровня качества для задаваемых комбинаций значений параметров по схеме полного факторного эксперимента. Рассмотрена модель для расчета подготовки сырья к помолу, которая характеризует основные качества перерабатываемого сырья. С целью управления качеством технологических процессов мелькомбината разработана математическая модель, которая включает расчет двух групп показателей оценки: качества подготовки сырья к помолу и качества ведения технологического процесса. Предложен алгоритм аналитической оценки показателей качества технологического процесса мукомольных предприятий, включающий отбор отходов, отбор отрубей, коэффициент соответствия выхода мукомольной продукции, коэффициент соответствия влажности продукции. Проведена оценка управления качеством технологического процесса сортового помола на примере нескольких ведущих мукомольных предприятий Центрального федерального округа. Построена двухмерная модель управления качеством технологического процесса с учетом аналитических показателей оценки качества, оценки качества подготовки сырья к помолу и оптимального эффективного состояния технологического процесса. Показано, что управление качеством на предприятии предусматривает сбор, обработку и анализ информации о состоянии материальных потоков и производственных процессов на всех их стадиях.

Summary. In the work the model of quality management of technological processes of the grain processing and mill enterprises is presented. It is shown that flour-grinding production is an important part of agro-industrial complex because it provides production of the main food product of people – flour. The analytical indicators of quality of technological process are presented. The matrix of expert estimates of i -th level of quality for the set combinations of parameters values according to the scheme of complete factorial experiment is made. Considered a model for the calculation of the raw material preparation for milling, which characterizes the main qualities of the processed raw materials. For the purpose of management of quality of technological processes of flour mill the mathematical model which includes calculation of two groups of indicators of an assessment is developed: qualities of preparation of raw materials for a grinding and qualities of conducting technological process. The algorithm of an analytical assessment of indicators of quality of technological process of the flour-grinding enterprises, including the selection of waste, selection of bran, a compliance rate of output of flour-grinding products, compliance rate of moisture products, is offered. The assessment of quality management of technological process of a high-quality grinding on the example of several leading flour-grinding enterprises of Central Federal District is carried out. The two-dimensional model of quality management of technological process based on an analytical indicators of an assessment of quality, an assessment of quality of preparation the raw materials for a grinding and an optimum effective condition of technological process is constructed. It is shown that quality management at the enterprise provides collecting, processing and the analysis of information on a condition of material streams and productions on all of their stages.

Ключевые слова: качество, управление качеством, пищевая промышленность, зерно, мукомольная промышленность, функционал качества, показатели качества зерна, показатели качества помола, модель управления качеством.

Keywords: quality, quality management, food industry, grain, flour-grinding industry, functionality of quality, indicators of quality of grain, indicators of quality of a grinding, quality management model.

© Благовещенская М.М., Козловская А.Э.,
Крылова Л.А., Благовещенский И.Г., 2014

Управление качеством продукции является в настоящее время важнейшей сферой деятельности промышленных предприятий. Базовыми принципами современной методологии всеобщего управления качеством являются: ориентация на потребителя, непрерывное совершенствование, принятие решений на основе фактов, инвариантность требований и рекомендаций по отношению к предприятию. Реализация этих принципов на предприятиях осуществляется в рамках систем менеджмента качества, требования к которым регламентируются стандартами ИСО серии 9000. Наличие у предприятия сертификата соответствия ИСО 9000 создает благоприятный имидж у потребителей, гарантируя высокое и стабильное качество выпускаемой продукции [1].

Формальную основу современной теории управления качеством составляют статистические методы. Методология их применения является универсальной по отношению к предприятию и дает хорошие результаты по повышению качества продукции. Существенным недостатком формальной базы управления качеством является отсутствие процедур принятия управленческих решений по повышению качества продукции через технологию, основанных на результатах статистического анализа фактических производственных данных. Отсутствуют также рекомендации, позволяющие использовать традиционные скалярные методы и модели в условиях, когда технология и качество описываются вектором характеристик. Это особенно важно для сложных, многоэтапных технологических процессов.

Имеются результаты использования статистического анализа данных для управления качеством продукции на некоторых типах пищевых производств, в частности, в кондитерской промышленности. Актуальность применения статистических методов для подобных типов производств (непрерывных) обусловлена сложностью процессов, отсутствием теоретических моделей, обобщающих все множество факторов технологии, наличием множества неконтролируемых воздействий [2-6].

Имеющиеся разработки не увязаны с современной концепцией управления качеством, что затрудняет их интеграцию в систему менеджмента качества предприятия.

Современное промышленное предприятие в соответствии со стандартами ИСО 9000 должно обеспечить контроль производственных процессов – от сырья до готовой продукции. Это позволяет использовать данные контроля технологии и качества для определения путей их совершенствования. Уровень оснащенности промышленных предприятий систе-

мами автоматизации, осуществляющими сбор, хранение данных и оперативное управление технологическими процессами является достаточно высоким, а автоматизированные системы, обеспечивающие максимально эффективное использование данных для управления качеством, развиты недостаточно. Существующие в этой области решения обладают рядом существенных недостатков: в них отсутствуют средства настройки на конкретное предприятие, разработки мероприятий по повышению качества и определения управления; они сложны для пользователей, не имеющих специальной подготовки. В связи с этим актуальной задачей является разработка автоматизированных систем управления качеством продукции (АСУКП) на предприятиях пищевой промышленности.

Мукомольная промышленность одна из ведущих отраслей народного хозяйства нашей страны, которая вырабатывает муку и крупы, а также комбикорма. Мукомольное производство считают важным звеном агропромышленного комплекса, поскольку оно обеспечивает производство основного продукта питания людей – муку [1]. Мукомольная промышленность тесно связана с пищевой промышленностью, прежде всего хлебопекарной. Хлебные продукты содержат в своем составе важные питательные вещества (белки, углеводы и др.), необходимые человеку. В настоящее время мукомольная промышленность нашей страны добилась значительных успехов в своем развитии и совершенствовании. Развитие машинного индустриального производства, изменение ресурсной структуры технологии зерноперерабатывающих и мельничных предприятий прошло через ряд технологических укладов. Новый шестой технологический уклад, в котором происходит наиболее резкое изменение ресурсной структуры технологии производства, связан с внедрением интеллектуальных информационных технологий.

Обеспечение качества готовой продукции зерноперерабатывающих и мельничных предприятий очень актуальная, но вместе с тем трудоёмкая задача. Решение этой проблемы невозможно без системного анализа характеристик основных стадий и материальных потоков технологических процессов производства, влияния состояния сырья на качество готовой муки, влияние схем мукомольного производства на управление качеством готового продукта, а также без использования математической модели управления качеством технологических процессов мукомольных производств.

В современной технологии производства муки подготовительные операции играют важ-

ную роль. Технологами доказано, что эффективность сортового помола не менее чем на 50 % зависит от организации и ведения процессов именно в подготовительном отделении мельницы. Поэтому системный анализ всех операций, происходящих в подготовительном отделении, имеет важное значение для разработки математической модели управления качеством технологических процессов мукомольных производств [4-6].

С целью управления качеством технологических процессов мелькомбината разработана математическая модель, которая включает расчет двух групп показателей оценки: качества подготовки сырья к помолу и качества ведения технологического процесса.

Оценка качества продуктов питания связана с контролем их физико-химических, существенных и органолептических свойств, указанных в соответствующих госстандартах и определяющих полную техническую характеристику стандартизируемой продукции. Управление качеством на предприятии предусматривает сбор, обработку и анализ информации о состоянии материальных потоков и производственных процессов на всех их стадиях. Свойства, характеризующие качество, по значимости разделяются на следующие группы:

- Критические свойства – группа свойств, которая однозначно определяет возможность использования зерна на пищевые цели. К этой группе должны быть отнесены влажность, засоренность, натура и зараженность амбарными вредителями.

- Существенные свойства – группа свойств, в значительной мере определяющих ценность зерна. К ним могут быть отнесены плотность, пленчатость, стекловидность, крупность, зольность и клейковина.

- Органолептические свойства – группа свойств, в которую входят внешний вид, вкус, цвет, запах и состав.

Информационные технологии, обеспечивающие выработку продукции заданного ассортимента с заданными свойствами и параметрами, в том числе показателями пищевой и биологической ценности, связаны с нахождением экстремума некоторого функционала качества:

$$G = \prod_{k=1}^{m_k} (1 - z_k^2) \cdot \left[\sum_{i=1}^m a_i \left(1 - \sqrt{\sum_{j=1}^{n_i} b_{ij} z_{ij}^2} \right) \right], \quad (1)$$

где z_{ij} b_{ij} – отклонение j -го фактора i -ой группы и его весовой коэффициент; a_i – коэффициент значимости i -ой группы факторов; z_k – отклонение k -го фактора критической группы.

Все изменяемые параметры z_{ij} и z_k приводятся к безразмерной шкале относительных величин.

Функционал изменяется от 1 до 0, соответственно от эталонного состояния качества до его граничного значения и обращается в нуль при выходе любого параметра критической группы за предельно допустимый уровень.

Для вычисления коэффициентов значимости отдельных показателей и их комбинаций b_{ij} в определении категории качества зерна, составляется матрица экспертных оценок i -го уровня качества для задаваемых комбинаций значений параметров по схеме полного факторного эксперимента (таблица 1).

Т а б л и ц а 1

Матрица экспертных оценок i -го уровня качества

Группа свойств	№	Наименование свойств
Критические свойства	1	засоренность
	2	зараженность амбарными вредителями
	3	влажность
	4	натура
Существенные свойства	5	плотность
	6	пленчатость
	7	стекловидность
	8	крупность
	9	зольность
	10	клейковина
Органолептические свойства	11	внешний вид
	12	вкус
	13	цвет
	14	запах
	15	состав

В результате обработки матрицы планирования эксперимента вычисляются коэффициенты уравнений разделяющих поверхностей для различных категорий качества зерна, определяющие значимость вклада соответствующих эффектов в значение функционала качества.

Для построения математической модели необходимо составить структурно-параметрическую модель зерна мукомольного производства (таблица 2) для установления связи между его свойствами. Матричная модель представлена в таблице 3.

Структурно-параметрическая модель зерна мукомольного производства

№	Наименование свойства	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	засоренность	1	•							•						
2	зараженность амбарными вредителями	•	1							•						
3	влажность			1												•
4	натура	•		•	1	•			•							•
5	плотность	•			•	1			•							•
6	пленчатость	•	•	•			1				•					
7	стекловидность					•		1	•							•
8	крупность				•				1							•
9	зольность									1						
10	клейковина					•					1					•
11	внешний вид	•		•	•	•		•	•	•	•	1		•		
12	вкус	•	•	•	•		•			•			1			•
13	цвет	•	•	•										1		•
14	запах				•										1	•
15	состав															1

Т а б л и ц а 3

Матричная модель

№	Наименование свойства	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	засоренность	1	0,26	0	0	0	0	0	0	0,34	0	0	0	0	0	0
2	зараженность	0,12	1	0	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0
3	влажность	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,47
4	натура	0,78	0	0,45	1	0,65	0	0	0,96	0	0	0	0	0	0	0,73
5	плотность	0,54	0	0	0,86	1	0	0	0,41	0	0	0	0	0	0	0,66
6	пленчатость	0,63	0,74	0,39	0	0	1	0	0	0	0,82	0	0	0	0	0
7	стекловидность	0	0	0	0	0,13	0	1	0,33	0	0	0	0	0	0	0,94
8	крупность	0	0	0	0,78	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0,96
9	зольность	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
10	клейковина	0	0	0	0	0,76	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0,81
11	внешний вид	0,73	0	0,61	0,59	0,57	0	0,55	0,84	0,96	0,15	1	0	0,77	0	0
12	вкус	0,51	0,39	0,31	0,58	0	0,85	0	0	0,12	0	0	1	0	0	0,53
13	цвет	0,44	0,49	0,54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,47
14	запах	0	0	0	0,48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,76
15	состав	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Матрица представляет собой полное описание структуры и характеристик связей между параметрами и факторами, определяющими функционирование любого технологического процесса или комплекса. Детализация параметрических описаний объекта в виде клеточной матрицы определяется конкретной задачей идентификацией и моделированием системы, а так же характером априорных данных о качественных и количественных показателях влияния и взаимодействия между ее элементами.

Для оценки степени подготовки сырья к помолу предложена модель, которая базируется на группе коэффициентов, характеризующих основные показатели качества перерабатываемого зерна (влажность, плотность, клейковина, стекловидность, крупность, зольность, зерновая и сорная примесь), на основе которых рассчитывается аналитический коэффициент качества подготовки сырья к помолу.

Для показателей, увеличение значения которых благоприятно сказывается на качестве готовой продукции (крупность, влажность, клейковина, стекловидность), используется формула:

$$K = \frac{X_{min}}{X_{\phi}}, \quad (2)$$

где X_{ϕ} – фактическое значение показателя качества сырья, X_{min} – минимально допустимое значение показателя качества зерна, установленное стандартом.

Для показателей, уменьшение значения которых положительно влияет на качество готовой продукции (плотность, зольность, зерновая и сорная примесь), применяется формула:

$$K = 1 - \frac{(X_{max} - X_{min})}{(X_{\phi} - X_{min})}, \quad (3)$$

где X_{max} – максимально допустимое значение показателя качества зерна, установленное стандартом.

Расчет аналитического коэффициента оценки качества подготовки сырья к помолу проводится по формуле:

$$I = \sqrt[n]{\prod_i^n K_i}, \quad (4)$$

где I – аналитический коэффициент; n – количество коэффициентов; K_i – значение отдельного коэффициента качества зерна.

Предложен алгоритм аналитической оценки показателей качества технологического процесса мукомольных предприятий, который может быть представлен в виде последовательности действий:

1. Определяется коэффициент соответствия отбора отходов K_o , характеризующий степень подготовки зерна к помолу, по формулам:

$$K_o = \frac{O_n}{O_\phi}, \text{ если } O_n \leq O_\phi \quad (5)$$

$$K_o = \frac{O_\phi}{O_n}, \text{ если } O_n > O_\phi,$$

где O_n – расчетное количество отбора отходов 1 и 2 категории, определенное технологической лабораторией на основе анализа качества перерабатываемого зерна; O_ϕ – фактическое количество отбора отходов.

2. Рассчитывается коэффициент отбора отрубей, с помощью которого характеризуются сверхнормативные потери мучнистого зерна или повышение зольности готовой продукции на этапе помола зерна по формулам:

$$\text{если } OT_n \leq OT_\phi \quad (6)$$

$$\text{если } OT_\phi \leq OT_n,$$

где OT_n – расчетное количество отбора отрубей, установленное технологической лабораторией; OT_ϕ – фактический отбор отрубей.

3. Проводится расчет коэффициента соответствия выхода мукомольной продукции K_v , позволяющий оценить качество технологических стадий подготовки пшеницы к помолу и помол зерна в целом, с помощью формулы:

$$K_v = \frac{B_\phi}{B_n}, \quad (7)$$

где B_n – планово-расчетный выход готовой продукции по данным технологической лаборатории; B_ϕ – фактический выход продукции.

4. Определяется коэффициент соответствия влажности продукции $K_{вл}$, дающий оценку полноты выпуска продукции в натуральном измерении, по формуле:

$$K_{вл} = \frac{ВЛ_\phi}{ВЛ_n}, \quad (8)$$

где $ВЛ_n$ – нормативно-допустимая влажность мукомольной продукции; $ВЛ_\phi$ – фактическая влажность продукции.

5. Рассчитывается аналитический коэффициент оценки качества технологического процесса K_a :

$$K_a = \sqrt[n]{K_o \times K_{от} \times K_v \times K_{вл}}, \quad (9)$$

где n – количество коэффициентов.

В целях практического применения разработанной модели проведена оценка управления качеством технологического процесса

сортового помола на примере нескольких ведущих мукомольных предприятий Центрального федерального округа, которые с целью сохранения конфиденциальности информации условно обозначены номерами.

Аналитические показатели качества подготовки сырья к помолу представлены в таблице 4.

Т а б л и ц а 4
Аналитические показатели качества подготовки сырья к помолу

С/Х год	Коэффициент Соответствия:								Аналитический коэффициент оценки качества подготовки сырья к помолу
	Влажно- сть	Крупно- сть	Клейко- вина	Стеклоид- ность	Плот- ность	Зольнос- ть	Зернов- ый приме- си	Сорной примеси зерна	
Предприятие 1									
2003- 2004	1,04	1,13	1,22	1,03	0,66	0,51	0,74	0,95	0,92
2004- 2005	1,06	1,15	1,22	1,05	0,72	0,43	0,68	0,80	0,86
2005- 2006	1,05	1,14	1,22	1,00	0,69	0,47	0,70	0,85	0,87
Предприятие 2									
2003- 2004	1,05	1,14	1,22	0,98	0,69	0,48	1,10	1,00	0,95
2004- 2005	1,01	1,10	1,17	1,00	0,57	0,50	1,10	1,05	0,97
2005- 2006	1,02	1,11	1,17	1,08	0,60	0,52	1,11	1,10	0,98
Предприятие 3									
2003- 2004	1,01	1,10	1,33	1,15	0,57	0,45	0,49	0,70	0,83
2004- 2005	0,97	1,06	1,39	1,10	0,49	0,46	0,48	1,25	0,89
2005- 2006	0,97	1,06	1,39	1,10	0,49	0,45	0,77	1,35	0,97

Аналитические показатели качества технологического процесса представлены в таблице 5.

Т а б л и ц а 5
Аналитические показатели качества технологического процесса

С/Х год	Коэффициент соответствия отбора отходов K_o	Коэффициент отбора отрубей $K_{от}$	Коэффициент соответствия Выхода мукомольной продукции K_v	Коэффициент соответствия влажности продукции $K_{вл}$	Аналитический коэффициент оценки качества технологического процесса K_a
Предприятие 1					
2003-2004	0,98	0,99	1,02	0,95	0,99
2004-2005	0,86	1,00	1,00	0,95	0,95
2005-2006	0,84	0,97	1,01	0,94	0,94
Предприятие 2					
2003-2004	0,57	0,94	1,01	0,97	0,85
2004-2005	0,77	0,98	1,02	0,96	0,92
2005-2006	0,85	0,99	1,00	0,95	0,95
Предприятие 3					
2003-2004	0,56	0,91	1,01	0,98	0,84
2004-2005	0,43	0,93	1,00	0,98	0,80
2005-2006	0,53	0,94	1,01	0,97	0,84

На основе рассчитанных аналитических коэффициентов построена двухмерная модель управления качеством технологического процесса, представленная на рисунке 1.

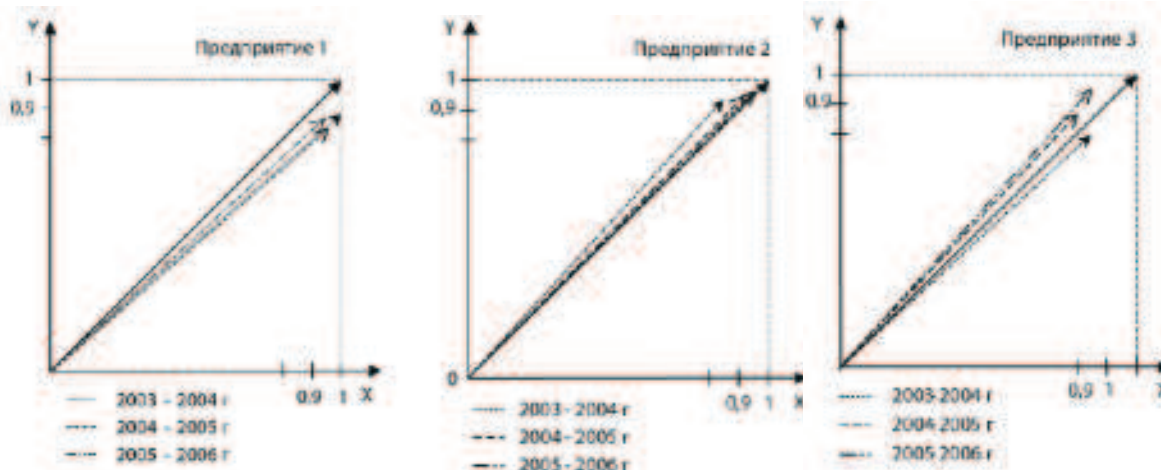


Рисунок 1 Двухмерная модель управления качеством сортового помола

По осям расположены поля следующих значений:

X – аналитические показатели оценки качества технологического процесса;

Y – аналитические показатели оценки качества подготовки сырья к помолу;

↑ – вектор оптимального эффективного состояния технологического процесса.

Разработанная модель позволяет наглядно представить зависимость качества технологического процесса от качества подготовки сырья к помолу. На основании приведенных на рисунке 1 результатов модели можно сделать заключение, что предприятие 1 имеет наибо-

лее высокую характеристику организации технологического процесса. Намечившаяся на этом предприятии в 2004-2005 с/х году тенденция к снижению качества технологического процесса обусловлена в основном ухудшением качества поступающего на производство сырья и недостаточно эффективной работой зерноочистительного отделения. Для предприятия 2 характерна противоположная ситуация: повышение качества работы зерноочистительного отделения способствовало стабилизации качества всего технологического процесса. Предприятие 3 характеризуется более стабильным уровнем организации помола.

ЛИТЕРАТУРА:

- 1 Благовещенская М.М., Злобин Л.А. Информационные технологии систем управления технологическими процессами. М.: Высшая школа, 2005. 768 с.
- 2 Благовещенская М.М. Основы стабилизации процессов приготовления многокомпонентных пищевых масс. Монография. М.: ООО «Франтера», 2009. 281 с.
- 3 Шкапов П.М., Благовещенская М.М., Носенко А.С. Моделирование гидромеханических систем пищевых производств при расчете динамических характеристик // Хранение и переработка сельхозсырья. 2012. №5. С. 55-58.
- 4 Шкапов П.М., Благовещенская М.М. Математическое моделирование гидросистем пищевых производств с двухфазными газожидкостными потоками // Вестник ВГУИТ. 2010. №2. С. 69–72.
- 5 Благовещенская М.М., Шкапов П.М., Сулимов В.Д. Методология разработки основ моделирования и диагностики гидромеханических систем пищевых производств по их динамическим характеристикам // Высокие интеллектуальные технологии и инновации в образовании и науке. Труды XVII-й Международной научно-метод. конф. СПб.: Издательство СПбГПУ, 2010. С. 95–98.

REFERENCES

- 1 Blagoveshchenskaia M.M., Zlobin L.A. Informatsionnye tekhnologii sistem upravleniia tekhnologicheskimi protsessami [Information technologies for Process Control Systems]. Moscow, Vysshaia shkola, 2005. 768 p. (In Russ.).
- 2 Blagoveshchenskaia M.M. Osnovy stabilizatsii protsessov prigotovleniia mnogokomponentnykh pishchevykh mass [Bases of stabilization of processes of preparation of multicomponent food masses]. Moscow, ООО "Frantera", 2009. 281 p. (In Russ.).
- 3 Shkapov P.M., Blagoveshchenskaia M.M., Nosenko A.S. Modeling of hydromechanical systems of food productions at calculation of dynamic characteristics. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya*. [Storage and processing of agricultural raw materials], 2012, no. 5. pp. 55-58. (In Russ.).
- 4 Shkapov P.M., Blagoveshchenskaia M.M. Mathematical modeling of hydraulic systems of food productions with two-phase gas-liquid streams. *Vestnik VGUIT*. [Bulletin of VSUET], 2010, no. 2, pp. 69-72. (In Russ.).
- 5 Blagoveshchenskaia M.M., Shkapov P.M., Sulimov V.D. Metodologiya razrabotki osnov modelirovaniia i diagnostiki gidromekhanicheskikh sistem pishchevykh proizvodstv po ikh dinamicheskimi kharakteristikam [High intellectual technologies and innovations in science and education: Works XVII-th International scientific method. conf], Saint-Petersburg, 2010. pp. 95-98. (In Russ.).