

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

С.Е. Алёшичев, В.А. Балюбаш,

Ю.Г. Стегаличев

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
И МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОКАНАЛЬНЫХ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

Учебное пособие

 УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Санкт-Петербург

2016

УДК 664
ББК 32.965
А 38

Алёшичев С.Е., Балюбаш В.А., Стегаличев Ю.Г. Технологический анализ и моделирование многоканальных технологических комплексов: Учеб. пособие. – СПб.: Университет ИТМО, 2016. – 121 с.

Пособие предназначено для изучения методик структурно-параметрического анализа аппаратурно-технологических характеристик многозвенных объектов пищевых производств с целью совершенствования систем управления, формируемых на основе применения многоканальных, каскадно-комбинированных и многорезервных систем управления.

Предназначено для магистров, обучающихся по направлению 15.04.04. Автоматизация технологических процессов и производств при изучении дисциплин «Организация и методика экспериментальных исследований», «Интегрированные информационно-управляющие системы контроля качества сырья и пищевых продуктов», «Автоматизированные системы управления качеством в пищевых производствах», «Моделирование электромеханических систем», «Многоканальные системы управления качеством сырья и пищевых продуктов», «Контроль и автоматизированное управление качеством продукции», «Анализ аппаратурно-технологических комплексов производств пищевых продуктов», «Автоматизация температурно-влажностных режимов хранения сырья и пищевых продуктов» очной и заочной форм обучения, а также рекомендуется в качестве дополнительной литературы для бакалавров, обучающихся по направлению 15.03.04. Автоматизация технологических процессов и производств.

Рецензенты: генеральный директор ООО «ИЦ Холодильные технологии», кандидат техн. наук, доц. В.Б. Данин; доктор техн. наук, проф. А.А. Бегунов (Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики).

Рекомендовано к печати Советом факультета пищевых биотехнологий и инженерии, протокол № 10 от 30 июня 2016 г.



Университет ИТМО – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 – 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2016
© Алёшичев С.Е., Балюбаш В.А., Стегаличев Ю.Г., 2016

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

Сокращения

АСУТК – автоматизированная система управления технологическим комплексом.

ПК – персональный компьютер.

САУ – система автоматического управления.

САР – система автоматического регулирования.

ТК – технологический комплекс – сложный многозвенный, многофакторный объект управления, на входе и выходе которого, а также внутри самого объекта при работе оборудования формируется большое количество переменных параметров.

ТО – теплообменный аппарат проточного типа (теплообменник).

ХРО – ход рабочего органа (управляющее воздействие).

QB – компилятор *QBasic*.

QBasic – среда *QBasic* (набор программ).

Обозначения

$Z(i)$, ($i = 1, \dots, n$) – обобщённое обозначение параметров, формирующихся на выходе технологического комплекса (показатели качества).

$z(i)$, ($i = 1, \dots, n$) – то же на выходе звена в структурной схеме.

$X(\gamma)$, ($\gamma = 1, \dots, m$) – обобщенное обозначение внешних переменных параметров, поступающих на вход ТК (неуправляемые возмущения).

$x(\gamma)$, ($\gamma = 1, \dots, m$) – то же на выходе звена в структурной схеме.

$Y(j)$, ($j = 1, \dots, k$) – обобщенное обозначение параметров, изменяемых в $Z(i)$, в процессе управления ТК (управляемые воздействия).

$y(j)$, ($j = 1, \dots, k$) – то же на выходе звена в структурной схеме.

nom $z(i)$, *nom* $x(\gamma)$, *nom* $y(j)$ – номинальные численные значения показателей качества и возмущений при начальном установив-

шимся (статическом) режиме работы комплекса, принимаемые за начало шкалы отсчёта отклонений переменных.

$dZ(i), dX(\gamma), dY(j)$ – численные значения положительных и отрицательных отклонений показателей качества и возмущений от номинала.

$\min Z(i), \min X(\gamma), \min Y(j), \max Z(i), \max X(\gamma), \max Y(j)$ – минимальные и максимальные численные значения показателей качества и возмущений, достижение которых возможно при эксплуатации комплекса.

$izm Z(i), izm X(\gamma), izm Y(j)$ – измеренное численное значение параметра.

$opt Z(i), opt Y(j)$ – численные значения показателей качества и управляющих воздействий обеспечивающих режим работы комплекса оптимальный по заданному критерию.

$ust Z(i), ust X(i)$ – численное значение регулируемого параметра, уставка регулятору, предельно допустимое значение.

1. СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АВТОМАТИЗИРУЕМЫХ КОМПЛЕКСОВ, ХАРАКТЕРИСТИКИ КОТОРЫХ МОДЕЛИРУЮТСЯ В ВИДЕ УРАВНЕНИЙ МНОЖЕСТВЕННОЙ РЕГРЕССИИ

В пищевой промышленности широко используется оборудование, в котором одновременно выполняется несколько технологических операций теплообмена, массообмена, фазовых преобразований и др. При этом невозможен оперативный контроль качественных показателей продукта, формирующихся по ходу процесса. В таких технологических комплексах наблюдается также неоднозначность численных значений контролируемых характеристик (возмущающих воздействий $x(\gamma)$) в объеме партии или потоке компонентов поступающих в технологический комплекс, а также показателей качества продукта $Z(i)$ на выходе комплекса. Для исследования возможных статических равновесных состояний такие комплексы следует рассматривать как многокоординатную систему. Модель такой системы можно сформировать по результатам статистической обработки данных пассивного эксперимента в виде уравнений множественной регрессии [1].

Аппаратурно-технологический анализ комплекса проводится с целью определения **ожидаемого** влияния на выходные показатели качества продукта $Z(i)$ отклонений от исходного равновесного состояния характеристик сырья, энергоносителей $X(\gamma)$, а также управляющих воздействий $Y(j)$ на элементы оборудования, участвующие в процессе переработки сырья в продукт. Так как в объектах этого типа более двух управляющих воздействий (многоканальный объект), то имеется возможность оптимизации режимов обработки конкретной партии сырья – выбор сочетания управляющих воздействий, обеспечивающего выполнение заданного критерия оптимизации, например, минимальных потерь массы сырья при обработке.

1.1. Структурно-параметрический анализ технологического комплекса

В учебном пособии [2] изложена методика подготовки, проведения и обработки результатов пассивного эксперимента. В пособии предлагаются расчётные программы:

– программа «*ozenka*» позволяющая оценить достоверность гипотезы влияния выбранных факторов $X(j)$ и $Y(g)$ на $Z(i)$:

– программа «*model 06*» позволяющая на основании собранного массива данных рассчитать коэффициенты уравнений линейной регрессии моделирующих связь $Z(i) = f(X(j), Y(g))$.

В данном разделе в качестве примера рассматривается работа автоматизированного технологического комплекса дефростации мясного сырья в термокамере периодического действия. На рис. 1 представлена технологическая схема комплекса с обозначением входящих и выходящих технологических, а также информационных и управляющих потоков, выделены основные звенья, участвующие в процессе преобразования сырья в продукт, формирующие информационные сообщения и реализующие команды управления.

Звено1 – Поток загружаемой в камеру партии сырья.

Звено2 – Комплект приборов и оборудования обеспечивающий выборочное измерение в потоке сырья осреднённой массы туши (при загрузке) $M1(l)$, кг, осреднённой температуры внутри туши при загрузке $t1(l)$, °С, осреднённую оценку содержания жира в *массе* туши $h1(l)$, %. Результаты измерения по окончании загрузки партии в форме технологической карты передаются оператору для ввода в программу АРМ.

Звено3 – Замкнутый объем камеры, в котором поддерживаются параметры паровоздушной смеси, циркулирующей в объёме партии сырья при разморозке туши.

Звено4 – Объем загруженной партии сырья, в котором в течение заданного промежутка времени T_k , час, формируются основные показатели качества готового продукта: температура внутри размороженной туши $t2(i)$, °С и изменение массы туши в процессе дефростации $M2(i)$, кг.

Звено5 – Комплект оборудования для автоматической стабилизации на заданном уровне влажности W_k , %, паровоздушной смеси, циркулирующей в объеме камеры.

Звено6 – Комплект оборудования для дистанционной корректировки скорости циркуляции паровоздушной смеси в объеме камеры V_k , %.

Звено7 – Комплект оборудования для автоматической стабилизации на заданном уровне температуры паровоздушной смеси t_k , °С, циркулирующей в объеме камеры.

Звено8 – Поток выгружаемой из камеры партии готового продукта.

Звено9 – Комплект приборов и оборудования обеспечивающий выборочное измерение в потоке продукта осреднённой массы дефростированной туши $M2(i)$, кг и осреднённой температуры внутри туши при выгрузке $t2$, °С.

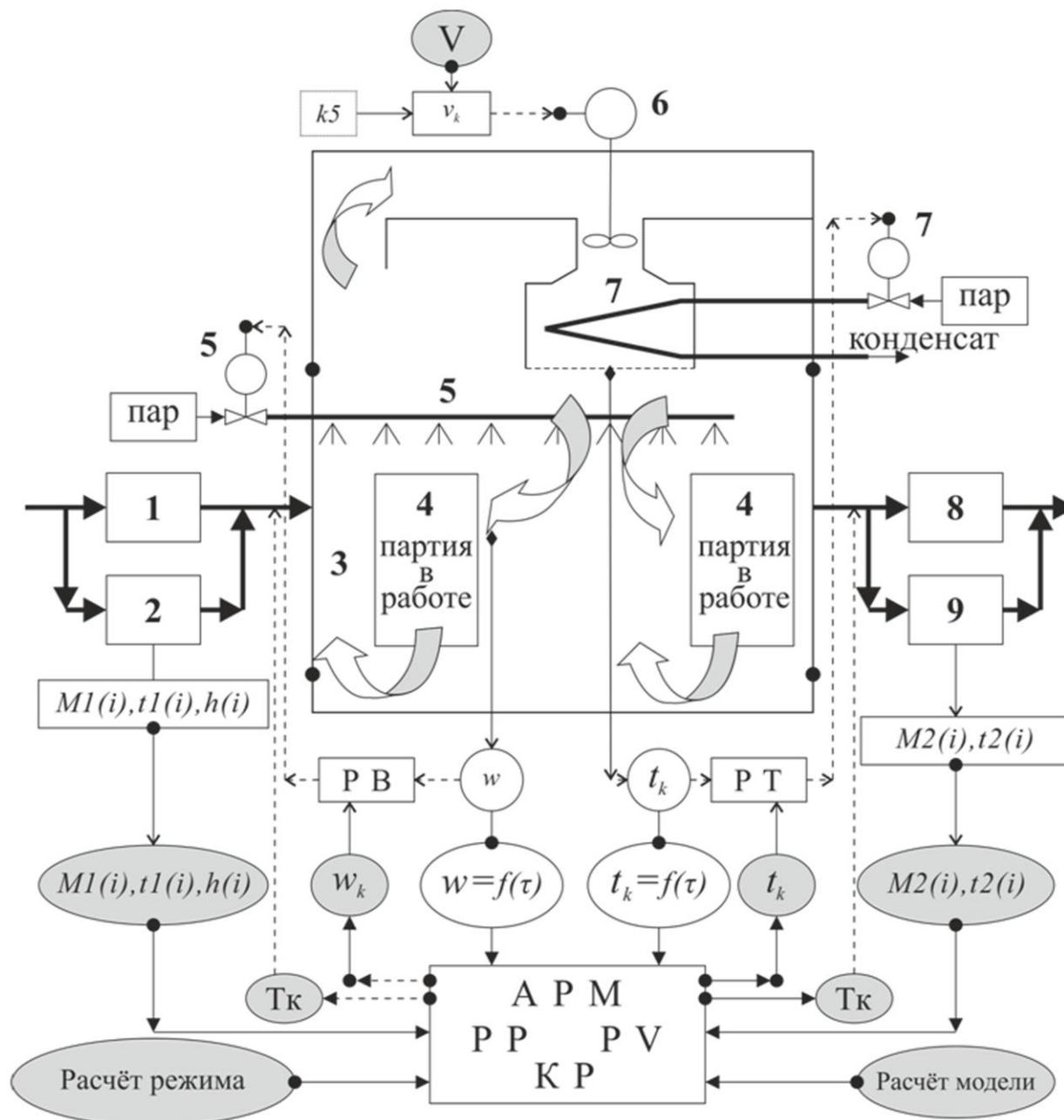
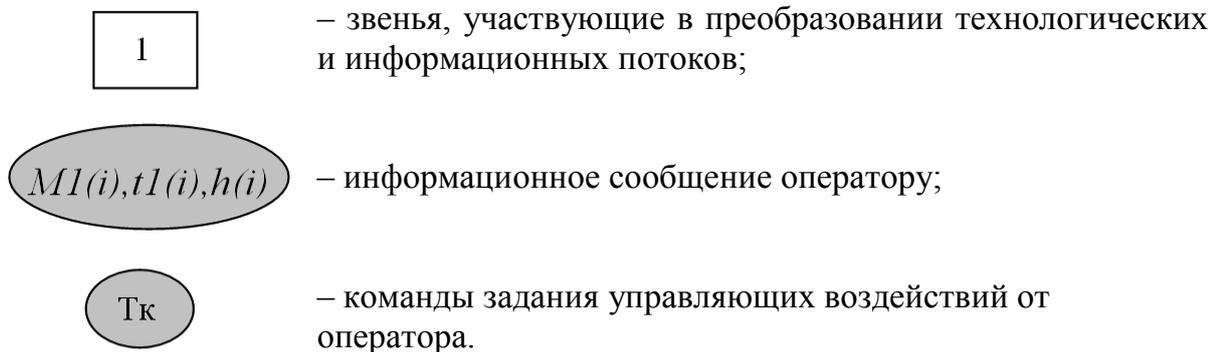


Рис. 1. Технологическая схема комплекса дефростации мясного сыря

На схеме обозначены:



Звено РВ – Комплект приборов задания, измерения и регулирования влажности паровоздушной смеси W_k , %, в режиме дефростации.

Звено РТ – Комплект приборов задания, измерения и регулирования температуры паровоздушной смеси t_k , °С, в режиме дефростации.

Звено АРМ – Персональный компьютер оператора, содержащий программные блоки:

– блок РМ1 и РМ2 для обработки экспериментальных данных с целью определения и корректировки уравнений регрессионной модели процесса;

– блок РР для расчета параметров режима оптимального сочетания численных значений управляющих воздействий при обработке контролируемой партии сырья;

– блок КР для контроля за качеством и устойчивостью работы автоматизированного комплекса.

1.2. Программное обеспечение АРМ оператора комплекса дефростации

Программное обеспечение системы управления комплексом реализовано на компьютере в виде автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора [3].

Технологическая схема, представленная на рис. 1 и комментарии к ней в прил. 5 [http://de.ifmo.ru/--books/appendix_1-10.zip] оформлены в виде шаблона с использованием графического редакто-

ра *MS Word Picture* в среде *Microsoft Word* и используется при выполнении индивидуальных заданий.

В прил. 5 [http://de.ifmo.ru/--books/appendix_1-10.zip] размещен также расчётный модуль «Дефростация», содержащий шаблоны «считающих таблиц» *Excel* – листы «PM1», «PM2», «PP» и «KP» с примером расчета оптимальных численных значений управляющих воздействий при дефростации партии сырья с заданными характеристиками и использования результатов для управления технологическим комплексом.

В шаблоне «Дефростация» используются групповые обозначения переменных для процесса дефростации.

Неуправляемые возмущающие воздействия:

- x_1 – осредненное значение массы туши $M_1(i)$, кг при загрузке;
- x_2 – осредненное значение температуры туши $t_1(i)$, °C при загрузке;
- x_3 – осредненное значение содержания жира $h_1(i)$, % в сырье.

Управляющие воздействия на процесс:

- y_1 – уставка регулятору температуры паровоздушной смеси t_k , °C в камере дефростации;
- y_2 – уставка продолжительности процесса дефростации T_k , час загружаемой партии;
- y_3 – уставка регулятору влажности паровоздушной смеси W_k , % в камере дефростации;
- y_4 – корректировка скорости вращения вентилятора V_k , %, обеспечивающего изменение (от номинала) скорости циркуляции паровоздушной смеси через камеру дефростации.

Показатели качества на выходе:

- z_1 – осредненное значение температуры t_2 , °C при выгрузке;
- z_2 – осредненное значение потери массы туши в безразмерной форме за время (период) дефростации

$$z_2 = \frac{M_1(i) - M_2(i)}{M_1(i)} \cdot 100, \%$$

В рассматриваемом примере – модуле «Дефростация» прил. 5 [http://de.ifmo.ru/--books/appendix_1-10.zip], переменные x_3 и y_4 не используются.

На рис. 2 и 3 приведены распечатки фрагментов листов РМ1 и РМ2 модуля «Дефростация» (шаблоны в прил. 5), содержащих пример расчета коэффициентов модели, используемой для оценки изменений численных значений показателей качества z_1 и z_2 при изменении возмущающих $x_1 \dots x_2$ и управляющих $y_1 \dots y_3$ воздействий.

Таблицы шаблонов РМ1 и РМ2 оформляются на стадии подготовки системы управления технологическим комплексом к эксплуатации. При проведении экспериментального обследования объекта в них заносят численные значения переменных $x(\gamma)$, $y(j)$ и $z(i)$, установленных для каждой перерабатываемой партии сырья в продукт. В шаблоне осуществляется автоматическая обработка введенного информационного массива.

В нижней части таблицы в «считающих» ячейках – результаты статистической обработки массива.

Среднее арифметическое значений (*nom*) по каждому параметру в размерности параметра, максимальное (*max*) и минимальное (*min*) значения параметра, встречающиеся в эксперименте по каждому параметру в размерности параметра, среднее квадратическое отклонение (*sko*) по совокупности наблюдений каждого параметра. Результаты статистической обработки используются для оценки вида распределения по каждому параметру, а также для формирования ограничений на исследуемую область многомерного пространства.

В шаблонах РМ1 и РМ2 предусмотрена процедура вычисления коэффициентов уравнений регрессии для функций вида:

- $z_{1p} = f_1(x(\gamma), y(j))$ по шаблону РМ1;
- $z_{2p} = f_2(x(\gamma), y(j))$ по шаблону РМ2.

На рис. 2 приведен пример реализации модели в форме уравнения множественной регрессии линейного вида

$$z_{1p} = a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot y_1 + a_4 \cdot y_2 + a_5 \cdot y_3,$$

иначе

$$t_{2p} = a_1 \cdot M_1 + a_2 \cdot t_1 + a_3 \cdot t_k + a_4 \cdot T_k + a_5 \cdot W_k.$$

Для определения численных значений коэффициентов $a_1 \dots a_5$ в шаблоне запускается функция «Поиск решения» из программного обеспечения *Excel*. Оптимальные значения коэффициентов $a_1 \dots a_5$ формируются по методу итераций в ячейках нижней части таблицы.

Номер режима	x_1	x_2	y_1	y_2	y_3	z_1	z_{1p}	dz_{1p}
1	128	-13	40	14	79	3,10	3,0533	0,0005
2	78	-15	26	14	79	1,60	1,7404	0,0046
3	113	-8	36	14	76	3,00	3,0606	0,0009
4	34	-3	20	13,5	79	1,70	1,9515	0,0148
5	102	-10	26	13,5	91	1,90	1,9289	0,0002
6	92	-12	26	13,5	91	1,75	1,7963	0,0005
7	72	-14	26	13,5	91	1,70	1,6595	0,0004
8	70	-13	26	13,5	91	1,70	1,7228	0,0001
9	92	-12	30	10,5	88	1,90	1,9026	0,0000
10	99	-10	30	10,5	88	2,02	2,0339	0,0000
11	95	-10	30	10,5	88	2,03	2,0323	0,0000
12	95	-16	25	14,5	95	1,50	1,508	0,0000
13	101	-12	25	14,5	95	1,80	1,7673	0,0003
14	114	-7	30	14,5	95	2,60	2,5091	0,0019
15	122	-3	25	15	95	2,30	2,3956	0,0021
16	51	-12	25	14,5	92	1,80	1,7712	0,0002
17	94	-8	23	16	92	2,00	2,0056	0,0000
18	68	-9	23	16	92	1,99	1,9304	0,0008
19	47	-6	23	16	92	2,20	2,1141	0,0017
20	81	-7	28	16,5	97	2,70	2,4797	0,0114
<i>nom</i>	87,4	-10	27,15	13,925	89,3	2,0645	Σdz_{1p}	0,0406
<i>max</i>	128	-3	40	16,5	97	3,1	2,0163	
<i>min</i>	34	-16	20	10,5	76	1,5		
<i>R</i>	94,000	13,000	20,000	6,000	21,000	1,600		
<i>sko</i>	24,918	3,642	4,614	1,749	6,199	0,456		
	<i>a1</i>	<i>a2</i>	<i>a3</i>	<i>a4</i>	<i>a5</i>			
	0,000424	0,0642	0,0831	0,0838	-0,008			

Уравнение модели для расчёта z_{1p}
 $t_{2p} = a_1 \cdot M_1 + a_2 \cdot t_1 + a_3 \cdot t_k + a_4 \cdot T_k + a_5 \cdot W_k$

Рис. 2. Шаблон РМ1 – таблицы для определения $z_1 = f(x(\gamma), y(j))$
по данным эксперимента на объекте

Номер режима	x_1	x_2	y_1	y_2	y_3	z_2	z_{2p}	dz_{2p}
1	128	-13	40	14	79	0,75	1,1028	0,0414
2	78	-15	26	14	79	2,80	1,7489	0,3676
3	113	-8	36	14	76	1,08	0,8698	0,0147
4	34	-3	20	13,5	79	3,10	1,6136	0,7352
5	102	-10	26	13,5	91	1,80	1,6031	0,0129
6	92	-12	26	13,5	91	2,10	1,849	0,0210
7	72	-14	26	13,5	91	2,40	2,225	0,0102
8	70	-13	26	13,5	91	2,40	2,1932	0,0142
9	92	-12	30	10,5	88	2,20	2,0097	0,0121
10	99	-10	30	10,5	88	2,00	1,8028	0,0129
11	95	-10	30	10,5	88	2,04	1,8549	0,0114
12	95	-16	25	14,5	95	2,05	2,0952	0,0007
13	101	-12	25	14,5	95	1,70	1,7856	0,0024
14	114	-7	30	14,5	95	0,80	1,3699	0,1081
15	122	-3	25	15	95	0,90	0,9529	0,0009
16	51	-12	25	14,5	92	0,40	2,3318	1,2419
17	94	-8	23	16	92	1,50	1,4082	0,0028
18	68	-9	23	16	92	1,85	1,8044	0,0007
19	47	-6	23	16	92	1,90	1,904	0,0000
20	81	-7	28	16,5	97	0,90	1,6979	0,2119
<i>nom</i>	87,4	-10	27,15	13,925	89,3	1,7335	Σdz_{2p}	2,8231
<i>max</i>	128	-3	40	16,5	97	3,1	1,7432	
<i>min</i>	34	-16	20	10,5	76	0,4	-0,01	
<i>R</i>	94,000	13,000	20,000	6,000	21,000	2,700		
<i>sko</i>	24,918	3,642	4,614	1,749	6,199	0,727		
	<i>b1</i>	<i>b2</i>	<i>b3</i>	<i>b4</i>	<i>b5</i>	<i>b0</i>		
	-0,01301	-0,058	0,0086	-0,077	0,0348			

Уравнение модели для расчёта z_{2p}

$$m_{2p} = b_1 \cdot M_1 + b_2 \cdot t_1 + b_3 \cdot t_k + b_4 \cdot T_k + b_5 \cdot W_k$$

Рис. 3. Шаблон РМ2 – таблицы для определения $z_2 = f(x(\gamma), y(j))$ по данным эксперимента на объекте

Выбор оптимального сочетания коэффициентов модели осуществляется по критерию минимальной суммы квадратичных отклонений погрешности численных значений выходных переменных $z1p(l)$, рассчитанных с использованием модели и численных значений $z1(l)$, наблюдавшихся в эксперименте.

При запуске процедуры «Поиск решения» в правых столбцах таблицы РМ1:

- рассчитываются для каждой строки численные значения

$$z1p(l) = f(x1(l), x2(l), y1(l), y2(l), y3(l)),$$

где $l = 1 \dots N$, N – число исследованных режимов;

- квадратичная ошибка в безразмерной форме

$$dz1p(l) = \left(\frac{z1p(l) - z1(l)}{nom\ z1} \right)^2 \text{ для каждой строки;}$$

- сумма квадратичных ошибок по всем режима

$$\sum dz1p = \sum_{l=1}^N \left(\frac{z1p(l) - z1(l)}{nom\ z1} \right)^2.$$

Процедура «Поиск решения» останавливается при сочетании численных значений коэффициентов $a_1 \dots a_5$, обеспечивающих условие $\sum dz1p \rightarrow min$.

Оптимальные значения коэффициентов $a_1 \dots a_5$ сохраняются в нижней строке шаблона РМ1.

Аналогичным методом с использованием процедуры «Поиск решения» в шаблоне РМ2 рассчитываются оптимальные значения коэффициентов модели (рис. 3)

$$z2p = b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot y_1 + b_4 \cdot y_2 + b_5 \cdot y_3.$$

Модели $z1p = f_1(x(\gamma), y(j))$ и $z2p = f_2(x(\gamma), y(j))$ используются для расчета ожидаемых значений показателей качества $z1p$ и $z2p$ при возникновении возмущений $x(\gamma)$ и управляющих воздействий $y(j)$.

В модуле «Дефростация» прил. 5 на листе «РР» размещен шаблон программного модуля, предназначенный для оперативных расчетов оптимальных значений управляющих воздействий: y_1 – времени дефростации, T_k , час.; y_2 – температуры воздуха в камере, t_k , °С; y_3 – влажности воздуха в камере, W_k , %, при обработке сырья с характеристиками: x_1 – осредненное значение массы туши при загрузке

$M1(i)$, кг; x_2 – осредненное значение температуры туши при загрузке $t1(i)$, °С; критерием оптимальности решения является максимальное приближение ожидаемых значений: $z1p$ – температуры внутри туши, $t2p$, °С и $z2p$ – потери массы туши при дефростации

$$z2p = \frac{M1 - M2}{M1} \cdot 100, \% \text{ к номинальным значениям } nom\ z1 \text{ и } nom\ z2.$$

Функционал оптимизации:

$$\sum dz(i) = ABS \left(\left(\frac{z1p - nom\ z1}{nom\ z1} \right) + \left(\frac{z2p - nom\ z2}{nom\ z2} \right) \right) \rightarrow min.$$

На рис. 4 приведена распечатка листа «РР» из модуля «Дефростация». На рисунке представлен пример использования шаблона «РР» для расчета оптимальных управляющих воздействий при дефростации партии туш №11 из табл. на рис. 2 с характеристиками:

изм. $x_1 = 95$ кг;

изм. $x_2 = -10$ °С.

Алгоритм работы на шаблоне «Лист РР»:

1. Вызвать на рабочий стол файл «Дефростация» и открыть с помощью «Excel».

2. На листах «РМ1» и «РМ2» (рис. 2 и 3) последовательно скопировать параметры модели – строки значений коэффициентов $a_1 \dots a_5$ и $b_1 \dots b_5$.

3. Вставить численные значения коэффициентов модели в обозначенные ячейки таблиц на листе «РР».

4. В расчетную таблицу на листе «РР» внести численные значения начальных условий расчета (рис. 4):

– $M1(i)$, кг в ячейку «изм. x_1 »;

– $t1(i)$, °С в ячейку «изм. x_2 »;

– номинальное значение $t2$, °С в ячейку « $nom\ z1$ »;

– номинальное значение потерь $z2$, % в ячейку « $nom\ z2$ ».

5. Вызвать на экран процедуру «Поиск решения» из графы «сервис» меню «Excel» (при необходимости установить!).

В таблице «Поиск решения»:

– обозначить в качестве «целевой ячейки» численное значение « $\sum dz(i)$ » равной «минимальному»;

– в графе «изменять ячейки» перечисляются ячейки с численными значениями «уст y_1 »...«уст y_3 »;

– в графе «ограничения» записать пределы варьирования управляющих воздействий из таблицы на листе «РМ1» – численные значения $\max Y_1 \dots \max Y_3$ и $\min Y_1 \dots \min Y_3$;

– командой «выполнить» запустить Поиск решения (результаты итераций показываются на экране);

– после завершения поиска командой «ОК» закрыть «Поиск решения».

6. Результаты расчета режима дефростации изм. x_1 , изм. x_2 , уст y_1 , уст y_2 , уст y_3 , а также расч $z1$ и расч $z2$ из «расчетной таблицы» копируют и переносят на лист «КР» в таблицу «результаты расчета» в шаблоне «КР» (рис. 5).

7. Из таблицы «результаты расчета» численные значения управляющих воздействий уст y_1 , уст y_2 , уст y_3 передаются на пульт управления камерой дефростации и вводятся как уставки в систему автоматизации камеры (см. каналы управления t_k , T_k , W_k на рис. 1).

Управление циклом дефростации данной партии туш осуществляется с пульта управления камерой.

По истечении заданного периода дефростации партии, уст $y_2 - T_k$, час, оборудование отключается и начинается выгрузка.

За период выгрузки партии производят измерения в выборке из потока характеристик:

– осредненной массы туши при выгрузке $M2(l)$, кг;

– осредненной температуры внутри туши при выгрузке $t2(l)$, °С.

Результаты измерений передаются оператору АРМ и на листе «КР» вводятся в таблицу «характеристики партии готового продукта» (см. рис. 5).

Таблица «характеристики партии готового продукта» обеспечивает накопление статистического массива численных значений параметров $x(\gamma)$, $y(j)$ и $z(i)$, реализованных при переработке каждой партии сырья в продукт.

Накопленные данные используют для дополнения таблиц информационного массива в шаблонах РМ1 и РМ2 и последующей корректировки уравнений $z1p = f_1(x(\gamma), y(j))$ и $z2p = f_2(x(\gamma), y(j))$.

Расчёт характеристик дефростации партии

изм x1	изм x2	уст y1	уст y2	уст y3	dz(i)	ном z(i)	расч z(i)
95,00	-10,00	30,41	10,00	83,37	0,0008	2,064	2,06
					0,0041	1,74	1,74
					$\Sigma dz(i)$		z2
					0,0049		

Результаты расчёта характеристик дефростации партии

Партия	изм x1	изм x2	уст y1	уст y2	уст y3	расч z1	расч z2
11	95,00	-10,00	30,41	10,00	83,37	2,06	1,74

Рис. 4. Шаблон РР – таблицы для определения оптимальных значений управляющих воздействий при реализации операции дефростации говяжьих туш

Уравнение модели для расчёта z1p

$$t2p = a1 \cdot M1 + a2 \cdot t1 + a3 \cdot t_k + a4 \cdot T_k + a5 \cdot W_k$$

a1	a2	a3	a4	a5
0,0004	0,0642	0,0831	0,0838	-0,008

Уравнение модели для расчёта z1p

$$m2p = b1 \cdot M1 + b2 \cdot t1 + b3 \cdot t_k + b4 \cdot T_k + b5 \cdot W_k$$

b1	b2	b3	b4	b5
-0,013	-0,058	0,0086	-0,077	0,0348

Результаты расчёта характеристик дефростации партии

Партия	изм x1	изм x2	уст y1	уст y2	уст y3	расч z1	расч z2
11	95,00	-10,00	30,41	10,00	83,37	2,06	1,74

Характеристики партии готового продукта (измеренные)

Партия	x1	x2	y1	y2	y3	изм M2	z1	z2
11	95,00	-10,00	30,00	10,50	88,00	93,20	1,89	2,04

Рис. 5. Шаблон КР – таблицы для наколения и обработки значений контролируемых параметров при реализации операции дефростации говяжьих туш

Статистический контроль качества

Партия	изм z1	расч z1	ном z1	погр z1
11	1,89	2,06	2,065	0,0823
12	1,50	1,82	2,065	0,1550
13	2,74	2,5	2,065	0,1162
14	1,5	1,74	2,065	0,1162
15	3,1	2,85	2,065	0,1211
			CA3	0,1182
			R	0,0726
			MAКС	0,1550
			МИН	0,0823

1.3. Статистический контроль качества работы комплекса

Накопленный в таблицах «Результаты расчета» и «Характеристики партии готового продукта» шаблона «КР» информационный массив позволяет также осуществлять статистический контроль за устойчивостью работы автоматизированного управления комплексом дефростации – мониторинг состояния технологического комплекса.

Для выполнения этой задачи используется размещенная в шаблоне «КР» таблица «Статистический контроль качества» (рис. 5).

В «считающих» ячейках «погр $z_1(l)$ » и «погр $z_2(l)$ » этой таблицы на основе информационного массива накопленного в таблицах «Результаты расчета» и «Характеристики партии готового продукта» для каждой обработанной партии определяется расхождение измеренных и расчетных показателей качества в безразмерной форме

$$\text{погр } z_1(l) = \frac{|\text{изм } z_1(l) - \text{расч } z_1(l)|}{\text{ном } z_1}$$
$$\text{погр } z_2(l) = \frac{|\text{изм } z_2(l) - \text{расч } z_2(l)|}{\text{ном } z_2}.$$

Статистический массив численных значений погрешностей (таблица «статистический контроль качества») можно рассматривать как один из показателей качества реализации операции автоматизированного управления процессом дефростации мясного сырья.

Периодически, с заданным периодом ожидаемой разладки – K , где K – количество переработанных партий продукта, информационный массив, накопленный в ячейках «погр $z_1(l)$ » и «погр $z_2(l)$ » подвергается статистической обработке по методике, например, для формирования контрольных карт арифметического среднего с предупреждающими границами» [4].

В шаблоне таблицы «Статистический контроль качества» (рис. 5) приведен фрагмент статистической обработки информационного массива с целью определения среднеарифметических значений САЗ и размахов R исследуемых характеристик

$$CA31 = \frac{\sum_{l=1}^K \text{погр } z1(l)}{K}; \quad CA32 = \frac{\sum_{l=1}^K \text{погр } z2(l)}{K};$$

$$R1 = \max \{ \text{погр } z1(l), \text{ где } l = 1 \dots K \} - \min \{ \text{погр } z1(l), \text{ где } l = 1 \dots K \};$$

$$R2 = \max \{ \text{погр } z2(l), \text{ где } l = 1 \dots K \} - \min \{ \text{погр } z2(l), \text{ где } l = 1 \dots K \}.$$

Накопленные за большой промежуток времени в таблице «Статистический контроль качества» результаты расчета САЗ и R используют для формирования «контрольных карт» и анализа их изменения при длительной эксплуатации.

Смещением численных значений САЗ в сторону предупреждающих границ свидетельствует о «разладке» автоматизированного комплекса и в большинстве случаев может быть устранено управляющим воздействием, например корректировкой уравнений в шаблонах РМ1 и РМ2.

Увеличение размаха R свидетельствует об «износе» элементов автоматизированного комплекса и для восстановления его работоспособности необходима коррекция работы технологического оборудования.

В разделе 4 и прил. 8 [http://de.ifmo.ru/--books/appendix_1-10.zip] предлагается методическое пособие и шаблоны программ, используемые в Университете ИТМО [5] для проведения лабораторных работ по теме «Многоканальные системы управления качеством сырья и пищевых продуктов». Материал, собранный в данном разделе, может быть использован для проведения курсовой или самостоятельной работы по названной теме.

1.4. Задание на курсовую или самостоятельную работу «Подготовка программного обеспечения для создания АРМ многоканального технологического комплекса»

В качестве индивидуального задания предлагаются следующие варианты.

Вариант 0.

Прямоточный трубчатый теплообменник для подогрева сливок, например, в цикле технологического процесса производства сливочного масла способом непрерывного сбивания.

Вариант 1.

Прямоточный трубчатый теплообменник для охлаждения молока (например, при приемке) хладоносителем, поступающим из централизованной магистрали.

Вариант 2.

Трубчатый теплообменник противотока для охлаждения молока (например, при приемке) хладоносителем, поступающим из централизованной магистрали.

Вариант 3.

Теплообменник смешения (бойлер) для нагрева потока воды до высокой температуры паром, например, в цикле пастеризации пищевых продуктов.

Вариант 4.

Теплообменник смешения – нагревание потока воздуха сжиганием газа (топка), например в цикле термообработки хлебобулочных изделий.

Вариант 5.

Шнековый поточный взбиватель пищевого продукта, например, насыщение воздухом в цикле изготовления зефирной массы.

Вариант 6.

Шнековый аппарат удаления влаги из пищевого продукта, например, в цикле изготовления творога.

Вариант 7.

Шнековый аппарат насыщения влагой пищевого продукта, например, в цикле разведения сухого молока.

Вариант 8.

Поточный аппарат для нормализации состава пищевого продукта, например, нормализация молока по жиру.

Вариант 9.

Поточный аппарат для выделения отдельных фракций из пищевого продукта, например, в цикле изготовления сливок.

Содержание работы

1. Оформить структурно-параметрическую схему автоматизированного управления выбранным комплексом (использовать шаблон рис. 1) .
2. Сформулировать и обосновать оптимизационную задачу.
3. Переработать программные модули в шаблонах «РМ», «РР», «КР».
4. Анализируя результаты параметрического исследования комплекса, оформить в шаблонах «РМ» **условную таблицу** результатов пассивного эксперимента на объекте.
5. Сформулировать и обозначить в шаблоне «РР» критерий оптимизации.
6. Рассчитать параметры оптимального режима обработки для одной из партий в таблицах «РМ 1» и «РМ 2».
7. Проверить качество работы «АРМ» в разработанном варианте.

2. ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ РАСЧЕТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ «ПРИГОТОВЛЕНИЕ СМЕСЕЙ ДЛЯ МОРОЖЕНОГО»

Приготовление смеси мороженого является промежуточной операцией в технологическом процессе производства мороженого [6]. В результате выполнения этой технологической операции формируется нормативное для данного вида мороженого содержание основных элементов (жир, СОМО, сахароза, сухие вещества, влага) в смеси (показатели качества $z(i)$). Результаты реализации этой операции непосредственно влияют и на качественные показатели $z(i)$ готового продукта – взбитость, термостабильность, дисперсный состав, вкусовую оценку, консистенцию. В качестве управляющих воздействий $u(j)$ в операции используют изменение количества компонентов сырья (молоко, сливки, сахар и др.), дозируемых в смесь. Большое разнообразие компонентов, используемых для приготовления современных видов мороженого, а также варьирование в широком диапазоне содержания основных элементов (жир, СОМО, сахароза, сухие вещества, влага) в каждом компоненте (неуправляемые возмущения $x_{i,j}$) превращают операцию управления дозировкой в многофакторную и многомерную задачу.

2.1. Параметрический анализ объекта и математическое обеспечение процедуры расчета при приготовлении смеси для мороженого

На рис. 6 представлена параметрическая схема операции приготовления смеси мороженого.

По аналогии обозначается содержание элементов в остальных компонентах сырья $X(i, j)$.

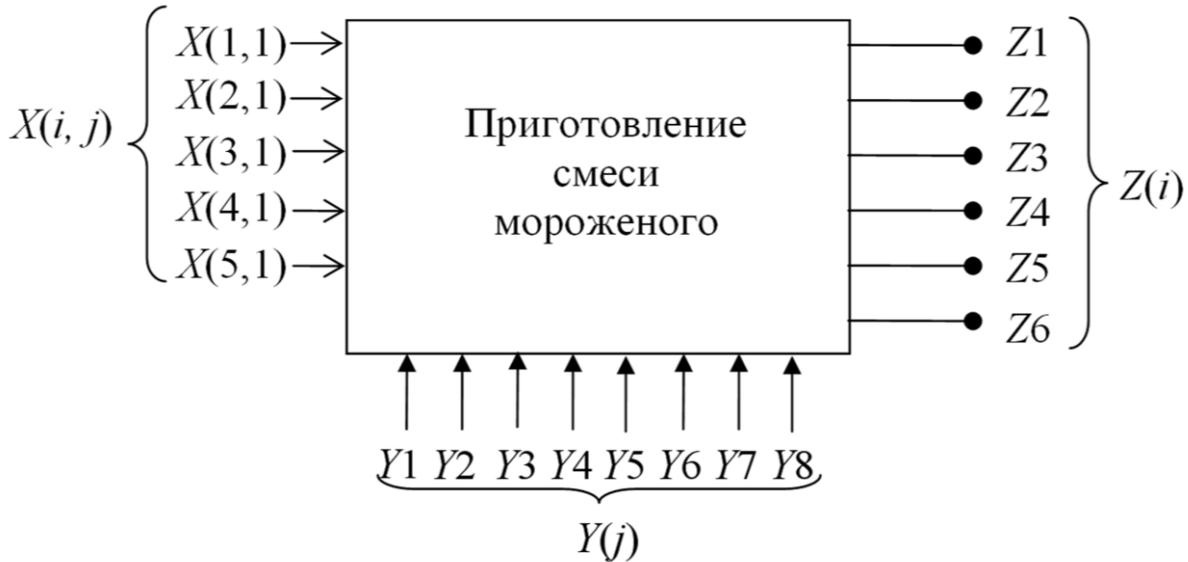


Рис. 6. Параметрическая схема операции приготовления смеси мороженого:

1. Показатели качества, формируемые в технологической операции:

- Z1 – содержание жира в смеси, % ;
- Z2 – содержание СОМО в смеси, % ;
- Z3 – содержание сахарозы в смеси, % ;
- Z4 – содержание сухих веществ в смеси, % ;
- Z5 – содержание влаги в смеси, % ;
- Z6 – оценка вкуса смеси, баллы.

2. Управляющие воздействия – дозировки компонентов сырья в смесь (на примере мороженого «Пломбир»):

- Y1 – количество цельного молока, кг;
- Y2 – количество масла сливочного, кг;
- Y3 – количество сгущённого молока с сахаром, кг;
- Y4 – количество сухого молока, кг;
- Y5 – количество сахарного песка, кг;
- Y6 – количество агароида, кг;
- Y7 – количество ванилина, кг;
- Y8 – количество воды, кг.

3. Неуправляемые возмущения – содержание основных элементов в дозируемых компонентах сырья, например, в цельном молоке $x_{i,j}$:

- X(1,1) – содержание жира, %;
- X(2,1) – содержание СОМО, %;
- X(3,1) – содержание сахарозы, %;
- X(4,1) – содержание сухих веществ, %;
- X(5,1) – содержание влаги, %.

Реализации операции приготовления смеси мороженого заданного состава $Z(i) = \text{nom } Z(i)$ предшествует расчёт количества компонентов дозируемых в смесь $Y(j) = \text{opt } Y(j)$, с учетом содержания основных элементов $X(i, j)$ в каждом компоненте. Математическое обеспечение такой задачи (модель для вычисления статических состояний комплекса $Y(j) = \text{opt } Y(j)$) включает в себя следующие модули.

1. Систему N уравнений материального баланса:

$$z(i) \sum_{j=1}^k y(j) = \sum_{j=1}^k (x(i, j) \cdot y(j)), \quad i=1 \dots N, j=1 \dots k, \quad (1)$$

где $z(i)$ – ожидаемое содержание i -го элемента (жир, СОМО, сухие вещества, сахара, вода) в смеси, %; $x(i, j)$ – измеренное содержание i -го элемента в j -ом компоненте сырья, закладываемом в смесь, %; $y(j)$ – расчётное количество j -го компонента, закладываемого в смесь, кг.

Совместное решение системы (1) обеспечивает вычисление ожидаемых значений $z(i)$ при любых сочетаниях $x(i, j)$ и $y(j)$ в диапазоне допустимого варьирования этих переменных и при этом может быть получено множество вариантов таких решений. Для оптимизации решения в математическое обеспечение вводят дополнительные условия.

2. Систему ограничений на диапазон варьирования при расчёте оптимальных значений количества закладываемых компонентов:

$$\min Y(j) < y(j) < \max Y(j), \quad j=1 \dots k. \quad (2)$$

При использовании «гибкой рецептуры» задаются также ограничения на диапазоны варьирования ожидаемых значений для показателей состава смеси:

$$\min Z(i) < z(i) < \max Z(i), \quad i=1 \dots N. \quad (3)$$

Введение этих ограничений определяет реальную область поиска оптимального сочетания дозровок для компонентов сырья $y(j)$ в смесь, при допустимых по технологическим требованиям отклонениях от номинала показателей качества $z(i)$.

3. Функционал (критерий) оптимизации.

При оперативных расчётах дозировок в смесь мороженого сложной рецептуры, основным критерием выбора оптимального сочетания количества закладываемых компонентов сырья является требование получения смеси нормативного состава. В этом случае функционал оптимизации записывают в виде:

– для «жёсткой рецептуры»:

$$L_H = \sum_{i=1}^n d_i \frac{ABS(nomz(i) - z(i))}{nomz(i)} \rightarrow min; \quad (4)$$

– для «гибкой рецептуры»:

$$L_H = \sum_{i=1}^n d_i \frac{ABS(nomz(i) - z(i))}{maxz(i) - minz(i)} \rightarrow min, \quad (5)$$

где $nomz(i)$, $minz(i)$, $maxz(i)$ – нормативное, минимально- и максимально допустимые содержания i -го элемента в смеси, %; $z(i)$ – расчётное (ожидаемое) содержание i -го элемента в смеси, %; d_i ($0 < d_i < 1$, $\sum d_i = 1$) – коэффициент веса (значимости) в суммарной оценке оптимальности решения отклонения от номинала i -го элемента.

Совместное решение системы уравнений (1) при выполнении условий ограничений (2) и критерия (4) обеспечивает выбор из множества возможных сочетаний дозировок компонентов $y(j)$ варианта, соответствующего условию (4) – минимальной сумме отклонений от номинала содержания всех элементов $z(i)$ в сформированной партии смеси мороженого. В программу вводится также задание предельной погрешности вычисления функционала (4) – $\delta W, \%$. В цикле расчёта контролируется численное значение суммарной абсолютной погрешности расчёта функционала (4) – δL_H , (доли). При достижении $\delta L_H = \delta W/100$ полученное сочетание $y(j)$ принимается в качестве оптимального.

В программе циклических расчетов предусмотрены уставки предельного числа шагов варьирования $y(j)$, а также величина шага

отступа от границ варьирования. При достижении предельного числа шагов, если заданная погрешность δL_H не достигнута, поиск прекращается и об этом выводится сообщение.

В программу выбора оптимального сочетания дозировок $y(j)$ в смесь могут быть включены дополнительные критерии поиска оптимального решения, например, условие выбора дозировок с учетом минимизации себестоимости партии продукта. В этом случае в номенклатуру неуправляемых возмущений добавляется $x(b, j)$ – стоимость руб./кг i -го компонента, закладываемого в смесь. В функционал оптимизации добавляется дополнительная составляющая

$$L_C = \sum_{j=1}^{n+2} x(b, j) \cdot y(j) \rightarrow \min. \quad (6)$$

Выбор оптимального сочетания дозировок y_j компонентов в смесь мороженого с использованием критерия получения нормативного состава смеси (4) особенно при использовании «гибких рецептур» или критерия себестоимости, не исключает возможности неблагоприятного изменения других показателей качества, например, вкуса, при выбранном сочетании *opt* $y(j)$.

Для ограничения и оптимизации отклонения оценки вкуса от нормы, при варьировании состава смеси, математическое описание системы уравнений материального баланса (1) дополняется рейтинговой математической моделью, формирующей ожидаемые отклонения оценки вкуса в баллах, при изменении состава смеси [7].

Модель реализуется на основании рейтинговых оценок, отклонения от номинального значения вкуса *nom* $Z(a)$ – *эксн* $Z(a) = dZ(a)$ в баллах, оценок полученных при дегустации или анкетировании в ходе производственного процесса («пассивный эксперимент»).

Статистическая обработка оценок экспертов позволяет определить зависимость ожидаемых отклонений вкуса $dZ(a)$ при варьировании дозировок компонентов в смесь $y(j)$ и при изменении содержания основных веществ в каждом компоненте ($x(i, j)$):

$$dZ(a) = \sum_{j=1}^K A(j) \cdot dy(j) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^K B(i, j) \cdot dx(i, j). \quad (7)$$

В качестве нормативной оценки вкуса может быть принято максимальное число баллов, например, $nomZ_a = 6$ баллов. Численное значение оптимальной оценки вкуса $nomZ_a$ может быть также определено путем проведения производственной дегустационной оценки данного вида мороженого при нормативных $nom y(j)$ и $nom x(i, j)$ закладках компонентов в смесь. В этом случае отклонение численной оценки вкуса от номинала может происходить как в положительную, так и в отрицательную сторону.

Для ограничения нежелательных отклонений вкуса продукта от нормы при изменении состава смеси в программу расчета дозировок в смесь вводится дополнительный критерий оптимизации L_V

$$L_V = dv \cdot \frac{d\hat{Z}(a)}{nom\hat{Z}(a)} \rightarrow \min, \quad (8)$$

где $nom\hat{Z}(a)$ – нормативная оценка в баллах вкуса оптимального для данного вида мороженого; $d\hat{Z}(a)$ – ожидаемая оценка в баллах отклонения вкуса мороженого при выбранном сочетании дозировок компонентов $y(j)$ в смесь; dv ($0 < dv < 1$) – коэффициент веса отклонения вкуса в суммарной оценке оптимальности решения.

В разделе 3 и прил. 7 [http://de.ifmo.ru/--books/appendix_1-10.zip] предлагается изложение методических указаний и шаблоны программ «*EXPERT*» и «*RTMOD*», которые можно использовать для проведения лабораторных и самостоятельных работ по организации экспертных опросов, статистической обработке результатов экспертизы и формированию рейтинговой модели ожидаемых отклонений от номинала оценок вкуса мороженого при варьировании дозировок и состава компонентов, закладываемых в смесь мороженого.

2.2. Программный модуль для выполнения оптимизационных расчетов операции приготовления смеси для мороженого

Для проведения оперативных оптимизационных расчетов при приготовлении смеси для мороженого в прил. 6 [http://de.ifmo.ru/--books/appendix_1-10.zip] размещена программа – шаблон «*MOR*» – программный элемент автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора-технолога участка приготовления смеси мороженого.

Шаблон оформлен с использованием компилятора «*QBasic*», по тексту имеются комментарии, что обеспечивает наглядность реализации алгоритма формирования программы и работы с ней.

Шаблон «*MOR*» подготовлен для расчета оптимальных дозировок в смесь заданного состава, *nom* $Z(i)$ компонентов $y(j)$. Предусмотрена возможность расчета с минимизацией себестоимости ($C=1$). Рейтинговая модель оценки изменений вкуса не используется.

В тексте программы «*MOR*», в режиме диалога вводятся исходные данные, необходимые для проведения оптимизированных расчетов по конкретному заказу.

Для решения оптимизационной задачи в программе используется метод целенаправленного перебора сочетаний численных значений управляющих воздействий « $y(j)$ » в указанном в программе для каждого « $y(j)$ » диапазоне варьирования – «*min* $a(j)$ » и «*max* $b(j)$ ». При этом диапазон варьирования постепенно сужается (метод «поймать льва в пустыне»).

При каждом новом сочетании рассчитываются численные значения функционала оптимизации « L_N » на границах диапазонов варьирования $y(j)$ и сохраняется сочетание $y(j)$ соответствующее минимальному значению критерия « L_N ».

По результатам сравнения численных значений « L_N » на один шаг уменьшаются диапазоны варьирования всех $y(j)$. Число шагов и величина шага, установленные в программе определяют погрешность расчета ожидаемых значений показателей качества $Z(i)$.

После завершения цикла поиска оптимального сочетания дозировок компонентов в смесь *opt* $y(j)$, по программе выводится на экран вывода *QB* отчет и запрос о необходимости распечатать документ.

2.3. Алгоритм работы с программой «*MOR*»

Подготовка исходных данных для расчета

На рис. 7 и 8 представлены формы таблиц информационного обеспечения, которые необходимо заполнить при подготовке процедуры поиска оптимального, по выбранному критерию, количества дозируемых в смесь мороженого компонентов $y(j)$, где $j = 1 \dots m$. Шаб-

лоны таблиц информационного обеспечения размещены в прил. 6 [http://de.ifmo.ru/--books/appendix_1-10.zip]. Бланки таблиц вызываются, распечатываются и заполняются до начала работ с программой расчета.

Таблица «Нормативное содержание веществ в мороженом Пломбир» (рис. 7) заполняется на основании технологических инструкций по производству выбранного вида мороженого. Таблица «Компоненты, вносимые в смесь» для мороженого (рис. 8) заполняется на основании результатов входного контроля сырья или сопроводительных документов на сырье. На рис. 7 и 8 в таблицах приведен пример подготовки информационного обеспечения для одного из видов мороженого типа «Пломбир».

В таблицы на рис. 7 и 8 внесены индексы параметров, значения которых необходимо определить в процессе запуска программы.

Обозначенные в таблице на рис. 8 численные значения диапазонов варьирования закладываемых компонентов « $a(i)$ » и « $b(i)$ » занесены в текст программы «*MOR*» при ее подготовке, но при необходимости могут быть изменены в процессе работы.

В таблицу «Компоненты, вносимые в смесь» записывают численные значения содержания элементов $x(i, j)$ только для тех компонентов $y(j)$, которые внесены в заказ.

Если по заказу необходимо рассчитать вариант с оптимизацией себестоимости партии смеси «(C=1)», то в графу «цена...» необходимо записать стоимость, руб./100кг каждого компонента, вносимого в партию смеси.

Наименование	Обозначение, размерность	Номинальное значение
Жир	Z0(1), %	15
СОМО	Z0(2), %	10
Сахароза	Z0(3), %	15
Сухие вещества	Z0(4), %	42
Влага	Z0(5), %	58
Вкус	Z6, баллы	3
Масса партии	Z4, кг	100

Рис. 7. Нормативное содержание веществ в мороженом Пломбир

Компоненты, вносимые в смесь для мороженого Пломбир 6								
Наименование $y(j)$	Ярлык включения	Диапазон варьирования, кг/100кг $\min, a(i)$ $\max, b(i)$	Цена, руб./кг Если ярлык $C=1$	Содержание основных элементов в компонентах $x(i, j)$	Жир $x(i, 1)$	СОМО $x(i, 2)$	Сахар $x(i, 3)$	Сухие вещества $x(i, 4)$
Молоко	$d1 = 1$	Если $x(i, 1) > 1$ – Цельное $\min, a(i) = 39; \max, b(i) = 70$. Если $x(i, 1) < 1$ – Обезжиренное $\min, a(i) = 20; \max, b(i) = 60$		Численные значения, % вносятся в таблицу по результатам входного контроля сырья	33,2	8,2		
Сливки	$d2 = 1$	$\min, a(2) = 10; \max, b(2) = 30$			32	5,2		
Масло	$d3 = 1$	Если $x(i, 1) > 80$ $A1 S(i) =$ Сливочное. Если $75 < x(i, 1) < 80$ $A1 S(i) =$ Крестьянское. Если $x(i, 1) < 75$ $A1 S(i) =$ Бутербродное. $\min, a(i) = 20; \max, b(i) = 60$						
Цельное сухое молоко	$d4 = 1$	$\min, a(i) = 2; \max, b(i) = 10$			23	72		
Обезжиренное сухое молоко	$d5 = 1$	$\min, a(i) = 5; \max, b(i) = 25$						
Сгущенное молоко	$d6 = 1$	$\min, a(i) = 1; \max, b(i) = 5$			8,5	19	44,5	
Сливки сухие	$d7 = 1$	$\min, a(i) = 1; \max, b(i) = 8$						
Молочная сыворотка	$d8 = 1$	$\min, a(i) = 2,5; \max, b(i) = 8$						
Сахарный песок	$d9 = 1$	$\min, a(i) = 10; \max, b(i) = 20$						95

Рис. 8. Компоненты, вносимые в смесь мороженого (начало)

Дополнительные компоненты (не варьируются)							
Крахмал	$d_{11} = 1$	Ярлык A1\$(1)					2
Мука	$d_{11} = 2$	Ярлык A1\$(2)					
Казеинат натрия	$d_{11} = 3$	Ярлык A1\$(3)					
Желатин	$d_{11} = 4$	Ярлык A1\$(4)					
Агеронд	$d_{11} = 5$	Ярлык A1\$(5)					
Вкусовые добавки							
Фруктово - ягодные	$d_{10} = 1$	Если $x(i, 3) > 60$ A1\$(i) = Сироп					
		Если $40 < x(i, 3) < 60$ A1\$(i) = Концентрат					
		Если $x(i, 3) < 40$ A1\$(i) = Сок $min, a(i) = 1,5; max, b(i) = 5$					

Рис. 8. Компоненты, вносимые в смесь мороженого (окончание)

Выполнение оптимизационных расчетов с использованием программы «MOR»

Вызвать шаблон файла «MOR» из прил. 6 [http://de.ifmo.ru/--books/appendix_1-10.zip] на рабочий стол и сохранить под своим именем. Открыть программу в среде компилятора «QBasic». Запустить программу – «Запуск R5». Используя комментарии по тексту программы, в режиме диалога ввести подготовленные исходные данные из таблиц (рис. 7, 8).

Модуль поиска оптимального сочетания дозировок включается автоматически после ввода численного значения заказываемой массы партии «Z4».

Процесс поиска демонстрируется на экране вывода компилятора QB. По завершении расчетов на этот экран автоматически выводятся результаты (см. пример на рис. 9), а также запрос о необходимости вывода результатов на печать.

Процедура поиска оптимальных сочетаний дозировок $y(j)$ завершается при достижении численным значением критерия L_N , заданной в программе, суммарной абсолютной погрешности, $V, \% - 100 \cdot L_N \leq W$. При этом на экран вывода QB поступает текстовое сообщение с результатами оптимизационных расчетов опт $y(j)$ и расчетных значений $z(i)$, а также численные значения исходных данных изм $x(i, j)$ и норм $z(i)$. Если погрешность W не достигнута за Z3 циклов расчета заданных в программе, то на экран вывода QB поступает сообщение «Из предложенного сырья смесь не приготовить...» и результаты неудачного поиска, анализируя которые можно подготовить изменения исходных данных или диапазона варьирования. Одновременно на экран выводится запрос о необходимости печатать документ. При положительном ответе экранная форма таблицы результатов печатается в файл по адресу

```
d$=«C:\RESULTAT\»+»mor»+».txt»  
OPEN -d$ FOR OUTPUT AS #1.
```

Рецептура мороженого Пломбир 6

Внести в смесь

молоко цельное, кг	46,71
жира,%	2,80
СОМО,%	8,00
сахарозы,%	0,00
сухих веществ,%	10,80

сливки, кг	39,48
жира,%	30,00
СОМО,%	5,00
сахарозы,%	0,00
сухих веществ,%	35,00

цельное сухое молоко, кг	7,73
жира,%	20,00
СОМО,%	40,00
сахарозы,%	0,00
сухих веществ,%	60,00

молоко сгущенное цельное, кг	2,00
жира,%	15,00
СОМО,%	60,00
сахарозы,%	20,00
сухих веществ,%	95,00

сахарный песок, кг	16,23
жира,%	0,00
СОМО,%	0,00
сахарозы,%	90,00
сухих веществ,%	90,00

мука, кг	2,34
жира,%	0,00
СОМО,%	0,00
сахарозы,%	0,00
сухих веществ,%	85,00

воды, кг	14,50
жира,%	0,00
СОМО,%	0,00
сахарозы,%	0,00
сухих веществ,%	0,00

Расчётное количество смеси, кг	128,99
--------------------------------	--------

Нормативное и расчётное содержание в смеси,%

	норм.	расч.
жира	15,00	15,00
СОМО	10,00	10,00
сахарозы	15,00	15,00
сухих веществ	42,00	42,00
влаги	58,00	58,00

Суммарная погрешность расчёта, %, $w_p = 0,0956$

Рис. 9. Результаты расчёта оптимальных дозировок

Текстовый файл «*mor*» необходимо преобразовать с использованием «мастера текстов» в лист «*Excel*» и сохранить под своим именем в папке «ТАБЛ». прил. 2 [http://de.ifmo.ru/--books/appendix_1-10.zip].

Порядок работы с модулем «*RESULTAT*» см. «АЛГОРИТМ» в прил. 2 [http://de.ifmo.ru/--books/appendix_1-10.zip].

2.4. Лабораторные и самостоятельные работы по теме «Управление многоканальным технологическим комплексом с оптимизацией режимов работы по заданному критерию»

Индивидуальные задания на лабораторной работе выдаются в виде указания типа мороженого, его характеристик, а также характеристик имеющихся в наличии компонентов вносимых в смесь (рис. 7 и 8). Для внесения числовых данных в эти таблицы следует воспользоваться технологической инструкцией [8].

Исходные данные в таблицах рис. 7 и 8 обрабатываются в программе «*MOR*», результаты анализируются и оформляются в виде отчета.

3. РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЙТИНГОВОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК

3.1. Общие положения

В данном разделе рассматривается методика разработки и реализации математического описания (модели), определяющего зависимость одного из показателей качества (отклика) $Z(a)$ от группы факторов технологического процесса – возмущающих и управляющих воздействий на процесс $X(\gamma)$ и $Y(j)$. Исходными данными для реализации модели являются результаты опроса экспертов-специалистов, или результаты анкетирования. Эксперты, как правило, оценивают степень влияния в баллах. Результаты подвергаются статистической обработке для получения рейтинговой модели [9].

Такая модель используется в тех случаях, когда аналитический или экспериментальный метод получения математического описания зависимости отклика от влияющих на него факторов затруднён.

Основными этапами создания рейтинговой модели являются:

1. Параметрический анализ технологического процесса.
2. Подготовка и проведение экспертизы.
 - 2.1. Разработка формы и содержания опросных карт.
 - 2.2. Подготовка группы экспертов.
 - 2.3. Проведение опроса.
3. Математическая обработка результатов экспертизы с целью получения рейтинговых оценок влияния факторов $X(\gamma)$ и $Y(j)$ на исследуемый отклик $Z(a)$.
4. Выбор вида математической зависимости (рейтинговой модели):

$$Z(a) = f(X(\gamma), Y(j)), \text{ где } \gamma = 1 \div m, j = 1 \div k.$$

При переходе к единой индексации влияющих факторов, для упрощения представления модели

$$Z(a) = f(X(1), \dots, X(N)), \text{ где } N = m + k.$$

5. Определение коэффициентов модели с использованием в качестве исходных данных рейтинговых оценок влияния и ограничений на варьирование отклика $Z(a)$ и влияющих факторов $X(\gamma)$, $Y(j)$.

6. Подготовка прикладной программы, реализующей операции вычисления ожидаемых значений отклика $Z(a)$ при варьировании факторов $X(\gamma)$ и $Y(j)$ в процессе решения задачи оптимизации.

3.2. Параметрический анализ. Подготовка и проведение экспертизы

На рис. 6 в разделе 2 приведена параметрическая схема технологической операции «Приготовление смеси для мороженого». На схеме обозначены формируемые на выходе показатели качества $Z(i)$ готового продукта, управляемые переменные $Y(j)$ – дозировки компонентов вносимые в смесь, неуправляемые переменные $X(i, j)$ – содержание в дозируемых компонентах веществ формирующих качественные показатели продукта $Z(i)$. При управлении технологическим комплексом необходимо выбрать и поддерживать также сочетание дозировок $opt Y(j)$ компонентов в смесь при котором все качественные характеристики готового продукта не выходят за установленные пределы: $min Z(i) < Z(i) < max Z(i)$.

В число уравнений определяющих оптимальность решения задачи кроме уравнения материального баланса (см. раздел 6) целесообразно включить уравнение, отслеживающее зависимость: $Z(a) = f(Y(i), X(i, j))$, где $Z(a)$ – ожидаемая оценка вкуса мороженого в баллах.

Для реализации этой функциональной зависимости предлагается провести опрос группы экспертов-специалистов с использованием специальных опросных карт (рис. 10). В прил. 7 шаблон «Опросная карта» «ТАБЛ. 7.1» [http://de.ifmo.ru/--books/appendix_1-10.zip] содержит пример, подготовленный для оценки влияния на вкус мороженого $Z(a)$ отклонений от номинала одного из управляющих воздействий в технологической операции приготовления смеси мороженого – дозировки в смесь молока цельного $Y(1)$ (рис. 10).

Для оценки влияния на вкус содержания в дозируемом молоке жира $X(1, 1)$ и СОМО, $X(2, 1)$ необходимо форму карты дважды скопировать и изменить содержание столбца 3 на $X(1, 1)$ и $X(2, 1)$. Аналогичным способом подготавливаются опросные карты для оценки влияния на вкус мороженого остальных управляющих воздействий $Y(j)$.

Технологические требования, состав компонентов, номинальные значения параметров могут быть приняты по ГОСТ Р 52175-2003 «Мороженое молочное, сливочное и пломбир. Технические условия (с Изменением №1)». Анализ ГОСТа показал, что для большинства факторов $Y(j)$ (дозировка компонентов) допускается варьирование численных значений, но не заданы ограничения на диапазон их варьирования.

При подготовке карты проводится анализ информационного обеспечения процедуры управления технологическим процессом приготовления смеси для мороженого с целью оценки номенклатуры, номинальных значений и диапазонов варьирования всех переменных параметров, изменение которых влияет на оценку вкуса $Z(a)$.

В прил. 7 [http://de.ifmo.ru/--books/appendix_1-10.zip] представлен шаблон «ТАБЛ. 7.2» (рис. 11) в котором сохранен фрагмент примера подготовки информационного обеспечения необходимого для оформления опросных карт по одному из видов мороженого типа «Пломбир» для условного технологического комплекса. Номинальные значения варьируемых параметров должны соответствовать технологической инструкции на производство данного типа мороженого. Диапазоны варьирования параметров уточняются при обработке результатов опроса экспертов.

Каждая опросная карта экспертов о влиянии факторов на вкус мороженого предусматривает получение мнений экспертов-специалистов по степени влияния одной из варьируемых переменных на отклик. Каждый эксперт производит оценку, выбирая численное значение ранга в графах 4-14 табл. 7.1 (рис. 10).

Группа экспертов должна включать не менее 5 человек. Каждый эксперт заполняет опросную карту в соответствии с формулировкой задачи, руководствуясь собственным опытом, либо проводя индивидуальные эксперименты. Пример карты, заполненной одним из экспертов, приведён в табл. 7.2 на рис. 11.

«Опросная карта»

Опросная карта экспертной оценки влияния отклонений параметров технологической операции приготовления смеси на вкус мороженого

Формулировка задачи

Просим Вас оценить в баллах степень изменения показателя качества (отклик) – **вкуса мороженого типа пломбир** при отклонении от номинальных значений параметров технологического процесса, перечисленных в столбце 1 табл. 7.1. Номинальные значения варьируемых параметров, указанные в столбце 2 табл. 7.1, соответствуют требованиям технологической инструкции на производство мороженого типа пломбир.

Просим вас при оценке степени влияния рассмотреть возможность отклонения варьируемого параметра, как в положительную, так и в отрицательную сторону от номинального значения.

В строках столбца 3 табл. 7.1 указаны варианты уровней отклонения данного возмущающего воздействия в % от номинального значения.

В заголовках столбцов 4–14 табл. 7.1, указаны уровни оценки степени влияния данного возмущения на отклик (ранги) при отклонении данного возмущения на величину указанную в соответствующей строке столбца 3.

Выбор оценки влияния варьируемых параметров на вкус мороженого, эксперт производит из набора вариантов приведенных в заголовках столбцов 4–14 табл. 7.1.

Оценка осуществляется проставлением условного значка (крест) в столбце соответствующем одному из вариантов оценки степени влияния (4–14 табл. 7.1) в строке, по обозначению в столбце 3, определяющей, по Вашему мнению, предельно-допустимый уровень отклонения данного фактора в положительную и в отрицательную стороны.

Эксперт: _____ Дата: _____
(подпись) (Ф.И.О)

Рис. 10. Опросная карта (лист 1)

Таблица 7.2

Наименование и размерность	Обозначение	<i>nom</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
1. Молоко цельное, кг/100 кг смеси	Y_1	40	20	60
Жир, %	$X_{1,1}$	3,5	2,7	6,0
СОМО, %	$X_{2,1}$	7,0	1,5	8,2
2. Сливки, кг/100 кг смеси	Y_2	20	10	50
Жир, %	$X_{1,2}$	30	10	40
СОМО, %	$X_{2,2}$	5,5	4,7	8,2
3. Масло коровье, кг/100 кг смеси	Y_3	15	5	30
Жир, %	$X_{1,3}$	72,5	61	82,5
СОМО, %	$X_{2,3}$	2,5	1,5	5,5
Влага, %	$X_{5,3}$	2,5	1,5	35
4. Цельное сухое молоко, кг/100 кг смеси	Y_4	8	2	10
Жир, %	$X_{1,4}$	20	10	30
СОМО, %	$X_{2,4}$	40	6	50
5. Обезжиренное сухое молоко, кг/100 кг смеси	Y_5	1,5	1,0	2,5
Сухие вещества, %	$X_{4,5}$	30	25	35
6. Цельное сгущенное молоко с сахаром, кг/100 кг смеси	Y_6	5	2	8
Жир, %	$X_{1,6}$	8,5	8	20
СОМО, %	$X_{2,6}$	30	40	80
Сахароза, %	$X_{3,6}$	44	25	50
7. Сливки сухие, кг/100 кг смеси	Y_7	5	1	8
Жир, %	$X_{1,7}$	44	42	46
8. Молочная сыворотка, кг/100 кг смеси	Y_8	5	2	8
9. Сахарный песок, кг/100 кг смеси	Y_9	15	10	25
10. Оценки отклонения вкуса / ранги	dZa	0	-5 ухудшение вкуса	+5 улучшение вкуса

Рис. 11. Таблица исходных данных для подготовки опросных карт и проведения опроса экспертов по изменению вкуса партии мороженого при варьировании дозировок компонентов $Y(i)$ и их состава $X(i, j)$

Результаты опроса экспертов оформляются оператором в сводную таблицу 7.3. Шаблон таблицы представлен в прил. 7 «ТАБЛ. 7.3» [http://de.ifmo.ru/--books/appendix_1-10.zip]. На рис. 12 приведен пример сводной таблицы проставленных пятью экспертами оценок влияния параметров – возмущающих воздействий на отклик $Z(a)$ – вкус мороженого. Обозначение переменных по «ТАБЛ. 7.2» прил. 7 (рис. 11). Оценки могут быть положительными (улучшение вкуса) и отрицательными (ухудшение вкуса). В сводной таблице представлены два массива данных. Массив « a » содержит оценки отклонения вкуса в рангах при положительных отклонениях от номинального значения каждого из влияющих параметров, массив « b » – отклонения вкуса в рангах при отрицательных отклонениях тех же параметров.

Таблица 7.3

Фактор		Массив « a » при $dX(i) = X(i) - X_{nom}(i) > 0$					Массив « b » при $dX(i) = X(i) - X_{nom}(i) < 0$				
$X(i)$	Обозначение возмущения (см. рис. 29)	Эксперт					Эксперт				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$X(1)$	$Y(1)$	4	3	2	4	4	-3	-3	-2	-4	-4
$X(2)$	$X(1, 1)$	3	2	2	3	3	-2	-2	-3	-1	0
$X(3)$	$X(2, 1)$	-3	-2	-1	-2	-2	1	2	3	3	1
$X(4)$	$Y(2)$	4	4	3	4	5	-2	-3	-1	-1	-2
$X(5)$	$X(1, 2)$	2	2	3	3	3	-1	0	-2	-3	-2
$X(6)$	$X(2, 2)$	-1	-2	-1	-3	-1	2	2	2	2	2
$X(7)$	$Y(4)$	-2	-4	-3	-4	-4	4	4	3	2	3
$X(8)$	$X(1, 4)$	-2	-2	-1	-2	-1	1	2	2	1	1

Рис. 12. Сводная таблица оценки экспертов отклонения от номинала отклика – вкуса мороженого, $dZ(a)$ при максимальных отклонениях от номинала факторов возмущений $\pm dY(j)$ и $\pm dX(i, j)$

3.3. Математическая обработка результатов экспертизы

Математическая обработка результатов опроса экспертов осуществляется с использованием специальной программы «*EXPERT*», которая вызывается из прил. 7 [http://de.ifmo.ru/--books/appendix_1-10.zip]. Программа «*EXPERT*» оформлена в среде «*QBasic*» с использованием *SUB*-компоновок программных блоков и цветового выделения информации на экране. Запуск программы с использованием «ярлыка для *QB*».

В программу в режиме диалога вносятся результаты опроса экспертов из табл. 7.3 прил. 7 (рис. 12). Каждый из массивов сводной таблицы («*a*» и «*b*») обрабатывается по программе «*EXPERT*» отдельно. Обработка результатов экспертизы с помощью программы «*EXPERT*» позволяет применить методы математической статистики для снижения влияния существенных промахов («ошибок») оценок отдельных экспертов на результат и оценить согласованность мнений экспертов.

С алгоритмом обработки результатов экспертизы и математическим обеспечением этой задачи можно познакомиться по тексту программы, приведенной ниже, где имеются комментарии ко всем операциям преобразования информации.

Текст программы *Expert*

```
' Expert2* (c) 2016 * Университет ИТМО, каф. АБиТП
'-----
DECLARE SUB Init ()      'инициализация переменных
DECLARE SUB StartScreen () 'стартовый экран
DECLARE SUB InputData () 'ввод данных
DECLARE SUB Calculate () 'расчет
DECLARE SUB ShowResult () 'результаты на дисплей
DECLARE SUB PrintResult () 'результаты на принтер
DECLARE SUB EndProgram () 'завершение программы
DECLARE SUB ShowInfo (Info$) 'информационная строка
DECLARE SUB ErrorMessage () 'сообщение об ошибке при вводе
DIM SHARED MaxM AS INTEGER 'максимальное количество
факторов (индекс J)
DIM SHARED MaxN AS INTEGER 'максимальное количество
экспертов (индекс I)
DIM SHARED MaxL AS INTEGER 'максимальное количество
уровней оценки
DIM SHARED MinusMaxL AS INTEGER 'ограничение по отриц.
шкале оценок
MaxM = 15: MaxN = 10: MaxL = 5: MinusMaxL = -5
DIM SHARED M 'количество факторов
DIM SHARED N 'количество экспертов
DIM SHARED L 'количество уровней оценки (1 <= L <= MaxL)
DIM SHARED MinusL ' MinusL = L - 2 * L
DIM SHARED LC, RC, BlankStr$, ProgName$, CopyRight$
DIM SHARED ScCode ' вид шкалы: 1 -/+, 2 +
DIM SHARED KofKonk, KritPirs 'коэф. конкордации, критерий
Пирсона
DIM SHARED Q(1 TO MaxM, 1 TO MaxN) AS INTEGER 'оценки
экспертов
DIM SHARED QV(1 TO MaxM, 1 TO MaxN) 'скорректированные
оценки экспертов
DIM SHARED R(1 TO MaxM) 'сумма оценок каждого фактора
DIM SHARED R1(1 TO MaxM) 'сумма скорректированных оценок
DIM SHARED C(1 TO MaxM) 'ср. оценка каждого фактора всеми
экспертами
```

```

DIM SHARED Delta(1 TO MaxM, 1 TO MaxN) 'ошибка оценки j-го
фактора i-м экспертом
DIM SHARED DeltaOneExp(1 TO MaxN) 'сумма ошибок i-го эксперта
по всем факторам
DIM SHARED V1(1 TO MaxN) 'коэффициент компетентности i-го
эксперта по САЗ
DIM SHARED SigmaOneExp(1 TO MaxN) 'среднеквадратичная ошиб-
ка i-го эксперта
DIM SHARED C1(1 TO MaxM) 'оценки факторов с коррекцией по
компетентности (САЗ)
DIM SHARED h(1 TO MaxM) 'энтропия распределения оценок
DIM SHARED W(1 TO MaxM) 'степень согласованности экспертов

```

```
CLS
```

```
MenuCode = 1
```

```
DO
```

```
SELECT CASE MenuCode
```

```
  CASE 1
```

```
    Init
```

```
    StartScreen
```

```
    InputData
```

```
    Calculate
```

```
    ShowResult
```

```
  CASE 2
```

```
    PrintResult
```

```
  CASE 3
```

```
    EndProgram
```

```
END SELECT
```

```
LOCATE 23, 1
```

```
COLOR 15: PRINT "1 "; : COLOR 3: PRINT "Повторить ввод ";
```

```
COLOR 9: PRINT "■ ";
```

```
COLOR 15: PRINT "2 "; : COLOR 3: PRINT "Печатать результаты ";
```

```
COLOR 9: PRINT "■ ";
```

```
COLOR 15: PRINT "3 "; : COLOR 3: PRINT "Выход "
```

```
COLOR 14: PRINT STRING$(50, "—");
```

COLOR 15

DO

LOCATE 25, 1: PRINT STRING\$(70, " ");

LOCATE 25, 1: INPUT ; "Ваш выбор: ", MenuCode\$

IF (VAL(MenuCode\$) < 1) OR (VAL(MenuCode\$) > 3) THEN Er-
rorMsg

LOOP UNTIL (VAL(MenuCode\$) >= 1) AND (VAL(MenuCode\$) <= 3)

MenuCode = VAL(MenuCode\$)

LOOP

SUB Calculate

'Расчет

DIM NQ(1 TO MaxM, 1 TO MaxL)

DIM NQ1(1 TO MaxM, MinusMaxL TO MaxL)

' Вычисление суммы рангов j-го фактора [R(J)]

FOR j = 1 TO M

R(j) = 0

FOR i = 1 TO N

R(j) = R(j) + Q(j, i)

NEXT i

NEXT j

' Вычисление относительной значимости j-го фактора [C(J)]

FOR j = 1 TO M

C(j) = R(j) / N

NEXT j

' Отклонение оценки i-го эксперта Q от средней C [Delta(J,I)]

FOR j = 1 TO M

FOR i = 1 TO N

'так было: Delta(J, I) = ABS(C(J) - Q(J, I))

Delta(j, i) = C(j) - Q(j, i)

NEXT i

```

NEXT j

' Сумма ошибок i-го эксперта [DeltaOneExp(I)]
FOR i = 1 TO N
  DeltaOneExp(i) = 0
  FOR j = 1 TO M
    ' так было: DeltaOneExp(I) = DeltaOneExp(I) + Delta(J, I)
    DeltaOneExp(i) = DeltaOneExp(i) + ABS(Delta(j, i))
  NEXT j
NEXT i

' Сумма ошибок всех экспертов [DeltaAllExp]
DeltaAllExp = 0
FOR i = 1 TO N
  DeltaAllExp = DeltaAllExp + DeltaOneExp(i)
NEXT i

' Коэффициент компетентности i-го эксперта по САЗ [V1(I)]
FOR i = 1 TO N
  IF DeltaAllExp <> 0 THEN
    V1(i) = DeltaOneExp(i) / DeltaAllExp
  ELSE
    V1(i) = 0
  END IF
NEXT i

' Вычисление относительной значимости j-го фактора с
' поправкой на компетентность экспертов [C1(J)]:
FOR j = 1 TO M
  R1(j) = 0
  FOR i = 1 TO N
    QV(j, i) = Q(j, i) + Delta(j, i) * V1(i) 'коррекция оценок
    R1(j) = R1(j) + QV(j, i)
  NEXT i
  C1(j) = R1(j) / N
NEXT j

```

' Определение числа экспертов, присвоивших j-му фактору ранг Rang
[NQ(Rang)]

```
FOR j = 1 TO M
  SELECT CASE ScCode
  CASE 1
    FOR Rang = MinusL TO L STEP 1
      NQ1(j, Rang) = 0
    NEXT Rang
  CASE 2
    FOR Rang = 1 TO L
      NQ(j, Rang) = 0
    NEXT Rang
  END SELECT
NEXT j
```

```
FOR j = 1 TO M
  SELECT CASE ScCode
  CASE 1
    FOR Rang = MinusL TO L STEP 1
      FOR i = 1 TO N
        IF Q(j, i) = Rang THEN
NQ1(j, Rang) = NQ1(j, Rang) + 1
        END IF
      NEXT i
    NEXT Rang
  CASE 2
    FOR Rang = 1 TO L
      FOR i = 1 TO N
        IF Q(j, i) = Rang THEN
NQ(j, Rang) = NQ(j, Rang) + 1
        END IF
      NEXT i
    NEXT Rang
  END SELECT
NEXT j
```

' Вычисление энтропии распределения оценок, присвоенных
j-му фактору всеми N экспертами [H(J)]

```

FOR j = 1 TO M
h(j) = 0
SELECT CASE ScCode
CASE 1
FOR Rang = MinusL TO L STEP 1
IF NQ1(j, Rang) <> 0 THEN
Lg = LOG(NQ1(j, Rang) / N) / LOG(10)
h(j) = h(j) + NQ1(j, Rang) / N * Lg
END IF
NEXT Rang
CASE 2
FOR Rang = 1 TO L
IF NQ(j, Rang) <> 0 THEN
Lg = LOG(NQ(j, Rang) / N) / LOG(10)
h(j) = h(j) + NQ(j, Rang) / N * Lg
END IF
NEXT Rang
END SELECT
NEXT j

```

```

' Вычисление максимальной энтропии [HMax]
SELECT CASE ScCode
CASE 1
Lg = LOG(1 / (2 * L + 1)) / LOG(10)
CASE 2
Lg = LOG(1 / L) / LOG(10)
END SELECT
HMax = Lg

```

```

' Вычисление коэффициента согласованности [W(J)]
FOR j = 1 TO M
W(j) = 1 - h(j) / HMax
NEXT j

```

```

' Вычисление коэффициента конкордации [KofKonk]:
SumH = 0
FOR j = 1 TO M
SumH = SumH + h(j)

```

```

NEXT j
SELECT CASE ScCode
CASE 1
  Lg = LOG(2 * L + 1) / LOG(10)
CASE 2
  Lg = LOG(L) / LOG(10)
END SELECT
KofKonk = (M * Lg + SumH) / (M * Lg)

' Вычисление критерия Пирсона [KritPirs]
KritPirs = N * (M - 1) * KofKonk

END SUB

SUB EndProgram
COLOR 7, 0
CLS
LOCATE 24
PRINT ProgName$
PRINT CopyRight$
PRINT "Разработчики: Стегаличев Ю.Г., Поляков Р.И."
SYSTEM
END SUB

SUB ErrorMsg
FOR i% = 440 TO 1000 STEP 10
  SOUND i%, i% / 20000
NEXT i%

END SUB

SUB Init
LC = 1 'крайний левый столбец экрана
RC = 79 'крайний правый столбец экрана
BlankStr$ = "" 'Пустая строка для информации и подсказок
FOR k = LC TO RC
  BlankStr$ = BlankStr$ + " "
NEXT k

```

```

ProgName$ = "ЭКСПЕРТИЗА V2.0"
CopyRight$ = "(с)1995-1999, Каф. АБиТП Университет ИТМО"
END SUB

```

```

SUB InputData

```

```

' Ввод исходных данных с клавиатуры

```

```

DO

```

```

CLS

```

```

ShowInfo ("Выберите вид шкалы оценок")

```

```

LOCATE 3: COLOR 14, 0: PRINT "Код Описание"

```

```

PRINT STRING$(60, "-")

```

```

COLOR 15: PRINT " 1 ";

```

```

COLOR 2: PRINT "Двунаправленная шкала оценок: ";

```

```

COLOR 10, 0: PRINT "-Qmax |-----| 0 |-----| +Qmax"

```

```

COLOR 2, 0: PRINT " В качестве оценок допустимы целые поло-
жительные"

```

```

PRINT " и отрицательные числа (включая 0) в диапазоне (-
Qmax...+Qmax)."

```

```

PRINT

```

```

COLOR 15: PRINT " 2 ";

```

```

COLOR 2: PRINT "Положительная шкала оценок: ";

```

```

COLOR 10, 0: PRINT "0 |-----| +Qmax":

```

```

COLOR 2, 0: PRINT " В качестве оценок допустимы целые поло-
жительные"

```

```

PRINT " числа в диапазоне (1...+Qmax)."

```

```

COLOR 14: PRINT STRING$(60, "-")

```

```

LOCATE CSRLIN + 1: COLOR 15

```

```

INPUT "Введите код шкалы: ", ScCode$

```

```

IF (VAL(ScCode$) <> 1) AND (VAL(ScCode$) <> 2) THEN ErrorMessage

```

```

LOOP UNTIL (VAL(ScCode$) = 1) OR (VAL(ScCode$) = 2)

```

```

ScCode = VAL(ScCode$)

```

```

DIM Help$(3)

```

```

Help$(1) = "Допустимые значения: (2..." + LTRIM$(STR$(MaxN)) +
)"

```

```

Help$(2) = "Допустимые значения: (2..." + LTRIM$(STR$(MaxM)) +
)"

```

```

Help$(3) = "Максимальное значение: " + STR$(MaxL)
DIM S$(3)
S$(1) = "    Количество экспертов: "
S$(2) = "    Количество факторов: "
S$(3) = "Количество уровней оценки: "
DIM Min(3), Max(3), x$(3)
Min(1) = 2: Max(1) = MaxN
Min(2) = 2: Max(2) = MaxM
Min(3) = 1: Max(3) = MaxL

CLS
ShowInfo ("Введите исходные данные")

FOR k = 1 TO 3
LOCATE 10: PRINT STRING$(78, " ")
LOCATE 10: COLOR 2: PRINT Help$(k): COLOR 15
DO
LOCATE 3 + k: PRINT STRING$(78, " ")
LOCATE 3 + k: PRINT S$(k); : INPUT "", x$(k)
IF (VAL(x$(k)) < Min(k)) OR (VAL(x$(k)) > Max(k)) THEN ErrorMessage
LOOP UNTIL (VAL(x$(k)) >= Min(k)) AND (VAL(x$(k)) <= Max(k))
LOCATE 3 + k: COLOR 7
PRINT S$(k); x$(k)
NEXT k

N = VAL(x$(1))
M = VAL(x$(2))
L = VAL(x$(3))

FOR j = 1 TO M 'факторы

CLS
ShowInfo ("Введите оценки экспертов")
LOCATE 16: COLOR 2: PRINT "Допустимые значения: целые числа
в диапазоне";

SELECT CASE ScCode
CASE 1

```

```

MinusL = L - 2 * L
PRINT " ("; LTRIM$(STR$(MinusL)); "..."; LTRIM$(STR$(L)); "),
включая 0"
CASE 2
PRINT " (1..."; LTRIM$(STR$(L)); ")"

```

```

END SELECT

```

```

LOCATE 3: COLOR 14: PRINT "Фактор ";
COLOR 15: PRINT LTRIM$(STR$(j))
COLOR 14: PRINT STRING$(20, "—")
COLOR 15

```

```

FOR i = 1 TO N 'эксперты

```

```

SELECT CASE ScCode
CASE 1
DO
LOCATE 4 + i: PRINT STRING$(78, " ")
LOCATE 4 + i: PRINT "Эксперт "; LTRIM$(STR$(i)); ": ";
INPUT "", Qstr$
IF (VAL(Qstr$) < MinusL) OR (VAL(Qstr$) > L) THEN ErrorMessage
LOOP UNTIL (VAL(Qstr$) >= MinusL) AND (VAL(Qstr$) <= L)
CASE 2
DO
LOCATE 4 + i: PRINT STRING$(78, " ")
LOCATE 4 + i: PRINT "Эксперт "; LTRIM$(STR$(i)); ": ";
INPUT "", Qstr$
IF (VAL(Qstr$) < 1) OR (VAL(Qstr$) > L) THEN ErrorMessage
LOOP UNTIL (VAL(Qstr$) >= 1) AND (VAL(Qstr$) <= L)
END SELECT

```

```

LOCATE 4 + i: COLOR 7: PRINT "Эксперт "; LTRIM$(STR$(i)); ": ";
Qstr$
Q(j, i) = VAL(Qstr$)
COLOR 15

```

```

NEXT i

```

NEXT j

COLOR 7, 0

END SUB

SUB PrintResult

' Вывод на принтер

d\$ = "C:\РЕЗУЛТАТ\" + "exp" + ".txt"

OPEN d\$ FOR OUTPUT AS #1

PRINT #1, "Таблица 7.4"

PRINT #1, "Сводная таблица оценок экспертов"

PRINT #1, "-----"

PRINT #1, "Номер | Оценки"

PRINT #1, "фактора | экспертов"

FOR i = 1 TO N

PRINT #1, USING " ## |"; i;

NEXT i

PRINT #1,

PRINT #1, "-----"

FOR j = 1 TO M

PRINT #1, USING " ## |"; j;

FOR i = 1 TO N - 1

PRINT #1, USING " ## |"; Q(j, i);

NEXT i

PRINT #1, USING " ##"; Q(j, N)

NEXT j

PRINT #1,

PRINT #1, "Результаты статистической обработки экспертных карт"

PRINT #1, "-----+-----+-----+-----"

PRINT #1, "Номер | Средняя оценка | Средняя оценка | Степень"

PRINT #1, "фактора | (C0) | с поправкой (C1) | согл."

PRINT #1, "-----+-----+-----+-----"

```

FOR j = 1 TO M
PRINT #1, USING "  ##          |"; j;
PRINT #1, USING "   ##.###   |"; C(j);
PRINT #1, USING "   ##.###   |"; C1(j);
PRINT #1, USING "  ##.#"; W(j)
NEXT j

PRINT #1, "-----"
PRINT #1, USING "Критерий Пирсона: ###.##"; KritPirs

END SUB

```

```

SUB ShowInfo (Info$)
' Вывод информационной строки
LOCATE 1, LC
COLOR 15, 1
PRINT BlankStr$
LOCATE 1, LC + 1
PRINT Info$
LOCATE 1, RC - LEN(ProgName$)
COLOR 14
PRINT ProgName$
COLOR 7, 0
END SUB

```

```

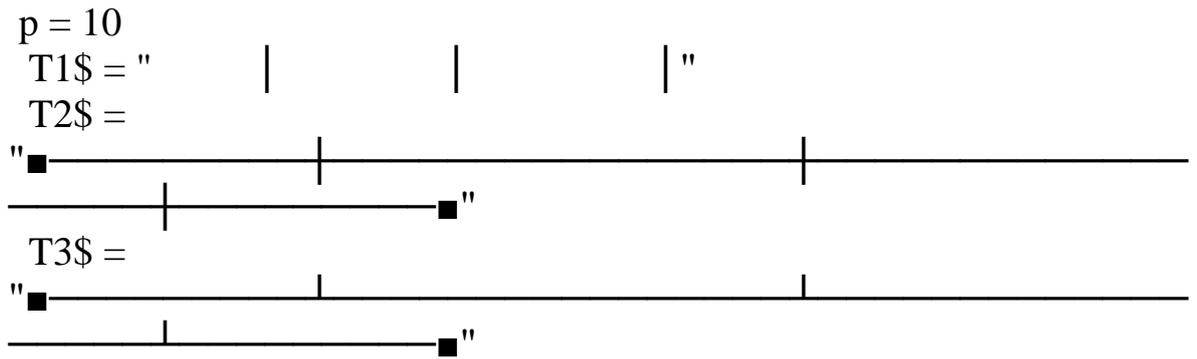
SUB ShowResult
' Вывод результатов на дисплей
CLS
ShowInfo ("Результаты расчета")

```

```

'Шаблон таблицы
' Номер | Средняя оценка | Средняя оценка | Степень
' фактора | (C0) | с поправкой (C1) | согл.
'-----+-----+-----+-----
' XX | -X.XXX | -X.XXX | X.X
' 3 9 15 26 33 45 49

```



```

LOCATE 3, p + 1: COLOR 9: PRINT T1$: COLOR 14
LOCATE 3, p + 2: PRINT "Номер"
LOCATE 3, p + 11: COLOR 7: PRINT "Средняя оценка": COLOR 14
LOCATE 3, p + 29: PRINT "Средняя оценка"
LOCATE 3, p + 47: PRINT "Степень"
LOCATE 4, p + 1: COLOR 9: PRINT T1$: COLOR 14
LOCATE 4, p + 1: PRINT "фактора"
LOCATE 4, p + 16: COLOR 7: PRINT "(C0)": COLOR 14
LOCATE 4, p + 28: PRINT "с поправкой (C1)"
LOCATE 4, p + 48: PRINT "согл."
LOCATE 5, p - 1: COLOR 9: PRINT T2$
FOR j = 1 TO M
LOCATE 5 + j, p + 1: COLOR 9: PRINT T1$: COLOR 15
LOCATE 5 + j, p + 3: PRINT LTRIM$(STR$(j))
LOCATE 5 + j, p + 15: COLOR 7: PRINT USING "+#.###"; C(j): COL-
OR 15
LOCATE 5 + j, p + 33: PRINT USING "+#.###"; C1(j)
LOCATE 5 + j, p + 49: PRINT USING "#.#"; W(j)
NEXT j
LOCATE CSRLIN, p - 1
COLOR 9: PRINT T3$
LOCATE CSRLIN, p + 1
COLOR 14: PRINT "Критерий Пирсона: ";
COLOR 15: PRINT USING "###.##"; KritPirs

```

END SUB

```

SUB StartScreen
  SHARED LC, RC, ProgName$, CopyRight$, BlankStr$
  DIM L$(11)

```

```

CLS
LOCATE 1, LC
COLOR 15, 1
PRINT BlankStr$
LOCATE 1, LC + 1
PRINT CopyRight$
LOCATE 1, RC - LEN(ProgName$)
COLOR 14
PRINT ProgName$
COLOR 9, 0
L$(1) = "
L$(2) = "
L$(3) = "
L$(4) = "
L$(5) = "
L$(6) = ""
L$(7) = "
L$(8) = "
L$(9) = "
L$(10) = "
L$(11) = "
FOR k = 1 TO 11
  Raw = k + 2
  Col = 41 - LEN(L$(k)) / 2
LOCATE Raw, Col
  PRINT L$(k)
NEXT k
LOCATE CSRLIN + 1, LC
COLOR 15, 1
PRINT BlankStr$;
LOCATE CSRLIN, LC + 1
PRINT "Нажмите любую клавишу"
COLOR 7, 0

```

```
WHILE INKEY$ = "": WEND
END SUB
```

В программе «*EXPERT*» выполняются следующие операции по обработке результатов экспертизы:

1. Вычисление суммы оценок i -го фактора, выставленных всеми экспертами:

$$R(\beta) = \sum_{\beta=1}^M q(\beta; i),$$

где i – номер оцениваемого фактора, β – номер эксперта, $q(\beta, i)$ – единичный ранг (оценка) i -го фактора β -м экспертом, M – число экспертов.

2. Определение среднеарифметической оценки i -го фактора всеми экспертами:

$$C(i) = \frac{R(\beta)}{M}.$$

3. Корректировка среднеарифметической оценки с помощью поправки на «компетентность» эксперта, для чего определяется:

– «ошибка» – отклонение оценки i -го фактора β -ым экспертом от средней оценки данного фактора всеми экспертами (может быть положительным и отрицательным числом)

$$\Delta(\beta, i) = C(i) - q(\beta, i);$$

– сумма «ошибок» β -го эксперта по всем факторам

$$\sigma(\beta) = \sum_{i=1}^N ABS[(\beta; i)],$$

где N – число факторов;

– сумма «ошибок» всех экспертов

$$\sigma = \sum_{\beta=1}^M \sigma(\beta);$$

– коэффициент «компетентности» β -го эксперта (доля «ошибок» β -го эксперта в совокупности «ошибок» всех экспертов)

$$V(b) = \frac{\sigma(\beta)}{\sigma}.$$

Скорректированная оценка β -м экспертом i -го фактора с поправкой на «компетентность» определяется уравнением

$$qV(b,i) = q(\beta;i) + \Delta(\beta,i) \cdot V(\beta,i).$$

Скорректированная оценка i -го фактора (среднеарифметическое значение по скорректированным оценкам всех экспертов)

$$R(i) = \frac{\sum_{\beta=1}^M qV(\beta;i)}{M}.$$

Численные значения $R(i)$ (ранги) используются на следующих этапах разработки модели в качестве рейтинговых оценок $R1(i)$ и $R2(i)$ степени влияния фактора $X(i)$ на отклик $Z(a)$.

В программе «*EXPERT*» также предусмотрена процедура статистической оценки степени согласованности мнений экспертов, позволяющая по коэффициенту конкордации $W(i)$ и критерию Пирсона χ^2 выбрать решение – принимать или не принимать результаты экспертизы из-за существенного расхождения мнений экспертов.

Количественная оценка согласованности мнений группы экспертов о ранговой оценке каждого фактора производится по энтропии распределения мест, присвоенных экспертами i -му фактору:

$$H(i) = \sum_{q=1}^L \frac{n(q,i)}{M} \lg \frac{n(q,i)}{M},$$

где $N(q, i)$ – число экспертов, которые поставили i -му фактору ранг (оценку) q , L – максимальное значение ранговой оценки (для шкалы оценок $0 \dots 5$ значение $L = 5$, для шкалы $-5 \dots 0 \dots +5$ значение $L = 10$).

Степень согласованности мнений экспертов по i -му фактору оценивается коэффициентом согласованности

$$W(i) = 1 - \frac{H(i)}{H_{max}(i)}.$$

Максимальная мера рассогласованности мнений экспертов $H_{max}(i)$ будет иметь место в том случае, когда равное число экспертов присвоило i -му фактору все численные значения рангов от 1 до L , т.е. $N(1, i) = N(2, i) = \dots = N(L, i) = M/L$. В этом случае энтропия определяется уравнением

$$H_{max}(i) = \sum_{q=1}^M \frac{M/L}{M} \lg \frac{M/L}{M}.$$

Для оценки вероятности появления ошибочных результатов экспертизы по всем факторам необходимо оценить вероятность случайного характера мнений экспертов. Для такой оценки определяют информационный коэффициент конкордации

$$W(u) = \frac{\sum_{i=1}^N H(i)}{\sum_{i=1}^N H_{max}(i)} = \frac{N \lg L + \sum_{i=1}^N H(i)}{N \lg L},$$

где в числителе – количество полученной в результате опроса информации, в знаменателе – максимально возможное количество информации.

Значимость результатов экспертизы в целом определяется по критерию Пирсона.

По завершении обработки введенных данных программа «EXPERT» выдает таблицу результатов по форме табл. 7.4, фрагмент которой приведен на рис. 13.

Таблица 7.4 а

Сводная таблица оценок экспертов					
Номер фактора	Оценки экспертов				
	1	2	3	4	5
1	4	3	2	4	4
2	3	2	2	3	3
3	-3	-2	-1	-2	-2
4	4	4	3	4	5
5	2	2	3	3	3
6	-1	-2	-1	-3	-1
7	-2	-4	-3	-4	-4
8	-2	-2	-1	-2	-1

Результаты статистической обработки экспертных карт			
Номер фактора	Средняя оценка (СО)	Средняя оценка с поправкой (С1)	Степень согл.
2	2,6	2,602	0,7
3	-2,0	-2,009	0,6
4	4,0	4,016	0,6
5	2,6	2,593	0,7
6	-1,6	-1,624	0,6
7	-3,4	-3,425	0,6
8	-1,6	-1,613	0,7

Критерий Пирсона: 22,65

Таблица 7.4 б

Сводная таблица оценок экспертов					
Номер фактора	Оценки экспертов				
	1	2	3	4	5
1	-3	-3	-2	-4	-4
2	-2	-2	-3	-1	0
3	1	2	3	3	1
4	-2	-3	-1	-1	-2
5	-1	0	-2	-3	-2
6	2	2	2	2	2
7	4	4	3	2	3
8	1	2	2	1	1

Результаты статистической обработки экспертных карт			
Номер фактора	Средняя оценка (СО)	Средняя оценка с поправкой (С1)	Степень согл.
2	-1,6	-1,599	0,4
3	2,0	1,971	0,6
4	-1,8	-1,816	0,6
5	-1,6	-1,576	0,4
6	2,0	2,000	1,0
7	3,2	3,222	0,6
8	1,4	1,396	0,7

Критерий Пирсона: 21,21

Рис. 13. Результаты статистической обработки

Прежде чем использовать результаты для формирования рейтинговой модели необходимо оценить степень согласованности мнений экспертов по численному значению в столбце R табл. 7.4. За предельно допустимое расхождение оценок может быть принято условие $R > 0,35$ (возможный диапазон изменения $0 < R < 1$). Для факторов, по которым расхождение мнений экспертов оценивается числом $R < 0,35$ необходимо организовывать новую экспертизу.

Результаты в табл. 7.4 также проверяются на достоверность по критерию Пирсона:

$$\chi^2 = M(N - 1) \cdot W(u).$$

Для оценки результатов экспертизы необходимо сравнить расчетные значения критерия Пирсона с предельным значением критерия, приведенным в статистических таблицах. Элемент такой таблицы приведен в табл. 7.5 прил. 7 [http://de.ifmo.ru/--books/appendix_1-10.zip].

Расчетное значение критерия Пирсона выводится вместе с таблицей результатов (табл. 7.4 на рис. 13). Если расчетное значение критерия Пирсона χ^2 больше табличного значения критерия χ_T^2 , найденного по табл. 7.5 прил. 7 для числа степеней свободы $f = M - 1$ и уровня значимости α (например, $\alpha = 0,05$), то с вероятностью $p = 1 - \alpha$ можно утверждать, что согласованность мнений экспертов носит не случайный характер, и результаты экспертизы принимаются. При $\chi^2 < \chi_T^2$ экспертизу требуется проводить заново.

Откорректированная таблица 7.4 может быть распечатана из программы «*EXPERT*» с использованием команды «Результаты на принтер».

В шаблоне «*EXPERT*» *SUB*, «*ShoWResult*» содержит операцию «печать в файл», по которой табл. 7.4 в форме текстового файла «*expert*» передается в папку «*RESULTAT*» (см. «Алгоритм» в прил. 2), где преобразуется в лист *Excel* и сохраняется в папке «ТАБЛ» для дальнейшей обработки и печати.

3.4. Выбор вида математической модели

Формируемая модель предназначена для расчета отклонений отклика $dZ(a)$ (в рассматриваемом примере – оценка в баллах вкуса мороженого) от номинального значения $Z_{nom}(a)$ при варьировании влияющих факторов – дозировки компонентов закладываемых в смесь – $Y(j)$ и изменения содержания веществ в компонентах $X(i, j)$. Оптимизационные расчеты с использованием модели предполагается проводить для налаженного технологического процесса, т. е. для такого режима, при котором, исходя из концепции нормального распределения варьируемых переменных, численные значения отклика $Z(a)$ и всех факторов близки к среднему значению (математическому ожиданию МО) для диапазона варьирования каждой переменной.

При выборе вида модели следует также учитывать, что в реальном технологическом процессе диапазоны варьирования отклика и влияющих параметров не могут быть большими.

С учетом изложенного выше можно реализовать модель в виде линейной алгебраической зависимости, отклонений показателей качества отклика $dZ(a) = Z(a) - Z_{nom}(a)$ и отклонения от номинальных значений факторов $dX(i) = X(i) - X_{nom}(i)$. Доля влияния каждого параметра $X(i)$ на отклик $Z(a)$ будет определяться в этом уравнении коэффициентами веса, вычисленными на основании ранговых оценок. В общем виде рейтинговая модель оценки отклонений качественного показателя $dZ(a)$ от нормы может быть представлена выражением:

$$dZ(a) = \sum_{j=1}^k A(j)dY(j) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k B(i; j)dX(i; j).$$

В уравнение входят:

– положительные и отрицательные отклонения от номинала количества (в долях от диапазона варьирования) j -го компонента, например, сухого молока, закладываемого в смесь:

$$dY(j) = \frac{Y_{nom}(j) - Y(j)}{Y_{max}(j) - Y_{min}(j)};$$

– положительные или отрицательные отклонения от номинала содержания i -го элемента СОМО, в j -ом компоненте, например, в сухом молоке, закладываемом в смесь доли:

$$dX(i; j) = \frac{X_{nom}(i; j) - X(i; j)}{X_{min}(i; j)};$$

– функция веса, определяющая направление и степень влияния на оценку вкуса положительного и отрицательного отклонения дозировки j -го компонента в смесь:

$$A(j) = f_j(SGN(dY(j)));$$

– функция веса, определяющая направление и степень влияния на оценку вкуса положительного и отрицательного отклонения от номинала содержания i -го элемента в j -ом компоненте закладываемом в смесь:

$$B(i; j) = f_{i,j}(SGN(dY(j))).$$

Численное значение функции определяется видом дозирующего компонента $Y(j)$ и видом элемента, содержащегося в дозируемом компоненте $X(i, j)$. Математическая операция SGN (сигнатура) формирует условие (+1, 0, -1), которое позволяет учесть различное влияние на вкус продукта положительных и отрицательных отклонений от номинала аргументов Y и X . Значение и знак функции A_i и B_{ij} определяется при статистической обработке рейтинговых оценок специалистов-экспертов в процессе реализации модели.

3.5. Реализация рейтинговой модели

Для реализации модели необходимо подготовить исходные данные - сводную таблицу результатов экспертного обследования объекта управления (табл. 7.6) форма и пример заполнения табл. 7.6 на рис. 14, шаблон в прил. 7 [http://de.ifmo.ru/--books/appendix_1-10.zip].

При реализации модели, а в дальнейшем и при ее использовании, изменения всех возмущающих воздействий $X(i)$ переводятся в приращения и выражаются в относительной форме:

$$dX(i) = \frac{X(i) - X_{nom}(i)}{X_{max}(i) - X_{min}(i)}$$

Значение ранговых оценок $R1(i)$, приведенных в табл. 7.6 будут соответствовать положительным отклонениям параметров $+dX(i)$, а $R2(i)$ – отрицательным отклонениям $-dX(i)$ (см. массивы «a» и «b» в табл. 7.3). Знак перед ранговой оценкой в таблице показывает направление отклонения отклика: «+ $R1(i)$ » или «+ $R2(i)$ » соответствуют смещению $Z(a)$ в сторону $Zmax(a)$ от номинального значения при данном отклонении параметра $dX(i)$, а «- $R1(i)$ » или «- $R2(i)$ » соответствуют смещению $Z(a)$ в сторону $Zmin(a)$.

Таблица 7.6

Результаты экспертного обследования объекта					
Обозначения	<i>nom x</i>	<i>min X</i>	<i>max X</i>	<i>R1</i>	<i>R2</i>
1 Y(1)	40	20	60	3,416	-3,198
2 X(1.1)	3,5	2,7	6	2,602	-1,599
3 X(2.1)	7	1,5	8,2	-2,009	1,971
4 Y(2)	20	10	60	4,016	-1,816
5 X(1.2)	30	10	40	2,593	-1,576
6 X(2.2)	5,5	4,7	8,2	-1,694	2,000
7 Y(4)	8	2	10	-3,429	3,222
8 X(1.4)	20	10	30	-1,613	1,396
Z (a)	3	1	5		

Рис. 14. Результаты экспертного обследования объекта

В связи с изложенным в табл. 7.6 кроме ранговых оценок включены значения номинальных и предельных значений отклика: $Znom(a)$, $Zmax(a)$, $Zmin(a)$ и всех влияющих на отклик параметров: $Xnom(i)$, $Xmax(i)$, $Xmin(i)$.

Номинальные значения и диапазон варьирования отклика и влияющих факторов могут быть перенесены в табл. 7.6 из табл. 7.2 прил. 7 [http://de.ifmo.ru/--books/appendix_1-10.zip].

Диапазоны варьирования могут быть откорректированы при обработке результатов экспертизы. Для корректировки необходимо с использованием «*EXPERT*» провести статистическую обработку мнений экспертов о допустимых максимальных отклонениях по всем опросным картам (см. табл. 7.1 прил.7).

Реализовать рейтинговую модель можно с помощью специальной программы «*RTMOD*» шаблон которой размещен в прил. 7, а текст программы – ниже.

Текст программы *RTMOD*

' Рейтмодель * (с)1999-2000 * Каф. АБиТП Университет ИТМО

```
DECLARE SUB Init ()      'инициализация переменных
DECLARE SUB StartScreen () 'стартовый экран
DECLARE SUB InputData () 'ввод данных
DECLARE SUB ShowInput () 'проверка ввода
DECLARE SUB Calculate () 'расчет
DECLARE SUB ShowResult () 'результаты на дисплей
DECLARE SUB Primer ()   'пример расчёта
DECLARE SUB PrintResult () 'результаты на принтер
DECLARE SUB EndProgram () 'завершение программы
DECLARE SUB ShowInfo (Info$) 'информационная строка
DECLARE SUB ErrorMessage () 'сообщение об ошибке при вводе
DIM SHARED MaxN AS INTEGER 'максимальное количество
факторов (индекс i)
DIM SHARED MaxRM AS INTEGER 'максимальное положительное
значение рейтинга
DIM SHARED MaxRL AS INTEGER 'максимальное отрицательное
значение рейтинга
MaxN = 10: MaxRM = 5: MaxRL = -5
DIM SHARED N 'количество факторов(1<=N<=MaxN)
DIM SHARED ZMAX 'максимальное значение отклика
DIM SHARED ZNOM 'номинальное значение отклика
DIM SHARED ZMIN 'минимальное значение отклика
DIM SHARED K1 'масштабный коэффициент для положительного
смещения отклика
```

DIM SHARED K2 'масштабный коэффициент для отрицательного смещения отклика
 DIM SHARED LC, RC, BlankStr\$, ProgName\$, CopyRight\$
 DIM SHARED R1(1 TO MaxN) 'рейтинг при положительном отклонении фактора
 DIM SHARED R2(1 TO MaxN) 'рейтинг при отрицательном отклонении фактора
 DIM SHARED X\$(1 TO MaxN) 'обозначение фактора
 DIM SHARED XI(1 TO MaxN) 'индекс фактора
 DIM SHARED XMAX(1 TO MaxN) 'максимальное значение фактора
 DIM SHARED XNOM(1 TO MaxN) 'номинальное значение фактора
 DIM SHARED XMIN(1 TO MaxN) 'минимальное значение фактора
 DIM SHARED dx(1 TO MaxN) 'отклонение фактора от номинала
 DIM SHARED hx1(1 TO MaxN) 'предельное положительное отклонение фактора
 DIM SHARED hx2(1 TO MaxN) 'предельное отрицательное отклонение фактора
 DIM SHARED d1(1 TO MaxN) 'коэффициент веса в суммарном влиянии на отклик
 'при положительном отклонении фактора
 DIM SHARED d2(1 TO MaxN) 'коэффициент веса в суммарном влиянии на отклик
 'при отрицательном отклонении фактора
 DIM SHARED c1(1 TO MaxN) 'коэффициент регрессии при положительном отклонении
 'фактора (+dx(i)), вызывающем увеличение расчётного значения отклика (+z1)
 DIM SHARED c2(1 TO MaxN) 'коэффициент регрессии при отрицательном отклонении
 'фактора (-dx(i)), вызывающем увеличение расчётного значения отклика (+z1)
 DIM SHARED f1(1 TO MaxN) 'коэффициент регрессии при положительном отклонении
 'фактора (+dx(i)), вызывающем уменьшение расчётного значения отклика (-z2)
 DIM SHARED f2(1 TO MaxN) 'коэффициент регрессии при отрицательном отклонении

'фактора $(-dx(i))$, вызывающем уменьшение расчётного значения отклика $(-z^2)$

CLS

MenuCode = 1

DO

SELECT CASE MenuCode

CASE 1

Init

StartScreen

InputData

ShowInput

CASE 2

Calculate

ShowResult

CASE 3

Primer

CASE 4

PrintResult

CASE 5

EndProgram

END SELECT

LOCATE 23, 1

COLOR 15: PRINT "1 "; : COLOR 3: PRINT "Повторить ввод ";

COLOR 9: PRINT "■ ";

COLOR 15: PRINT "2 "; : COLOR 3: PRINT "Расчёт";

COLOR 9: PRINT "■ ";

COLOR 15: PRINT "3 "; : COLOR 3: PRINT "Пример";

COLOR 9: PRINT "■ ";

COLOR 15: PRINT "4 "; : COLOR 3: PRINT "Печать";

COLOR 9: PRINT "■ ";

COLOR 15: PRINT "5 "; : COLOR 3: PRINT "Выход"

COLOR 14: PRINT STRING\$(50, "—");

COLOR 15

```

DO
LOCATE 25, 1: PRINT STRING$(70, " ");
LOCATE 25, 1: INPUT ; "Ваш выбор: ", MenuCode$
IF (VAL(MenuCode$) < 1) OR (VAL(MenuCode$) > 5) THEN Er-
rorMsg
LOOP UNTIL (VAL(MenuCode$) >= 1) AND (VAL(MenuCode$) <= 5)

MenuCode = VAL(MenuCode$)

```

LOOP

SUB Calculate

'Расчет

' Вычисление суммы рейтинговых оценок всех факторов вызываю-
щие положительное (сумма A1) и отрицательное (сумма B1) откло-
нения отклика

A1 = 0: B1 = 0

FOR i = 1 TO N

IF R1(i) > 0 AND R2(i) < 0 THEN A1 = A1 + R1(i)

IF R1(i) < 0 AND R2(i) > 0 THEN B1 = B1 + R1(i)

IF R2(i) < 0 AND R1(i) > 0 THEN B1 = B1 + R2(i)

IF R2(i) > 0 AND R1(i) < 0 THEN A1 = A1 + R2(i)

IF R1(i) > 0 AND R2(i) > 0 AND R1(i) > R2(i) THEN A1 = A1 + R1(i)

IF R1(i) > 0 AND R2(i) > 0 AND R1(i) < R2(i) THEN A1 = A1 + R2(i)

IF R1(i) < 0 AND R2(i) < 0 AND R1(i) < R2(i) THEN B1 = B1 + R1(i)

IF R1(i) < 0 AND R2(i) < 0 AND R1(i) > R2(i) THEN B1 = B1 + R2(i)

NEXT i

' Вычисление коэффициентов веса каждого фактора в суммарном
влиянии на отклик

' при положительном (коэффициент d1(i)) и отрицательном (коэффи-
циент d2(i))

' отклонениях факторов

FOR i = 1 TO N

IF R1(i) > 0 THEN d1(i) = R1(i) / A1 ELSE d1(i) = R1(i) / B1

IF R2(i) > 0 THEN d2(i) = R2(i) / A1 ELSE d2(i) = R2(i) / B1

```

NEXT i
' Вычисление предельных значений отклонений факторов в положи-
тельную hx1(i),
' и отрицательную hx2(i) стороны
FOR i = 1 TO N
  hx1(i) = (XMAX(i) - XNOM(i)) / (XMAX(i) - XMIN(i))
  hx2(i) = (XNOM(i) - XMIN(i)) / (XMAX(i) - XMIN(i))

NEXT i
' Масштабирование диапазона изменения расчетных значений от-
клика zmin<zr<zmax.
' Рассчитывается совокупное воздействие на отклик z всех факторов
при их
' предельном отклонении hx1(i) и hx2(i). Суммируется эффект воздей-
ствия
' d1(i)*hx1(i) или d2(i)*hx2(i) вызывающий положительное отклоне-
ние z
' (сумма A2) и отрицательное отклонение z (сумма B2). При этом
учитывается,
' что одновременно отклонения hx1(i) и hx2(i) возникать не могут, при
' совпадении знаков R1(i) и R2(i) в сумму A2 или B2 добавляется мак-
симальный
' по абсолютной величине эффект
A2 = 0: B2 = 0
FOR i = 1 TO N
  IF R1(i) > 0 AND R2(i) < 0 THEN A2 = A2 + d1(i) * hx1(i)
  IF R1(i) < 0 AND R2(i) > 0 THEN B2 = B2 + d1(i) * hx1(i)
  IF R2(i) < 0 AND R1(i) > 0 THEN B2 = B2 + d2(i) * hx2(i)
  IF R2(i) > 0 AND R1(i) < 0 THEN A2 = A2 + d2(i) * hx2(i)
NEXT i
FOR i = 1 TO N
  IF R1(i) > 0 AND R2(i) > 0 AND d1(i) * hx1(i) > d2(i) * hx2(i) THEN
A2 = A2 + d1(i) * hx1(i)
  IF R1(i) > 0 AND R2(i) > 0 AND d1(i) * hx1(i) < d2(i) * hx2(i) THEN
A2 = A2 + d2(i) * hx2(i)
  IF R1(i) < 0 AND R2(i) < 0 AND d1(i) * hx1(i) < d2(i) * hx2(i) THEN
B2 = B2 + d1(i) * hx1(i)

```

```

    IF R1(i) < 0 AND R2(i) < 0 AND d1(i) * hx1(i) > d2(i) * hx2(i) THEN
B2 = B2 + d2(i) * hx2(i)
NEXT i
' Рассчёт масштабных коэффициентов ограничивающих расчётное
значение отклика
' при положительном его отклонении - K1 и при отрицательном от-
клонении - K2:
    K1 = (ZMAX - ZNOM) / A2
    K2 = (ZNOM - ZMIN) / B2
' Реализация модели.
' Ожидаемое численное значение отклика рассчитывают по
уравнению:  $z_i = z_0 + z_1 - z_2$ ,
' где  $z_1$  - суммарная положительная поправка к номинальному значе-
нию отклика
'  $z_0$  при положительных  $e_1(i) = +dx(i)$  или отрицательных  $e_2(i) = ABS(-$ 
 $dx(i))$ 
' отклонениях факторов,  $z_2$  - то же отрицательная суммарная
поправка.
' Поправка увеличивающая значение отклика определяется
уравнением:
'  $z_1 = K1 * СУММ(c_1(i) * e_1(i) + c_2(i) * e_2(i))$ .
' Поправка уменьшающая значение отклика определяется
уравнением:
'  $z_2 = K2 * СУММ(f_1(i) * e_1(i) + f_2(i) * e_2(i))$ .
' Определение численных значений коэффициентов модели.
FOR i = 1 TO N
    IF R1(i) > 0 AND R2(i) > 0 THEN c1(i) = d1(i): c2(i) = d2(i): f1(i) = 0:
f2(i) = 0
    IF R1(i) < 0 AND R2(i) < 0 THEN f1(i) = d1(i): f2(i) = d2(i): c1(i) = 0:
c2(i) = 0
    IF R1(i) > 0 AND R2(i) < 0 THEN c1(i) = d1(i): f2(i) = d2(i): f1(i) = 0:
c2(i) = 0
    IF R1(i) < 0 AND R2(i) > 0 THEN c2(i) = d2(i): f1(i) = d1(i): c1(i) = 0:
f2(i) = 0
NEXT i
END SUB

```

```

SUB EndProgram

```

```
COLOR 7, 0
CLS
LOCATE 24
PRINT ProgName$
PRINT CopyRight$
PRINT "Разработчики: Стегаличев Ю.Г., Алёшичев С.Е., Абугов
М.Б."
SYSTEM
END SUB
```

```
SUB ErrorMsg
FOR i% = 440 TO 1000 STEP 10
    SOUND i%, i% / 20000
NEXT i%
END SUB
```

```
SUB Init
LC = 1 'крайний левый столбец экрана
RC = 79 'крайний правый столбец экрана
BlankStr$ = "" 'Пустая строка для информации и подсказок
FOR k = LC TO RC
    BlankStr$ = BlankStr$ + " "
NEXT k
ProgName$ = "Рейтинговая модель"
CopyRight$ = "(с)1999-2000, Каф. АиАПП СПбУНиПТ"
END SUB
```

```
SUB InputData
' Ввод исходных данных с клавиатуры

'DO
CLS
ShowInfo ("Введите исходные данные")
PRINT STRING$(60, "-")
COLOR 15: PRINT " 1  ";
COLOR 2: INPUT "Укажите число факторов исследованных при
экспертизе: ", N
COLOR 15: PRINT " 2  ";
```

```

COLOR 2: INPUT "Введите номинальное значение отклика zном :",
ZNOM
COLOR 15: PRINT " 3  ";
COLOR 2: INPUT "Введите максимальное значение отклика zmax :",
ZMAX
COLOR 15: PRINT " 4  ";
COLOR 2: INPUT "Введите минимальное значение отклика zmin :",
ZMIN
COLOR 14: PRINT STRING$(60, "-")

```

```

DIM Help$(7)
Help$(1) = "Допустимые обозначения: (буквы, например x,y,z)"
Help$(2) = "Допустимые обозначения: (числа от 1 до 9)"
Help$(3) = "Номинальное значения для x(i),y(i),z(i). Размерность до
###.##"
Help$(4) = "Максимальное значение для x(i),y(i),z(i). Размерность до
####.##"
Help$(5) = "Минимальное значение для x(i),y(i),z(i). Размерность до -
###.##"
Help$(6) = "Рейтинг при положительном отклонении фактора
(+5>r1>-5)"
Help$(7) = "Рейтинг при отрицательном отклонении фактора
(+5>r2>-5)"
DIM S$(7)
S$(1) = " Обозначение фактора на параметрической схеме: "
S$(2) = " Индекс фактора на параметрической схеме:"
S$(3) = " Номинальное значение фактора: "
S$(4) = " Максимальное значение фактора: "
S$(5) = " Минимальное значение фактора: "
S$(6) = " Рейтинг при положительном отклонении фактора: "
S$(7) = " Рейтинг при отрицательном отклонении фактора: "
DIM Y$(7), Min(7), Max(7)
Min(1) = 0: Max(1) = 10
Min(2) = 1: Max(2) = 9
Min(3) = 0: Max(3) = 999
Min(4) = 0: Max(4) = 9999
Min(5) = -999: Max(5) = 999
Min(6) = -5: Max(6) = 5

```

```

Min(7) = -5: Max(7) = 5
CLS
ShowInfo ("Введите результаты экспертизы")
FOR i = 1 TO N

    LOCATE 3: COLOR 14: PRINT "Фактор X("; i; ")"
    DO
        LOCATE 12: PRINT STRING$(78, " ")
        LOCATE 12: COLOR 2: PRINT Help$(1): COLOR 15
        LOCATE 4: PRINT STRING$(78, " ")
        LOCATE 4: PRINT S$(1); : INPUT "", Y$(1)
        IF (ASC(Y$(1)) < 120) OR (ASC(Y$(1)) > 122) THEN ErrorMessage
        LOOP UNTIL (ASC(Y$(1)) >= 120) AND (ASC(Y$(1)) <= 122)
        LOCATE 4: COLOR 7

FOR k = 2 TO 7
    DO
        LOCATE 12: PRINT STRING$(78, " ")
        LOCATE 12: COLOR 2: PRINT Help$(k): COLOR 15
        LOCATE 3 + k: PRINT STRING$(78, " ")
        LOCATE 3 + k: PRINT S$(k); : INPUT "", Y$(k)
        IF (VAL(Y$(k)) < Min(k)) OR (VAL(Y$(k)) > Max(k)) THEN ErrorMessage
        LOOP UNTIL (VAL(Y$(k)) >= Min(k)) AND (VAL(Y$(k)) <= Max(k))
        LOCATE 3 + k: COLOR 7
        PRINT S$(k); Y$(k)
NEXT k

X$(i) = Y$(1)
XI(i) = VAL(Y$(2))
XNOM(i) = VAL(Y$(3))
XMAX(i) = VAL(Y$(4))
XMIN(i) = VAL(Y$(5))
R1(i) = VAL(Y$(6))
R2(i) = VAL(Y$(7))
NEXT i
COLOR 14: PRINT STRING$(20, "—")

```

```
COLOR 7, 0
```

```
END SUB
```

```
SUB Primer
```

```
'Контрольный пример вычисления значения отклика z(a) при задан-  
ных состояниях
```

```
'факторов x,y,z.
```

```
CLS
```

```
ShowInfo ("Введите значения факторов")
```

```
DIM X(N), e1(N), e2(N)
```

```
FOR i = 1 TO N
```

```
LOCATE 15: PRINT STRING$(78, " ")
```

```
LOCATE 15: COLOR 2
```

```
PRINT "Допустимые значения от"; XMIN(i); "до"; XMAX(i); ""
```

```
DO
```

```
LOCATE 3 + i: PRINT STRING$(78, " ")
```

```
LOCATE 3 + i: PRINT "Значение фактора "; X$(i); "("; XI(i); "";
```

```
INPUT " ", X(i)
```

```
IF (X(i) < XMIN(i)) OR (X(i) > XMAX(i)) THEN ErrorMessage
```

```
LOOP UNTIL (X(i) >= XMIN(i)) AND (X(i) <= XMAX(i))
```

```
LOCATE 3 + i: COLOR 7
```

```
NEXT i
```

```
'Переход к отклонениям факторов.
```

```
FOR i = 1 TO N
```

```
dx(i) = (X(i) - XNOM(i)) / (XMAX(i) - XMIN(i))
```

```
'Анализ знака отклонения фактора, замена переменных.
```

```
IF dx(i) > 0 THEN e1(i) = dx(i): e2(i) = 0 ELSE e1(i) = 0: e2(i) =  
ABS(dx(i))
```

```
NEXT i
```

```
'Определение положительного M1 и отрицательного M2 влияния  
факторов.
```

```
M1 = 0: M2 = 0
```

```
FOR i = 1 TO N
```

```
M1 = M1 + (c1(i) * e1(i) + c2(i) * e2(i))
```

```
M2 = M2 + (f1(i) * e1(i) + f2(i) * e2(i))
```

```
NEXT i
```



```

PRINT #1, USING "| ## "; i;
PRINT #1, "|"; X$(i); "("; XI(i); ")";
PRINT #1, USING " |###.## "; XNOM(i);
PRINT #1, USING "|####.## "; XMAX(i);
PRINT #1, USING "| +###.## "; XMIN(i);
PRINT #1, USING "| +#.## "; R1(i);
PRINT #1, USING "| +#.## |"; R2(i)
NEXT i
PRINT #1, "-----"
PRINT #1, "Результаты расчета коэффициентов модели"
PRINT #1, "+-----+-----+-----+-----+-----+"
PRINT #1, "|Фактор|Обознач.| c1 | c2 | f1 | f2 |"
PRINT #1, "+-----+-----+-----+-----+-----+"
FOR i = 1 TO N
PRINT #1, USING "| ## "; i;
PRINT #1, "|"; X$(i); "("; XI(i); ")";
PRINT #1, USING " |###.## "; c1(i);
PRINT #1, USING " |###.## "; c2(i);
PRINT #1, USING " |###.## "; f1(i);
PRINT #1, USING " |###.## "; f2(i)
NEXT i
PRINT #1, "-----"
PRINT #1, "Масштабные коэффициенты: K1=";
PRINT #1, USING "###.###"; K1;
PRINT #1, " K2=";
PRINT #1, USING "###.###"; K2

END SUB

```

```

SUB ShowInfo (Info$)
' Вывод информационной строки
LOCATE 1, LC
COLOR 15, 1
PRINT BlankStr$
LOCATE 1, LC + 1
PRINT Info$
LOCATE 1, RC - LEN(ProgName$)
COLOR 14

```

```

PRINT ProgName$
COLOR 7, 0
END SUB

```

```

SUB ShowInput

```

```

' Проверка правильности ввода

```

```

CLS

```

```

ShowInfo ("Проверьте правильность ввода")

```

```

LOCATE 3: COLOR 14, 0

```

```

PRINT "Характеристики отклика znom="; ZNOM; "zmax="; ZMAX;
"zmin="; ZMIN

```

```

PRINT

```

```

PRINT

```

```

"

```

```

"

```

```

COLOR 10, 0

```

```

PRINT "Результаты экспертизы использованные в расчете"

```

```

PRINT

```

```

"

```

```

"

```

```

PRINT "|Фактор |Обознач.| xnom | xmax | xmin | r1 | r2 |"

```

```

PRINT "+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+"

```

```

FOR i = 1 TO N

```

```

PRINT USING "| ## "; i;

```

```

PRINT "|"; X$(i); "("; XI(i); ")";

```

```

PRINT USING " |###.## "; XNOM(i);

```

```

PRINT USING "| ####.## "; XMAX(i);

```

```

PRINT USING "| +###.## "; XMIN(i);

```

```

PRINT USING "| +#.## "; R1(i);

```

```

PRINT USING "| +#.## |"; R2(i)

```

```

NEXT i

```

```

END SUB

```

```

SUB ShowResult

```

```

' Вывод результатов на дисплей

```

```

CLS

```

```

PRINT "- - - - -"

```

PRINT " В программу подставляют константы из приведённых ниже таблиц."

PRINT "Характеристики отклика znom="; ZNOM; "zmax="; ZMAX; "zmin="; ZMIN; ""

```
PRINT "-----"
PRINT "Результаты экспертизы использованные в расчете"
PRINT "+-----+-----+-----+-----+-----+-----+"
PRINT "|Фактор |Обознач.| xnom | xmax | xmin | r1 | r2 |"
PRINT "+-----+-----+-----+-----+-----+-----+"
FOR i = 1 TO N
PRINT USING "| ## "; i;
PRINT "|"; X$(i); "("; XI(i); ")";
PRINT USING " | ###.## "; XNOM(i);
PRINT USING "| ####.## "; XMAX(i);
PRINT USING "| +###.## "; XMIN(i);
PRINT , USING "| +#.## "; R1(i);
PRINT USING "| +#.## | "; R2(i)
NEXT i
```

PRINT "Результаты расчёта коэффициентов модели"

```
PRINT
"-----"
PRINT
PRINT "|Фактор |Обознач.| c1 | c2 | f1 | f2 |"
PRINT "+-----+-----+-----+-----+-----+"
FOR i = 1 TO N
PRINT USING "| ## "; i;
PRINT "|"; X$(i); "("; XI(i); ")";
PRINT USING " | #.### "; c1(i);
PRINT USING " | #.### "; c2(i);
PRINT USING " | #.### "; f1(i);
PRINT USING " | #.### "; f2(i)
NEXT i
```

```
PRINT
```

```
"
```

```
"
```

```
PRINT
```

```
PRINT "Масштабные коэффициенты: K1=";
```

```
PRINT USING " ###.###"; K1;
```

```
PRINT " K2=";
```

```
PRINT USING " ###.###"; K2
```

```
PRINT " Если необходимо отпечатать пример выберите 4 "
```

```
PRINT " Чтобы повторить пример для других значений факторов  
выберите 3 "
```

```
END SUB
```

```
SUB StartScreen
```

```
  SHARED LC, RC, ProgName$, CopyRight$, BlankStr$
```

```
  DIM L$(12)
```

```
  CLS
```

```
  LOCATE 1, LC
```

```
  COLOR 15, 1
```

```
  PRINT BlankStr$
```

```
  LOCATE 1, LC + 1
```

```
  PRINT CopyRight$
```

```
  LOCATE 1, RC - LEN(ProgName$)
```

```
  COLOR 14
```

```
  PRINT ProgName$
```

```
  COLOR 12, 0
```

```
  L$(1) = "Программа реализует модель позволяющую оценить откло-  
нения показателя"
```

```
  L$(2) = "качества, например, вкуса продукта, при изменении  
факторов "
```

```
  L$(3) = "технологического процесса. Модель реализуется на основе  
результатов"
```

```
  L$(4) = "опроса экспертов или анкетирования. "
```

```

L$(5) = "По результатам исследования объекта и обработки
экспертных оценок "
L$(6) = "необходимо подготовить следующие данные: "
L$(7) = "Число факторов, влияние которых рассматривалось при
экспертизе. "
L$(8) = "Номинальное значение  $z_{nom}$  и предельные значения
 $z_{max}, z_{min}$  отклика."
L$(9) = "Буквенное обозначение и индекс  $i$ -го фактора на
параметрической схеме"
L$(10) = "Номинальные  $x_{nom}(i)$  и предельные  $x_{max}(i), x_{min}(i)$  значе-
ния факторов."
L$(11) = "Рейтинг  $r1(i)$  при положительном отклонении каждого
фактора. "
L$(12) = "Рейтинг  $r2(i)$  при отрицательном отклонении каждого
фактора."
FOR k = 1 TO 12
  Row = k + 2
  Col = 41 - LEN(L$(k)) / 2
  LOCATE Row, Col
  PRINT L$(k)
NEXT k
LOCATE CSRLIN + 1, LC
COLOR 15, 1
PRINT BlankStr$;
LOCATE CSRLIN, LC + 1
PRINT "Нажмите любую клавишу"
COLOR 7, 0
WHILE INKEY$ = "": WEND
END SUB

```

Ввод исходных данных в программу «*RTMOD*» осуществляется в режиме диалога. После проверки правильности ввода по программе осуществляется расчет коэффициентов рейтинговой модели.

В процессе расчета от рейтинговых оценок $R1(i)$ и $R2(i)$ программа переходит к коэффициентам веса $d1(i)$, $d2(i)$, определяющим долю участия каждого фактора $dX(i)$ в суммарном воздействии на положительное отклонение отклика $Z(a)$ – коэффициент веса $d1(i)$ и от-

рицательное отклонение $Z(a)$ – коэффициент веса $d2(i)$. Переход к коэффициентам веса реализуется исходя из условия, что сумма коэффициентов веса всех параметров, вызывающих отклонение отклика $Z(a)$ в одну сторону, не должна превышать единицы.

Для перехода к коэффициентам веса определяется сумма всех положительных ранговых оценок:

$$A1 = \sum_{i=1}^N (+r1(i)) + \sum_{i=1}^N (+r2(i)),$$

и сумма всех отрицательных ранговых оценок:

$$B1 = \sum_{i=1}^N (-r1(i)) + \sum_{i=1}^N (-r2(i)).$$

При суммировании учитывается, что отклонение параметра $dX(i)$ не может быть одновременно положительным и отрицательным. При совпадении знаков $R1(i)$ и $R2(i)$ в сумму $A1$ или $B1$ добавляется наибольшее по абсолютной величине численное значение ранга.

Численные значения коэффициентов веса

$$d1(i) = \frac{r1(i)}{A1}, \text{ если } r1(i) > 0,$$

$$d1(i) = \frac{r1(i)}{B1}, \text{ если } r1(i) < 0,$$

$$d2(i) = \frac{r2(i)}{A1}, \text{ если } r2(i) > 0,$$

$$d2(i) = \frac{r2(i)}{B1}, \text{ если } r2(i) < 0.$$

Следующим этапом реализации модели является определение масштабных коэффициентов $K1$ и $K2$. Масштабные коэффициенты позволяют перевести оценки степени влияния факторов из размерности «ранг» (для «Z1» и «Z2») в размерность «балл» (для «с1», «с2», «f1(i)», «f2(i)»). Масштабные коэффициенты определяются исходя из условия, что совокупное максимальное воздействие всех параметров

$X(i)$, вызывающих положительное отклонение отклика, не должно приводить к численному значению отклика более $Z_{max}(a)$ (для $K1$), а совокупное действие факторов, вызывающих отрицательное отклонение отклика, не должно приводить к значению отклика менее $Z_{min}(a)$ (для $K2$).

Затем определяются предельные отклонения параметров $X(i)$ в положительную сторону

$$E1(u) = \frac{X_{max}(i) - X_{nom}(i)}{X_{max}(i) - X_{min}(i)}$$

и в отрицательную сторону

$$E2(u) = \frac{X_{nom}(i) - X_{min}(i)}{X_{max}(i) - X_{min}(i)}.$$

Потом вычисляется положительный эффект воздействия на отклик $Z(a)$ при максимальном отклонении каждого параметра $X(i)$:

$$\begin{aligned} a2(i) &= a1(i) \cdot hX1(i), \text{ если } r1(i) > 0, r2(i) < 0, \\ a2(i) &= a2(i) \cdot hX2(i), \text{ если } r1(i) < 0, r2(i) > 0, \\ a2(i) &= \max[a1(i) \cdot hX1(i), a2(i) \cdot hX2(i)], \text{ если } r1(i) > 0, r2(i) > 0. \end{aligned}$$

Тогда суммарное положительное воздействие всех параметров

$$A2 = \sum_{i=1}^N a2(i).$$

Далее вычисляется отрицательный эффект воздействия на отклик при максимальном отклонении параметра $X(i)$

$$\begin{aligned} b2(i) &= a1(i) \cdot hX1(i), \text{ если } r1(i) > 0, r2(i) < 0, \\ b2(i) &= a2(i) \cdot hX2(i), \text{ если } r1(i) < 0, r2(i) > 0, \\ b2(i) &= \min[a1(i) \cdot hX1(i), a2(i) \cdot hX2(i)], \text{ если } r1(i) > 0, r2(i) > 0. \end{aligned}$$

Тогда суммарное отрицательное воздействие всех параметров:

$$B2 = \sum_{i=1}^N b2(i).$$

Численные значения масштабных коэффициентов:

– для положительного отклонения отклика

$$K1 = \frac{Z_{max}(a) - Z_{nom}(a)}{A2},$$

– для отрицательного отклонения

$$K2 = \frac{Z_{nom}(a) - Z_{min}(a)}{B2}.$$

Значения коэффициентов веса $d1(i)$, $d2(i)$ и масштабных коэффициентов $K1$ и $K2$ используются в качестве коэффициентов рейтинговой модели.

Ожидаемое численное значение отклика рассчитывается по уравнению:

$$Z(a) = Z_{nom}(a) + Z1(a) - Z2(a),$$

где в свою очередь поправка $Z1(a)$, увеличивающая численное значение отклика при отклонении параметров, определяется следующим образом:

$$Z1(a) = K1 \cdot \sum (c1(i) \cdot e1(i) + c2(i) \cdot e2(i)),$$

а поправка, уменьшающая численное значение отклика при отклонении параметров:

$$Z2(a) = K2 \cdot \sum (f1(i) \cdot e1(i) + f2(i) \cdot e2(i)).$$

В этих уравнениях:

– при отклонении параметров в положительную сторону ($dX(i) > 0$):

$$e1(i) = dX(i) \text{ и } e2(i) = 0;$$

– при отклонении параметров в отрицательную сторону ($dX(i) < 0$):

$$e1(i) = 0 \text{ и } e2(i) = dX(i).$$

Численные значения коэффициентов веса $c1(i)$, $c2(i)$, $f1(i)$, $f2(i)$ в расчетных уравнениях формируются в зависимости от направления воздействия $X(i)$ на отклик $Z(a)$, что определяется знаком и ранговой оценки $R1(i)$ и $R2(i)$.

Если отклик по оценкам экспертов отклоняется в сторону $Z_{max}(a)$ при отклонениях $X(i)$ как в положительную ($Z1(i) > 0$), так и в отрицательную ($Z2(i) > 0$) сторону, то в расчетное уравнение подставляют:

$$c1(i) = d1(i), c2(i) = d2(i), f1(i), f2(i) = 0.$$

Если отклонения $X(i)$ в любом направлении вызывают снижение отклика в сторону $Z_{min}(a)$ и при этом оценки $R1(i) < 0$ и $R2(i) < 0$, то необходимо принять:

$$c1(i) = d(i), c2(i) = d2(i), f1(i) = 0, f2(i) = 0.$$

Если ранговые оценки $R1(i) > 0$ и $R2(i) < 0$, то назначаются коэффициенты:

$$c1(i) = d1(i), c2(i) = 0, f1(i) = 0, f2(i) = d2(i).$$

Если ранговые оценки $R1(i) > 0$ и $R2(i) > 0$, то необходимо принять:

$$c1(i) = 0, c2(i) = d2(i), f1(i) = d1(i), f2(i) = 0.$$

Результаты, полученные при использовании программы «RTMOD», сводятся в две таблицы (рис. 15). В первой таблице условия использования рейтинговой модели при оптимизационных расчетах, во второй таблице коэффициенты уравнений моделирующих отклонения показателя качества от номинала при изменении возмущений. Таблицы, сформированные программой «RTMOD» выводятся командой «печать в файл» в книгу «REZULTAT» (см. «Алгоритм» в прил. 2) в виде текстового файла «PR» (пример см. на рис. 15), где преобразуется в файл «Excel» и сохраняется в папке «ТАБЛ».

Таблица 7.7

Результаты расчета рейтинговой модели.

Условия использования рейтинговой модели.

Характеристики отклика $z_{nom} = 3$, $z_{max} = 5$, $z_{min} = 1$

Результаты экспертизы, использованные в расчете

Фактор	Обознач.	x_{nom}	x_{max}	x_{min}	Рейтинг 1	Рейтинг 2
1	$y(1)$	40,00	60,00	20,00	3,42	-3,20
2	$x(1,1)$	3,50	6,00	2,70	2,60	-1,60
3	$x(2,1)$	7,00	8,20	1,50	-2,01	1,97
4	$y(2)$	20,00	60,00	10,00	4,02	-1,82
5	$x(1,2)$	30,00	40,00	10,00	2,59	-1,58
6	$x(2,2)$	5,50	8,20	4,70	-1,69	2,00
7	$y(4)$	8,00	10,00	2,00	-3,43	3,22
8	$x(1,4)$	20,00	30,00	10,00	-1,61	1,40

Результаты расчета коэффициентов модели

Фактор	Обознач.	d	c_2	f_1	f_2
1	$y(1)$	0,161	0,000	0,000	0,189
2	$x(1,1)$	0,123	0,000	0,000	0,094
3	$x(2,1)$	0,000	0,093	0,119	0,000
4	$y(2)$	0,189	0,000	0,000	0,107
5	$x(1,2)$	0,122	0,000	0,000	0,093
6	$x(2,2)$	0,000	0,094	0,100	0,000
7	$y(4)$	0,000	0,152	0,202	0,000
8	$x(1,4)$	0,000	0,066	0,095	0,000

Масштабные коэффициенты: $K_1 = 3,278$, $K_2 = 5,032$

Рис. 15. Результаты расчета рейтинговой модели

3.6. Практическое использование рейтинговой модели

В разделе 6 при формулировании оптимизационной задачи в операции приготовления смеси мороженого отмечена целесообразность введения в расчётную модель комплекса критерия минимиза-

ции отклонения вкуса (см. уравнения 6 и 7 в разделе 2). Для реализации этой задачи необходимо:

– в комплект уравнений оптимизационной модели (см. программу «*MOR*» в прил. 6) включить регрессионные уравнения с коэффициентами из табл. 7.7. (рис. 15)

$$Z(a) = Z_{nom}(a) + Z1(a) - Z2(a);$$

$$Z1(a) = K1 \sum_{i=1}^N (c1(i) \cdot e1(i) + c2(i) \cdot e2(i));$$

$$Z2(a) = K2 \sum_{i=1}^N (f1(i) \cdot e1(i) + f2(i) \cdot e2(i));$$

– информационное обеспечение оптимизационной задачи (см. рис. 8) откорректировать с учётом требований таблицы 7.7;

– ввести в математическое обеспечение программы «*MOR*» дополнительный критерий оптимизации.

Программа «*RTMOD*» предусматривает возможность проверки реализованной модели на конкретных примерах. Проверка производится вводом в программу в режиме диалога различных сочетаний численных значений возмущений $X(i)$ (в пределах ограничений диапазона варьирования) и анализа ожидаемых рассчитанных программой значений $Z(a)$.

3.7. Задание к лабораторной или самостоятельной работе по теме «Разработка рейтинговой модели на основе экспертных оценок»

Содержание лабораторной работы

1. По структурно-параметрической схеме, изучаемой студентом, технологической операции, выбирается один показатель качества $Z(a)$, отклонения которого от нормы целесообразно оценивать в баллах или процентах (например, вкус, цвет, структурно-механические характеристики, характеристики экологической безопасности и т.п.).

2. Анализируется параметрическая схема для выбранной технологической операции аналогично рис. 6 в разделе 2.

3. Разрабатывается форма и содержание опросных карт экспертов по типу представленных на листах табл. 7.1 прил. 7 [http://de.ifmo.ru/--books/appendix_1-10.zip] и карт таблицы информационного обеспечения – табл. 7.2 в прил. 7.

4. Определяется группа экспертов в 5 человек, каждому из которых вручается комплект карт для ответа на поставленные в картах вопросы.

5. Составляется сводная таблица оценок (рангов), предоставленных всеми экспертами по типу табл. 7.3 прил. 7.

6. Производится обработка результатов опроса с использованием программы «*EXPERT*». После запуска программа «*EXPERT*» работает в режиме диалога. В программу вводятся исходные данные из табл. 7.2 и 7.3 прил. 7. Данные вводятся отдельными массивами для расчета ранговых оценок значений степени влияния $R1(i)$, затем $R2(i)$.

7. Производится проверка достоверности результатов экспертизы по каждому обрабатываемому массиву. Анализируются численные значения степени согласованности мнений экспертов по каждому фактору (последний столбец в табл. 7.4 прил. 2). Если $R(i) < 0,3$ то экспертизу по i -му фактору следует повторить. Анализируются расчетные значения критерия Пирсона (нижняя строка в табл. 7.4 прил. 2). Расчетное значение критерия сравнивают с предельным значением критерия, найденным по табл. 7.5 прил. 7. Если $\chi^2 \leq \chi_T^2$, то по данному массиву экспертизу необходимо провести заново.

8. Составляется сводная таблица результатов экспертизы технологической операции по типу табл. 7.6 прил. 7.

9. Рассчитываются коэффициенты рейтинговой модели с использованием программы «*RTMOD*». Программа работает в режиме диалога. В программу вводятся данные из табл. 7.6 прил. 7.

10. Производится проверка результатов функционирования реализованной рейтинговой модели. Не закрывая программу «*RTMOD*», необходимо заказать операцию «Пример», ввести в режиме диалога численные значения влияющих факторов $X(i)$, выбранные произвольным образом из диапазона варьирования. Результаты проверки оформляют в виде документа (см. рис. 15) и анализируют.

Отчет по работе должен содержать:

- краткое описание технологической операции с обоснованием необходимости разработки рейтинговой модели;
- параметрическую схему исследуемой операции, анализ диапазонов варьирования отклика (табл. 7.2 прил.7), формулировку вопросов к экспертам;
- комплект опросных карт (табл. 7.1 прил. 7), заполненных экспертами и сводных таблицы оценок (табл. 7.3 прил. 7);
- распечатки результатов обработки оценок экспертов по отдельным массивам программой «*EXPERT*» (табл. 7.4 прил. 2);
- результаты проверки достоверности экспертизы, вывод о целесообразности дальнейшего использования результатов;
- сводную таблицу результатов экспертизы технологической операции (табл. 7.6 прил. 7);
- результаты расчета коэффициентов рейтинговой модели программой «*RTMOD*» в виде распечатки (рис. 7.7 прил. 2);
- результаты проверки функционирования реализованной рейтинговой модели для 1-2 вариантов сочетаний возмущений $X(i)$ и анализ этих результатов.

4. СИСТЕМЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ СТАБИЛЬНОСТИ РАБОТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ (СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА) СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА

4.1. Постановка задачи

Контроль показателей качества в настроенном (налаженном), управляемом технологическом процессе необходим для того, чтобы своевременно определить тенденцию разладки или изменения характеристик оборудования, приводящих к недопустимым изменениям показателей качества $X(i)$ на выходе технологического комплекса.

Разладка и особенно процесс изменения характеристик оборудования происходят, как правило, постепенно, на больших промежутках времени, поэтому целесообразно организовать контроль изменения показателей качества периодически за планируемый период выпуска продукции, сохранять и анализировать результат. В учебном пособии [2] рассматривается процедура выбора методов и технических средств контроля параметров при создании комплексных систем автоматизированного управления технологическим процессом.

Процедура измерения большинства показателей качества пищевых продуктов трудоемка, требует большого количества последовательных измерений одного и того же показателя. Измерение численных значений контролируемого показателя качества $X(i)$ в выборке (пробе) может осуществляться приборами, например, автоматический контроль каждой упаковки на выходе фасовочного автомата. В этом случае результат измерения $X(i)$ получают обработкой и вычислением статистических характеристик в j – ой выборке. Если используются лабораторные или органолептические методы измерения (оценки) показателя $X(i)$, то в систему управления качеством вводятся статистические методы обработки для получения численного результата качественных характеристик в j – ой выборке. С целью снижения трудоемкости контроля за состоянием технологического комплекса применяют автоматизированные статистические системы контроля и управления качеством [10]. Эти системы позволяют планировать управление при периодическом контроле показателей качества в ограниченной выборке из потока продукта.

Метод статистического контроля качества предусматривает определение оптимальной периодичности контроля данного показателя качества $X(i)$, объем выборки, числа контролируемых партий готового продукта отбираемых в одной серии, цикле измерений показателя, а также допустимых пределов отклонения числового значения $X(i)$, в объеме выборки (характеристики неоднородности продукции) и допустимого расхождения измеренного значения $X(i)$, между последовательными выборками (характеристика разладки процесса).

Для создания системы контроля и управления качеством необходимо анализировать технологический комплекс как объект управления, а также обозначить ожидаемые изменения производственных ситуаций на комплексе.

Характеристики объекта управления могут быть получены, например, по методу пассивного эксперимента (см. раздел 1). В разд. 1 на рис. 2 и 3 определены показатели качества $X(1) = tp2$ – температура туши на выходе и $X(2) = m2$ – потеря массы туши при дефростации.

При анализе объекта определяют:

Численные значения контролируемого показателя качества. Например, номинальное значение параметра в начале процедуры регулирования качества, *nom* $X(i)$.

При статистическом методе обработки результата измерения – среднее арифметическое значение в выборке, *nom* САЗ.

Максимальное допустимое значение параметра (верхняя граница браковки), *max* $X(i)$.

Минимальное допустимое значение параметра (нижняя граница браковки), *min* $X(i)$.

Номинальное значение среднеквадратичного отклонения в выборке (характеристика разброса результатов измерения в выборке), *nom* СКО.

В качестве ожидаемых изменений производственных ситуаций необходимо обозначить:

– планируемый объем выпуска продукции, например, в единицах продукции, ТЗ;

– характеристики ожидаемых направлений значения разладки (увеличение значения, САЗ в последующих выборках, « + » или уменьшение САЗ, « - »);

Система периодического измерения $X(i)$ и статистической обработки результатов измерения контролируемого параметра в каждой выборке позволяет оценить смещение уровня наладки технологического процесса, например, по изменению средних арифметических значений дозируемой массы в последовательных выборках при фазовке. Система также позволяет оценить устойчивость технологического процесса, например, по изменению средних арифметических значений дозируемой массы в последовательных выборках, а также оценить устойчивость технологического процесса (состояния оборудования) по изменению рассеивания значений контролируемого параметра в выборке, например, по изменению численных значений СКО в выборках.

Процедуру периодического отбора выборки из технологического потока, измерения численного значения параметра $X(i)$ в каждом экземпляре продукта в выборке, статистическую обработку результатов с целью определения численных значений САЗ и СКО в выборке необходимо осуществлять на больших промежутках времени. Возникает необходимость создания компьютерной программы для контроля изменения состояния технологического комплекса на больших промежутках времени – **мониторинга** [11].

В программе мониторинга предусмотрено накопление в памяти численных значений САЗ (j) и СКО (j) в отдельных выборках с привязкой к реальному времени или к объему выпущенной продукции. По данным накопленным в памяти программой, могут быть оформлены графики – карты контроля качества предусмотренные ГОСТ [4]. В программе мониторинга предусмотрен модуль, анализирующий отклонения САЗ(j) и СКО(j) в течении всего времени выпуска заданного объема продукции и формирующий сообщения о появлении в выборке единиц бракованной продукции, $izmX(i) > maxX(i)$ или $izmX(i) < minX(i)$, а также сообщение о выходе численных значений САЗ и СКО за установленные в программе пределы уставок регулирования $izmCA3(j) > maxCA3$ или $izmCA3(j) < minCA3$, $izmCKO(j) > ustCKO$.

В программу обработки может быть включен модуль регулирования качества. Этот модуль обеспечивает расчет управляющих воздействий на технологический процесс, например, численное значение управляющего воздействия для корректировки настройки дозирующего устройства, при смещении среднего значения массы (САЗ) за

установленные пределы, или сообщить номер партии продукта, при выпуске которой численное значение рассеивания контролируемого параметра в выборке (СКО) достигнет предельного значения ($ustСКО$), при этом необходимо остановить технологический процесс.

Программный модуль «Регулирование качества» может быть реализован для заданного исходными данными технологического процесса, по рекомендациям ГОСТа, определенного как процедура статистического регулирования с применением различных вариантов математической обработки измерительной информации.

В данной работе могут использоваться:

– метод контроля среднеарифметического значения контролируемого параметра в выборке в сочетании с контролем среднеквадратичного отклонения от номинала измеренных значений в выборке (САЗ-СКО);

– метод контроля медианы рассчитанной по совокупности значений контролируемого параметра в выборке в сочетании с контролем размаха в совокупности численных значений параметра в выборке ($MED-R$);

– метод контроля кумулятивной суммы выборочного среднего, рассчитанной по совокупности измерений параметра в выборке в сочетании с контролем СКО в выборке (КСВС-СКО).

В программе статистического регулирования конкретного технологического комплекса реализуется один из названных методов в зависимости от следующих условий:

– интенсивности разладки (быстро протекающий или вялотекущий процесс);

– направления разладки (в сторону увеличения значения $X(i)$ в выборке, «+», в сторону снижения $X(i)$, «-», или в двух направлениях, «+» и «-»);

– при распределении измеренных значений $X(i)$ в выборке отличающемся от нормального (например, при равномерном распределении численных значений $X(i)$ в выборке).

В программе «Регулирование качества при использовании метода контроля средних арифметических значений (САЗ) вычисляется

$$X(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X(i, j), \quad (9)$$

где $X(i, j)$ – i -ый результат измерения параметра в j -й выборке, n – объем выборки (количество наблюдений величины X в j -й момент времени).

Метод вычисления медиан (МЕД) предусматривает определение выборочной медианы $\bar{X}(j)$ по совокупности измерений $X(i, j)$, где $i = 1 \dots n$ – число значений контролируемого параметра в выборке (в момент времени j). Для определения $\bar{X}(j)$ результаты измерения в j -й выборке располагают в виде возрастающего ряда. При четном числе членов ряда медиану определяют как среднее арифметическое двух значений, расположенных в середине ряда. При нечетном числе членов медианой является значение измеряемого параметра, находящееся в центре ряда.

Вычисление значения $X(j)$ и $\bar{X}(j)$ используют для оценки смещения настройки технологического процесса от нормативного значения $Q1$ в каждой выборке. При смещении вычисленного значения $X(j)$ или $\bar{X}(j)$ за установленные пределы регулирования вырабатывается и реализуется управляющее воздействие $Y2$ для корректировки настройки процесса.

Метод вычисления кумулятивных сумм для выборочного среднего (КСВС) предусматривает вычисление $CA3 - X(j)$ в выборке j , вычисление отклонения $X(j)$ за установленные границы регулирования (первая граница) для каждой выборки и суммирования этих отклонений в последовательных выборках по формуле

$$Km = \sum_{j=1}^m (X(j) - K), \quad (10)$$

где Km – КСВС – сумма переходов через первую границу за m выборок, K – установленная первая граница регулирования (D_7 или D_8).

Суммирование $CA3$ производится при отклонениях в последовательных выборках только в одну сторону, например, отклонения за верхний предел. При смене знака отклонений значения Km сбрасываются, и начинается накопление новой КСВС. Для формирования управляющих воздействий по результатам вычисления КСВС устанавливается предельное значение суммы КСВС, $D9$. При переходе численного значения Km за границе регулирования $Km > D9$, выраба-

тывается и реализуется управляющее воздействие Y_2 для корректировки процесса.

Метод вычисления средних квадратических отклонений (СКО) предусматривает вычисление

$$S(j) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X(i, j) - X_0)^2}, \quad (11)$$

где $S(j)$ – выборочное СКО в j -ой выборке, $X(i, j)$ – i -й результат измерения контролируемого параметра в j -й выборке, X_0 – среднее значение контролируемого параметра (может совпадать с нормативным значением), n – объем выборки.

Метод вычисления размахов (R) предусматривает определение

$$R(j) = X(j)max - X(j)min, \quad (12)$$

где $R(j)$ – числовое значение размаха в j -ой выборке, $X(j)max$, $X(j)min$ – максимальное и минимальное значения контролируемого параметра в j -ой выборке.

Вычисленные значения $S(j)$ и $R(j)$ используют для оценки разброса (рассеивания) значений контролируемой величины. При выходе вычисленных значений $S(j)$ и $R(j)$ за установленный предел формируется управляющий сигнал для остановки процесса и ремонта оборудования.

На рис. 16 представлена схема контрольной карты для размещения результатов измерения контролируемого показателя качества за период выпуска планируемого объема продукции.

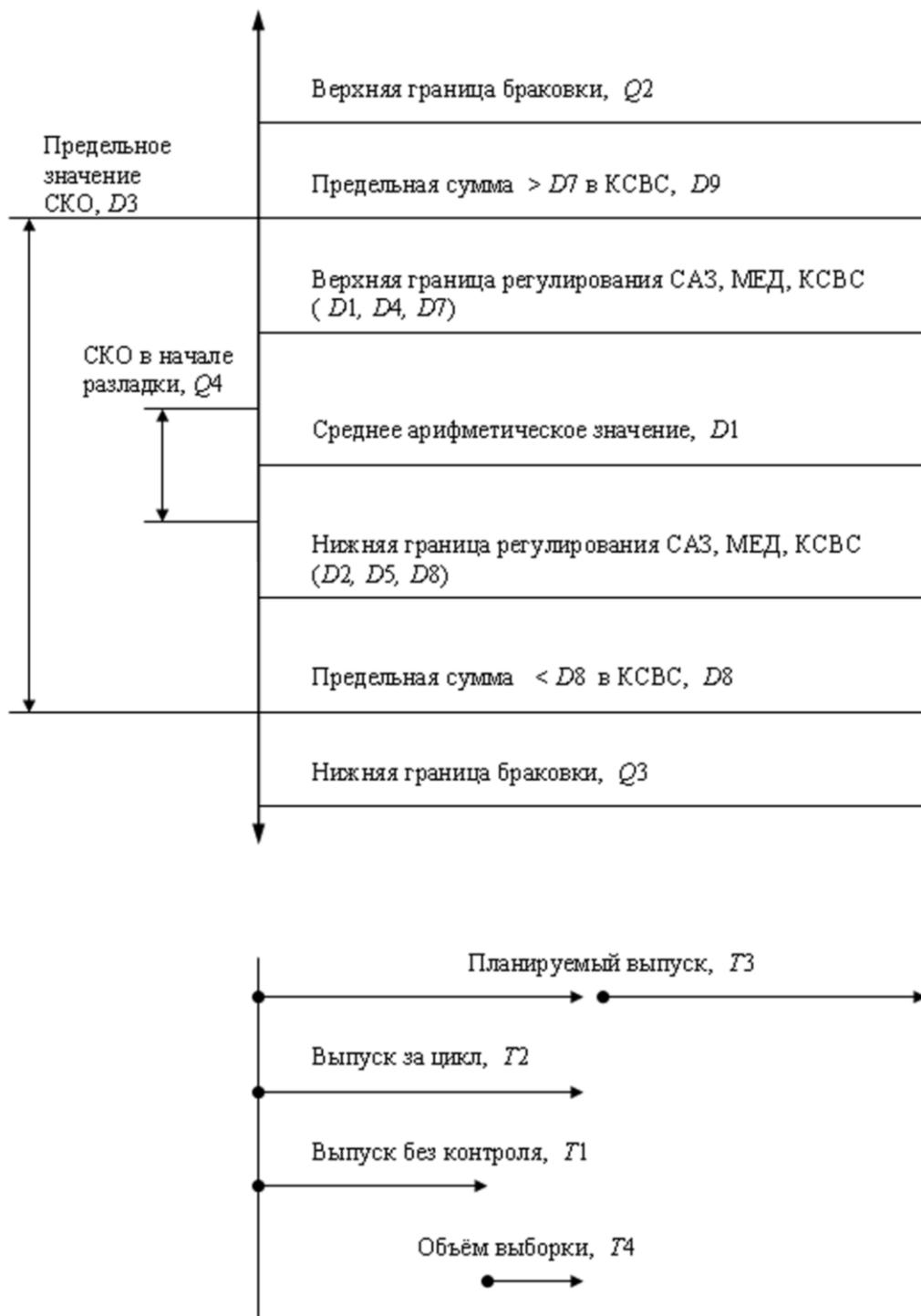


Рис. 16. Схема контрольной карты

На рис. 16 и в последующих описаниях программного обеспечения используются следующие обозначения:

$Q1$ – нормативное значение контролируемого параметра САЗ в начале работы;

$Q2$, $Q3$ – верхнее и нижнее браковочные значения контролируемого параметра;

$Q4$ – нормативное значение СКО контролируемого параметра в начале работы;

$T1$ – объем выпуска продукции до начала контроля (периодичность контроля);

$T2 = T1 + T4$ – объем выпущенной за цикл продукции;

$D1$, $D2$ – верхнее и нижнее значения границ регулирования при контроле среднего арифметического значения (САЗ);

$D3$ – граница регулирования при контроле СКО;

$D4$, $D5$ – верхнее и нижнее значения границ регулирования при контроле медианы (МЕД);

$D6$ – граница регулирования при контроле размаха R ;

$D7$, $D8$ – верхнее и нижнее значения первой границы регулирования при контроле кумулятивной суммы выборочного среднего (КСВС) (начало приращений при переходе границы, сброс при обратном переходе);

$D9$ – предельное значение накопленной суммы при контроле КСВС (формирование управляющего воздействия);

$Q5$, $Q6$ – коэффициенты интенсивности разладки по каналам положительного и отрицательного воздействия на объект.

4.2. Программный стенд «REGCASH» для расчёта ожидаемых изменений показателя качества и выбора параметров настройки статистического регулирования показателя

Для практического изучения автоматизированных систем мониторинга состояния технологического комплекса по изменению во времени контролируемого показателя качества и организации статистического регулирования качества на больших промежутках времени в данной работе используется программный шаблон (лабораторный стенд) «REGCASH», размещенный в прил. 8 [http://de.ifmo.ru/--books/appendix_1-10.zip].

С текстом программы «*REGCASH*» можно ознакомиться, вызвав на экран файл «*REGCASH*» из прил.8.

Программный шаблон вызывается и работает в среде компилятора «*QBasic*». По тексту программы размещены комментарии, поясняющие назначение основных блоков программы.

Программа «*REGCASH*» включает блок имитации изменения численного значения контролируемого показателя качества в течение всего времени выпуска продукции. При этом имитируются случайные отклонения показателя («помеха») по нормальному закону распределения. Также имитируется разладка характеристик стабильности процесса (САЗ и СКО).

Направления и интенсивность разладки задаются в форме коэффициентов разладки $Q5$ и $Q6$ при запуске имитатора по запросу программы. Численные значения $Q5$ и $Q6$ оценивают при анализе установленных для объекта периодов безотказной работы.

В блоке обработки результатов измерений показателя качества предусмотрены контроль перехода границ браковки продукции и границ настройки уставок для каждого заказанного по программе статистического закона регулирования качества.

В блоках формирования регулирующих воздействий реализованы операции математической обработки результатов контроля показателя качества с целью определения управляющих воздействий YZ на технологический комплекс для настройки, а так же команд на остановку процесса.

В программе предусмотрен вывод результатов на экран вывода QB , а так же по запросу программы в файл «*REZULTAT*» (см. «Алгоритм» в прил.2 [http://de.ifmo.ru/--books/appendix_1-10.zip]) для оформления графиков.

4.3. Содержание лабораторной работы «Исследование устойчивости режимов работы автоматизированного комплекса и возможности статистического регулирования качества в процессе работы»

Варианты заданий оформлены в виде рабочих таблиц, которые можно распечатать из прил. 8 [http://de.ifmo.ru/--books/appendix_1-10.zip], таблицы 8.1, 8.2 и 8.3.

В таблицах 8.1, 8.2, 8.3 (рис. 17–19) технологического комплекса в качестве примера используются результаты аппаратурно-технологического анализа комплекса дефростации мясных туш (см. раздел 2, рис. 1).

В графе таблиц «эталонный вариант» занесены номинальные параметры состояния объекта при начале работы.

При выполнении работы необходимо для объекта управления с определенными начальными (номинальными) технологическими характеристиками и заданной (ожидаемой) интенсивностью разладки комплекса, выбрать и проверить на модели, имитирующей работу комплекса, оптимальные параметры настройки программы статистического регулирования качества при изменении производственных ситуаций на объекте.

Таблица 8.1

Вариант задания	В1	Базовый вариант		Увеличение плана выпуска		«Старение»	
		Без регулятора	Рег. САЗ	Без регулятора	Рег. САЗ	Без регулятора	Рег. САЗ
Контролируемые показатели	X						
Нормативное значение	Q1	2	2	2	2	2	2
Верхняя граница браковки	Q2	3	3	3	3	3	3
Нижняя граница браковки	Q3	1	1	1	1	1	1
Нормативное значение СКО	Q4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8	0,8
Параметры разладки							
Положительное смещение, +	Q5	100	100	100	100	100	100
Отрицательное смещение, -	Q6	100	100	100	100	100	100
Условия работы объекта							
План выпуска продукции	T3	300	300	500	500	500	500
Периодичность контроля	T1	10	10	20	20	20	20
Объём выборки	T4	5	5	5	5	5	5
Метод регулирования			САЗ		САЗ		САЗ
Настройка регулирования							
Верхняя граница САЗ	D1		2,8				
Нижняя граница САЗ	D2		1,4				
Предельное СКО	D3		0,9				
Коэффициент усиления	Q9		5				
Результаты моделирования							
График мониторинга	Рис.	42	43				
Выпуск продукции	O1						
Брак	O2						
Управляющее воздействие	Y2						
Max / Min X(i), I=1 ...T3	max/min						
СКО при остановке процесса	N2						

Рис. 17. Таблица 8.1

Таблица 8.2

Вариант задания	B2	Базовый вариант		Увеличение плана выпуска		«Старение»	
		Без рег-ра	Рег. МЕД	Без рег-ра	Рег. МЕД	Без рег-ра	Рег. МЕД
Контролируемые показатели	X						
Нормативное значение	Q1	2	2	2	2	2	2
Верхняя граница браковки	Q2	3	3	3	3	3	3
Нижняя граница браковки	Q3	1	1	1	1	1	1
Нормативное значение СКО	Q4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8	0,8
Параметры разладки							
Положительное смещение , +	Q5	100	100	100	100	100	100
Отрицательное смещение , -	Q6	100	100	100	100	100	100
Условия работы объекта							
План выпуска продукции	T3	500	500	800	800	800	900
Периодичность контроля	T1	20	20	35	35	35	35
Объём выборки	T4	5	5	5	5	5	5
Метод регулирования			МЕД		МЕД		МЕД
Настройка регулирования							
Верхняя граница МЕД	D4		2,8		2,6		2,8
Нижняя граница МЕД	D5		1,4		1,4		1,4
Предельное значение R	D6		0,4		0,4		1,4
Коэффициент усиления	Q8		5		5		5
Результаты моделирования							
График мониторинга	Рис.	44	45				
Выпуск продукции	O1						
Брак	O2						
Управляющее воздействие	Y2						
Max / Min X(i), I= 1 ... T3	max/min						
R при остановке процесса	N2						

Рис. 18. Таблица 8.2

Таблица 8.3

Вариант задания	ВЗ	Базовый вариант		Увеличение плана выпуска		«Старение»	
		Без рег-ра	Рег. КСВС	Без рег-ра	Рег. КСВС	Без рег-ра	Рег. КСВС
Контролируемые показатели	X						
Нормативное значение	Q1	2	2	2	2	2	2
Верхняя граница браковки	Q2	3	3	3	3	3	3
Нижняя граница браковки	Q3	1	1	1	1	1	1
Нормативное значение СКО	Q4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8	0,8
Параметры разладки							
Положительное смещение , +	Q5	100	100	100	100	100	100
Отрицательное смещение , -	Q6	100	100	100	100	100	100
Условия работы объекта							
План выпуска продукции	T3	500	500	800	800	800	800
Периодичность контроля	T1	20	20	35	35	35	35
Объём выборки	T4	5	5	5	5	5	5
Метод регулирования			КСВС		КСВС		КСВС
Настройка регулирования							
Верхняя граница КСВС	D7		2,3				
Нижняя граница КСВС	D8		1,5				
Предельная сумма КСВС	D9		0,2		0,2		0,2
Предельное СКО	D3		0,9				
Коэффициент усиления	Q7		1				
Результаты моделирования							
График мониторинга	Рис.	42	43				
Выпуск продукции	O1						
Брак	O2						
Управляющее воздействие	Y2						
Max / Min X(i), I=1 ... T3	max/min						
СКО при остановке процесса	N2						

Рис. 19. Таблица 8.3

По каждому варианту задания предусматривается поэтапное использование программы «*REGCASH*».

Этап 1.

Исследования на модели режима мониторинга – изменения численных значений контролируемого показателя качества $X(i)$ за период планируемого выпуска продукции, $TЗ$.

Для формирования графика мониторинга изменения $X(i)$ в программу «*REGCASH*» вводятся исходные характеристики объекта, заданные коэффициенты интенсивности разладки $Q5$ и $Q6$ и направление разладки для эталонного варианта (см. таблицу задания). Программа запускается в режиме «без регулятора», $H2=0$. При запуске программы вводится запрос $d=1$ на печать результатов в текстовый файл «*cash*» папки «*ГРАФ*» книги «*РЕЗУЛЬТАТ*» для оформления графика (см. в прил. 2 «*АЛГОРИТМ*» [http://de.ifmo.ru/--books/appendix_1-10.zip]).

Оформленные графики результата сохраняются как листы «*Excel*» в папке «*ГРАФ*».

На рис. 20 представлен пример оформления через папку «*РЕЗУЛЬТАТ*» графика мониторинга для эталонного режима по варианту $B1$ (см. табл. 8.1).

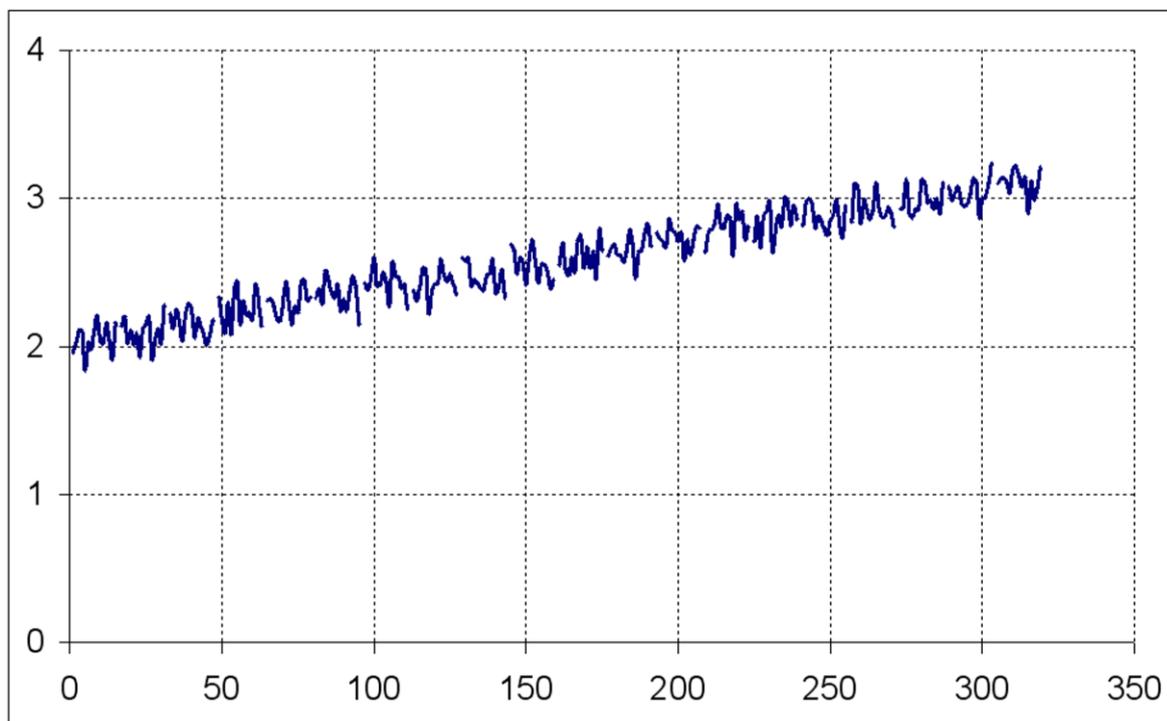


Рис. 20. Моделирование работы базового варианта объекта без регулятора

На рис. 21 – пример графика мониторинга для эталонного режима по варианту В2 (см. табл. 8.2).

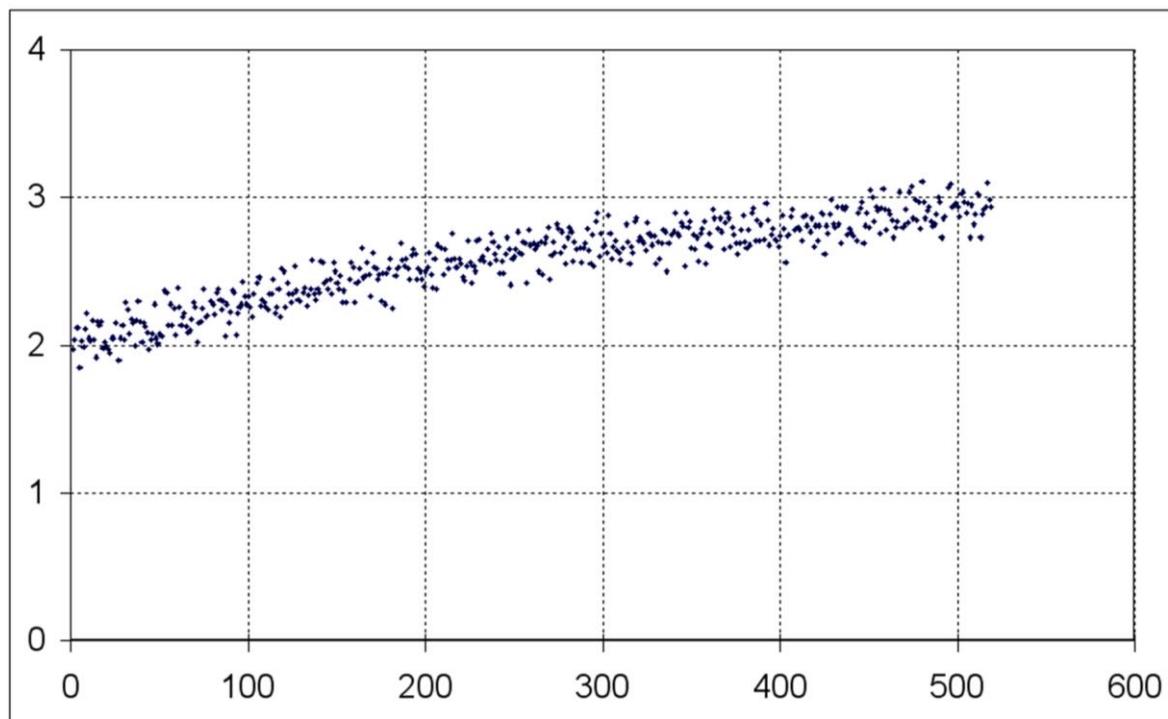


Рис. 21. Моделирование работы базового варианта объекта без регулятора

По графику и сообщениям на экране вывода QV определяют момент перехода через границу блокировки продукции, количество брака за период $TЗ$ и диапазон отклонения показателя качества от номинала. Результаты анализа заносят в соответствующие графы таблицы задания. В соответствии с заданием исследование мониторинга, кроме эталонного варианта, проводят для указанных изменений производственных ситуаций на объекте при изменении плана выпуска продукции $TЗ$ и при «старении» технологического комплекса (увеличение нормативного значения СКО, $Q4$). Результаты записывают в столбцы «без регулятора» таблиц 8.1, 8.2 и 8.3.

Этап 2.

Исследования на модели «*REGCACH*» режима статистического регулирования качества – удержание в заданных пределах

показателя $X(i)$ с использованием одного из законов. В таблице заданий по каждому закону представлен эталонный вариант настройки для одного из начальных состояний технологического комплекса.

При выполнении задания в программе «*REGCACH*» вызывается модуль, формирующий заданный закон:

САЗ-СКО- « $H2=0$ »;
МЕД- R - « $H2=1$ »;
КСВС- СКО - « $H2=2$ ».

По запросу программы вводятся численные значения параметров эталонного варианта задания.

Программа запускается. После завершения вычислений на экране вывода QB – таблица имитации изменения контролируемого параметра $X(i)$ за весь период выпуска продукции $T3$, а также численные значения интенсивности управляющих воздействий на объект $Y2$, реализованных программой при имитации работы контура регулирования для эталонного варианта задания.

Полученные результаты по запросу программы ($d=1$) выводятся на печать в файл «*сach*» папки «*REZULTAT*», где оформляется (см. прил. 2 «Алгоритм») график изменения показателя качества $X(i)$, а также управляющего воздействия $Y2$ в течение времени выпуска $T3$.

На рис. 22 – пример графика для эталонного режима работы объекта при регулировании по закону САЗ-СКО. На рис. 23 и 24 – примеры графиков других законов.

Результаты записывают в соответствующие столбцы табл. 8.1, 8.2 и 8.3.

Рекомендуется, используя эталонный вариант состояния объекта, оценить на модели влияние на результат изменений основных параметров настройки контура статистического регулирования. Эти изменения могут быть предложены при выдаче индивидуальных заданий.

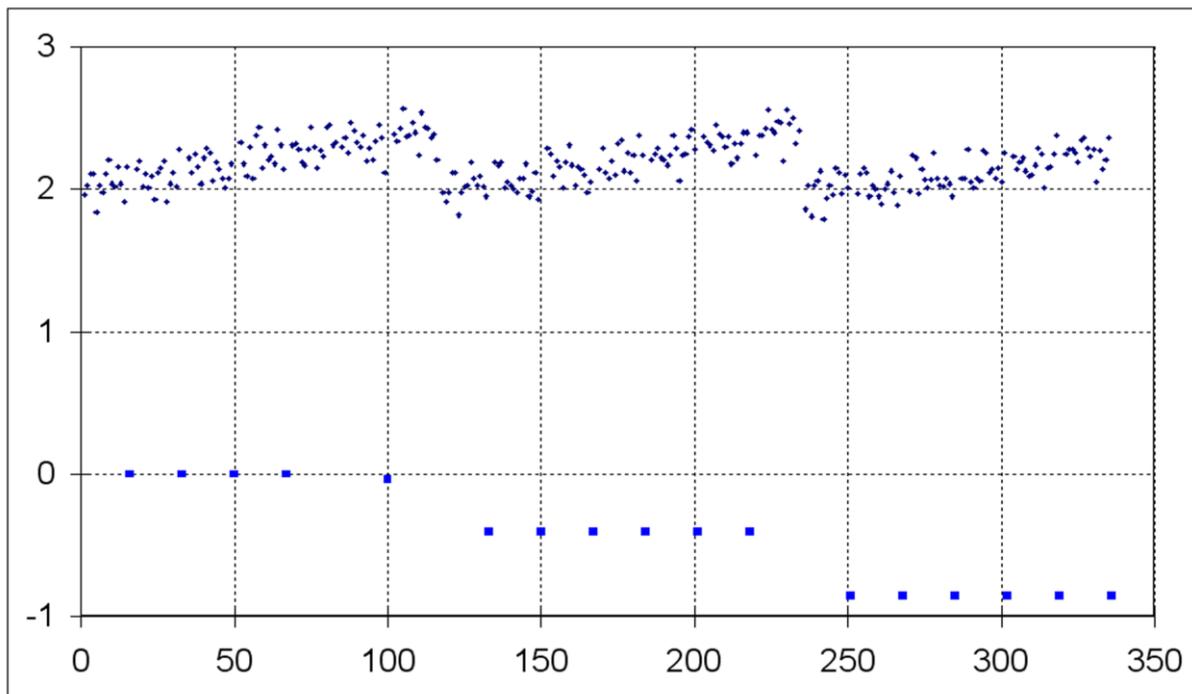


Рис. 22. Моделирование работы регулятора САЗ-СКО при управлении базовым вариантом режима объекта

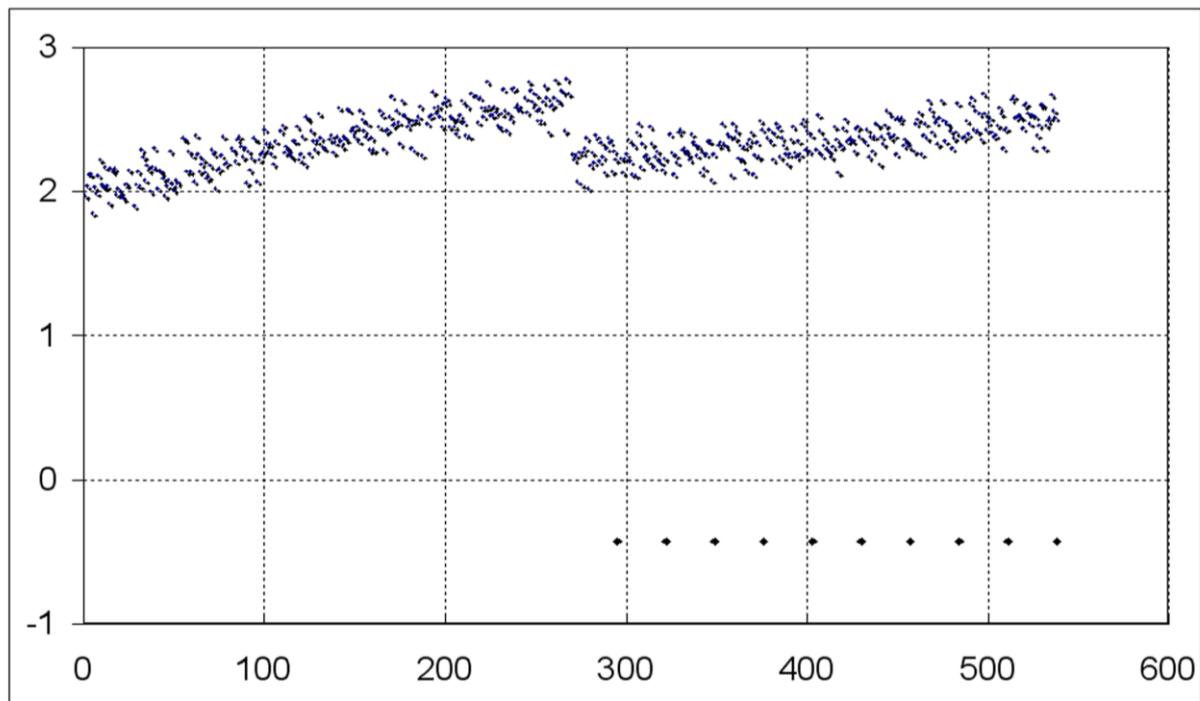


Рис. 23. Моделирование работы регулятора МЕД - R при управлении

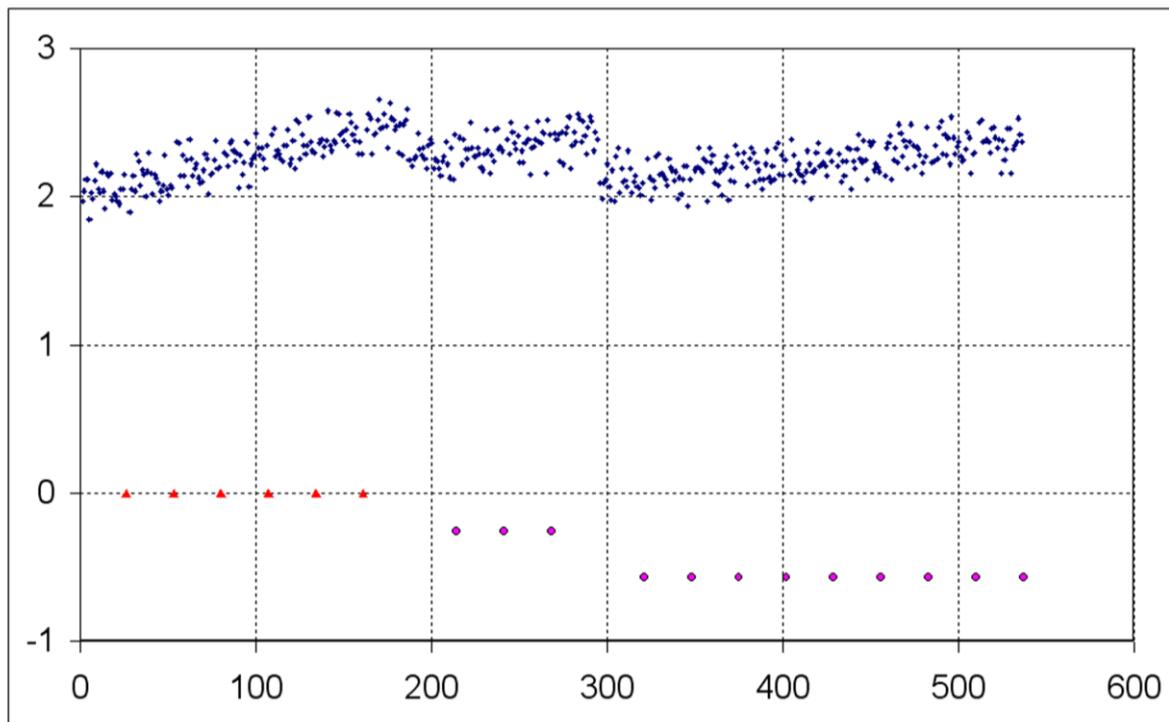


Рис. 24. Моделирование работы регулятора КСВС - СКО при управлении базовым вариантом режима объекта

Аналогичным способом проводится проверка работы заданной системы статистического регулирования при указанных в задании изменениях производственных ситуаций на объекте (изменения $T3$ и $Q4$).

Анализируя график изменения контролируемого параметра $X(i)$, принимают решение о необходимости корректировки параметров настройки контура регулирования. Вносят изменения в «REGCACH» и проверяют результат, запуская соответствующий модуль.

Содержание отчета

Отчет оформляется по форме таблицы задания (прил. 8 [http://de.ifmo.ru/--books/appendix_1-10.zip], табл. 8.1, 8.2 и 8.3). В таблицу вносят все проверенные на программе «REGCACH» варианты режимов работы объекта. В таблице указывают начальные характеристики и результаты, полученные при модельных испытаниях. К таблицам прилагаются рисунки по типу рис. 20 ÷ 24.

5. АППАРАТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ С ЦЕЛЬЮ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНО-ЛОГИЧЕСКИХ И УПРАВЛЯЮЩИХ МОДУЛЕЙ АСУТК. ПРИВЯЗКА ОПЕРАЦИЙ УПРАВЛЕНИЯ К ТЕКУЩЕМУ ВРЕМЕНИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

5.1. Общие положения

В объём задач автоматизированного управления технологическим комплексом входят задачи реализации операций запуска / отключения отдельных видов оборудования, изменения и поддержания режимов работы оборудования, периодических операций контроля изменяющихся параметров, формирование предупредительной и аварийной сигнализации, формирование временных промежутков.

В комплексных системах автоматизации алгоритм выполнения таких задач и привязка их к реальному времени технологического процесса может быть оформлен в виде структурной схемы с использованием символьных обозначений по ГОСТ 19.701-90 «ЕСПД. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Обозначения условные и правила выполнения» [12]. Подготовленная структурная схема реализуется с использованием языка программирования контроллера [13], [14], либо в виде встроенных в управляющую ЭВМ программ [15]. Аппаратурно-параметрический анализ технологического комплекса для реализации программно – логических задач в АСУТК начинается с формирования технологической схемы операций преобразования сырья в продукт и оборудования входящих в комплекс и параметрического анализа номенклатуры и численных значений диапазона варьирования входных и выходных переменных для каждого звена в схеме.

На рис. 25 в качестве примера для анализа представлена технологическая схема комплекса камеры периодического действия для термообработки варёных колбас [3]. На рис. 26 приведен пример одного из способов оформления результатов анализа – циклограмма и комментарии к ней. На циклограмме схематично показана привязка всех операций контроля, управления, а также формируемых временных промежутков к реальному времени технологического цикла. В комментариях к циклограмме, необходимое для управления информационное обеспечение.

5.2. Анализ объекта

На рис. 25 представлена технологическая схема термокамеры [16]. На схеме обозначены.

Контейнеры 1, в которых размещена партия заготовок колбас, подаются на вход камеры. Оператор, управляющий режимами работы, получает информацию К1 о характеристиках партии. На основании этих характеристик выбирается программа обработки данной партии. Оператор подает команду на загрузку партии. Программное устройство загрузки 2 осуществляет загрузку и размещение в объеме камеры 13 партии контейнеров 11, подлежащих обработке. Сигнал о готовности камеры к работе К2 поступает при закрытии двери 14. Запускается программа, формирующая технологические операции термообработки данной партии.

В объеме камеры варки реализуются операции:

- операция «подсушка»;
- операция «обжарка»;
- операция «варка»;
- операция «охлаждение».

При реализации этих операций по программе осуществляется управление:

- подачей пара для увлажнения воздуха в объеме камеры 3;
- сбросом воздуха из объема камеры 4;
- подачей дыма в объем камеры 5;
- включением вентилятора, обеспечивающего циркуляцию воздуха через объем продукта 6;
- подачей атмосферного воздуха в объем камеры 7;
- через регулятор РТ подачей энергоносителя (пара) 8 в воздухонагреватель 12 для поддержания заданной по программе температуры воздуха в камере.

При реализации операций термообработки по программе осуществляется также контроль:

- температуры воздуха на входе в камеру из подогревателя К9;
- температуры внутри контрольного колбасного батона К7;
- влажности воздуха в объеме камеры К3, К5.

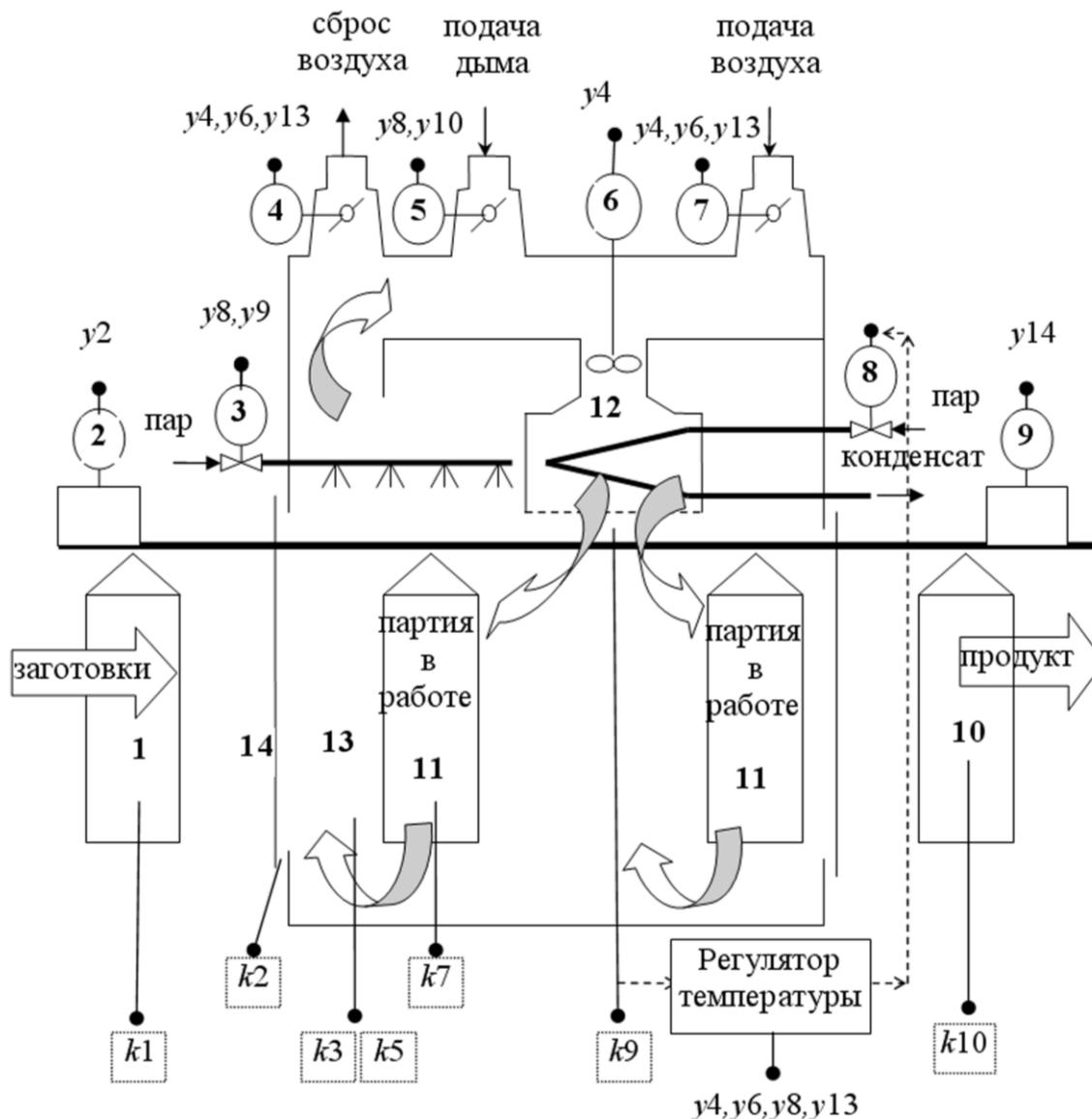


Рис. 25. Технологическая схема камеры периодического действия для термообработки колбас:

1 – контейнеры с партией заготовок колбас; 2 – программное устройство загрузки; 3 – канал подачи пара; 4 – канал сброса воздуха; 5 – канал подачи дыма; 6 – канал управления вентилятором; 7 – канал управления подачей атмосферного воздуха; 8 – регулятор подачи пара; 9 – программное устройство выгрузки; 10 – контейнеры с готовым продуктом; 11 – контейнеры с заготовками; 12 – воздухонагреватель; 13 – камера термообработки; 14 – дверь в камеру термообработки

При реализации программы термообработки запускается таймер, контролирующий временные промежутки:

- продолжительность операции «обжарка» τ_0 ;
- продолжительность цикла подачи дыма в объем камеры τ_d ;
- предельное значение продолжительности режима «варка» τ_B .

Сигнал завершения программы реализации операций термообработки поступает от измерителя температуры воздуха в камере К9 (снижение температуры до значения, при котором можно начать разгрузку). По этому сигналу оператор запускает программное устройство разгрузки 9, и контейнеры с готовым продуктом 10 выводятся из камеры 13.

Предусмотрено прерывание программы и перевод системы в операторный режим управления, если продолжительность режима «варка» превысит допустимую величину.

Периодически с целью контроля качества продукции и мониторинга состояния оборудования из партии готового продукта 10 делают выборку и проводят оценку показателей качества готового продукта К10.

5.3. Оформление циклограммы

На рис. 26 представлена циклограмма, на которой последовательность реализации операций контроля и управления при обработке партии колбас. Масштаб по оси времени циклограммы условный.

Технологический цикл термообработки партии колбас начинается с контрольной операции К1 определения характеристик загруженной партии сырья (код изготавливаемой колбасы, код оболочки, масса партии и др.) Продолжительность этой операции Δt_1 , выполняемой в основном операторным методом, может составлять от нескольких десятком минут до нескольких часов. В соответствии с характеристиками партии из банка данных выбирается и запускается операция управления У1 – программа, формирующая режимы обработки данной партии. Выбор кода программы термообработки данной партии может осуществляться автоматически (после ввода в систему управления информации о характеристиках сырья), либо код задается оператором.

Запускается программа загрузки контейнеров с колбасными заготовками и размещения их в объеме термокамеры – операция управления У2. Операция загрузки завершается закрытием дверей камеры. Этот момент контролируется по сигналу от конечного выключателя КВ1, установленного на двери (контрольная операция К2).

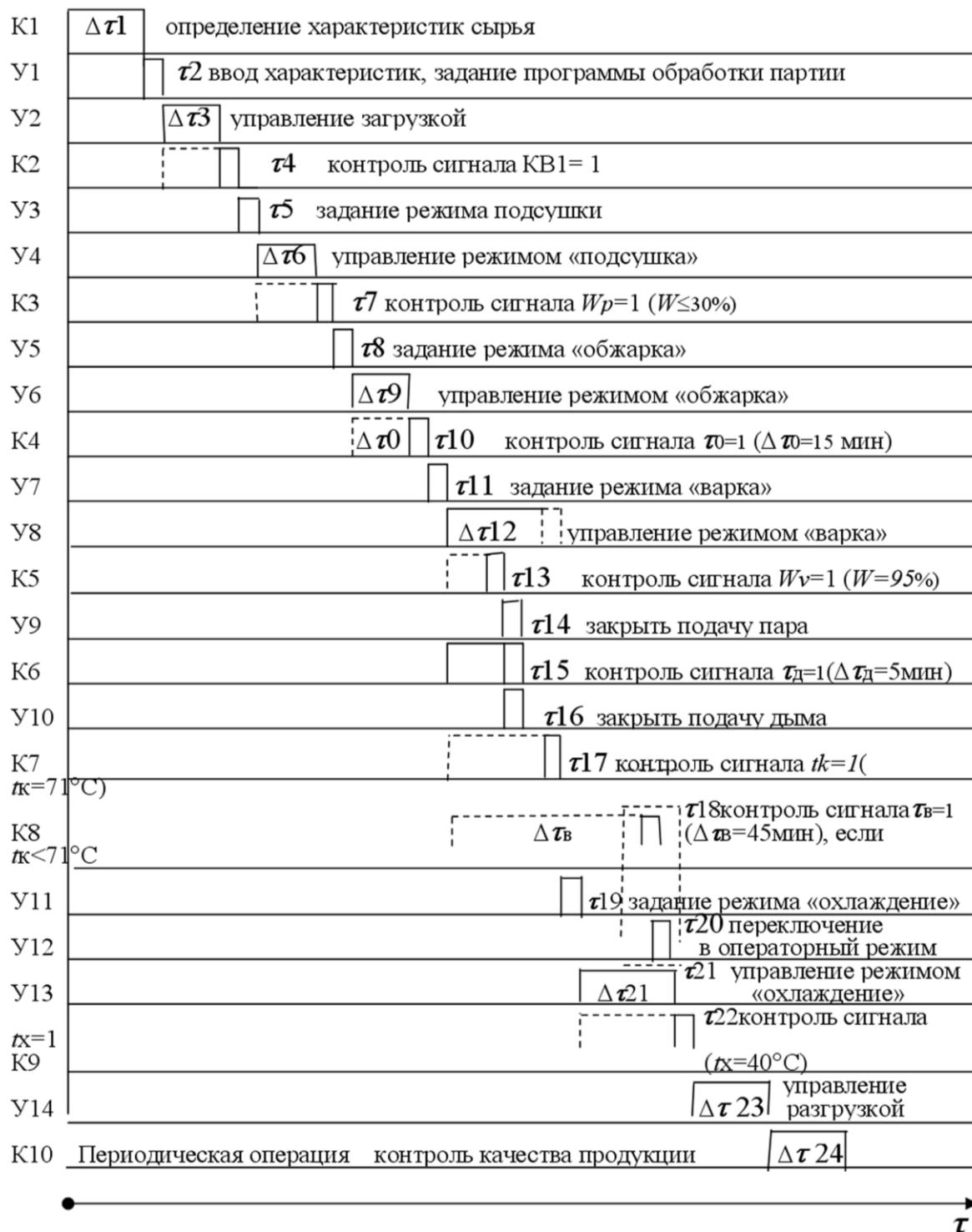


Рис. 26. Циклограмма реализации операции контроля и управления при термообработке партии вареных колбас в камере периодического действия

Из программы, запущенной на позиции У1, извлекаются команды (уставки), формирующие режим подсушки, необходимый для загруженной партии сырья (операция управления У3).

Технические средства автоматизации камеры реализуют программу режима подсушки – удаления излишней влаги из воздушной среды (управляющая операция У4). Шиберы на воздухоподаче и вентиляторы, обеспечивающие циркуляцию воздуха, включаются в режим вентиляции камеры наружным нагретым в воздухоподогревателе до температуры t_p «сухим» воздухом. Влажный воздух из объема камеры сбрасывается в атмосферу. В течение всего времени операции включен регулятор температуры воздуха на выходе из воздухонагревателя, который поддерживает температуру воздуха на входе в камеру вблизи значения $t_p=85-95$ °С. Уставка регулятору выбирается по программе У1, например, из условий термостойкости колбасной оболочки. Одновременно контролируется изменение влажности воздуха в объеме камеры до значения, например, $W_p < 30$ % .

По сигналу $W_p=1$ (контрольная операция К3) из программы У1 извлекаются команды, формирующие режим обжарки для загруженной партии сырья (операция управления У5).

Технические средства автоматизации камеры переводят оборудование камеры в режим интенсивной термообработки колбасных заготовок сухим горячим воздухом для образования «корочки» (операция управления У6). Воздушные потоки переключаются в режим замкнутой циркуляции через камеру и воздухонагреватель. Уставка регулятору температуры на выходе воздухонагревателя t_0 задается по программе У1, например, $t_0=95$ °С, для данного вида колбас и поддерживается в течение времени операции. При включении операции запускается счетчик таймера, контролирующей время от начала операции $\Delta\tau_{10}$. Продолжительность операции задается из программы У1, например, $\Delta\tau_{10}=15$ мин.

По истечении заданного времени таймер формирует сигнал $\tau_{10}=1$ (контрольная операция К4), который определяет переход к режиму «варка» – доведению партии колбас до потребительской готовности. Из программы У1 извлекаются команды, формирующие режим варки для загруженной партии сырья (операция управления У7). Технические средства автоматизации камеры переводят оборудование камеры в режим обработки заготовок дымо-влажно-воздушной смесью (операция управления У8). Воздушный поток циркулирует по

замкнутому кругу через камеру и воздухонагреватель. Температура на выходе нагревателя t_v поддерживается регулятором. Уставка регулятору, например, $t_v=85$ °С, задается из программы У1. При запуске режима варки в объем воздуха в камере подается перегретый пар. Одновременно контролируется изменение влажности воздушной среды в камере (контрольная операция К5). При достижении влажности, определенной для данной партии сырья программой У1, Например, $W_v=95$ %, по сигналу $W_v=1$ подача пара в камеру прекращается (операция управления У9).

При запуске режима варка открывается также шибер подачи дыма от дымогенератора в объем камеры. Одновременно запускается счетчик таймера, контролирующий время от начала операции $\Delta\tau_d$. Продолжительность подачи дыма, например, $\Delta\tau_d=5$ мин, определяется программой У1. По сигналу таймера $\tau_d=1$ (контрольная операция К6) шибер подачи дыма закрывается (операция управления У9).

В течение всего периода реализации режима «Варка» осуществляется контроль изменения температуры внутри контрольного колбасного батона t_k (контрольная операция К7). При достижении температуры кулинарной готовности, например, $t_k=71$ °С, формируется сигнал $t_k=1$, который определяет переход к режиму «охлаждение».

При запуске режима «варка» запускается также счетчик таймера, контролирующий время от начала операции $\Delta\tau_b$. Этот счетчик контролирует предельную продолжительность режима «варка», например, $\Delta\tau_b=45$ мин (контрольная операция К7). Численное значение $\Delta\tau_b$ задается программой У1 для данной партии. Сигнал от счетчика $\tau_b=1$ поступает, если за период времени $\Delta\tau_b$ температура внутри батона не достигнута. По этому сигналу формируется перевод системы управления данной камерой в режим операторного управления и информация оператору о таком переводе «Кулинарная готовность партии не достигнута» (операция управления У12). Последующие операции управления камерой в этом случае осуществляет оператор.

Режим «охлаждение» формируется по сигналу $t_k=1$ (контрольная операция К7), по командам, извлеченным из программы У1 (операция управления У11). Технические средства автоматизации переводят оборудование в режим вентиляции камеры наружным холодным воздухом. Нагретый воздух из камеры сбрасывается в атмосферу (операция управления У13).

В течение всего периода реализации режима контролируется температура воздуха в камере t_0 (контрольная операция К9). При снижении температуры воздуха до значения, определенного программой У1, например, до $t_x=40$ °С, формируется сигнал $t_x=1$. Выводится информация оператору «Партия готова» и технические средства автоматизации переводятся в режим «разгрузка» (операция управления У14).

Периодически по плану контроля качества продукции из выгружаемой партии берется выборка и проводятся измерения и оценка показателей качества продукта (контрольная операция К10).

Циклограмма (рис. 26), оформленная по результатам анализа технологической схемы объекта является основой для разработки алгоритма реализации программно-логической системы управления циклами работы термокамеры. Циклограмма преобразуется в структурную схему с использованием условных символьных обозначений алгоритмов, программ, операций получения информации и операций управления объектом. Символьные обозначения определены по ГОСТу 19.701- 90 (ИСО 5807- 85). В редакторе *MS Word Picture* содержатся шаблоны форм основных символьных обозначений по ГОСТу (см. «Рисование» – «Автофигуры» – «Блок схема»).

На рис. 27 представлены фрагменты структурной схемы управления комплексом термообработки колбас от включения в работу до начала операции «Варка», составленные на основе циклограммы рис. 26. В примере символьные обозначения операций управления и комментарии к ним в прил. 9 [http://de.ifmo.ru/--books/appendix_1-10.zip] (рис. 27) оформлены в виде шаблонов «СУКТК1» и «СУКТК2». При выполнении индивидуальных заданий, шаблоны корректируются и дополняются через меню «Рисование».

Звенья структурной схемы (рис. 27) реализуются в контроллере или управляющей ЭВМ программными файлами с использованием языка программирования технических средств. Так, звено 3 (рис. 24) реализуется в виде банка данных, связывающих введенные характеристики загруженной партии сырья (звено 2) с таблицей оптимальных численных значений уставок для оборудования для каждой операции процесса (программная оптимизация). Звенья типа 9, 10, 11 реализуют операцию опроса внешнего входного сигнала и формируют команды управления при выходе сигнала за пределы уставки (логическая операция). Звенья типа 18 (рис. 27) формируют задержку

реализации программы на время ($\delta\tau$) и счётчик текущего времени с контролем достижения уставки ($\tau > 10$).

На основании структурной схемы алгоритма управления объектом формируется управляющая программа. При этом используются языки программирования выбранных технических средств, например, контроллеров фирмы ОВЕН [14]. В прил. 9 предлагаются лабораторные работы, содержащие весь цикл разработки и реализации небольшой программно-логической системы для запуска компрессора.

5.4. Задания для самостоятельной работы

1. Продолжить разработку структурной схемы, рис. 27 для операций «Варка», «Охлаждение».

2. Разработать циклограмму и структурную схему для управления циклами работы комплекса дефростации мясного сырья, рис. 1.

3. Разработать циклограмму и структурную схему для управления циклами работы технологического комплекса, выбранного при выполнении задания по разделу 1.4.



Рис. 27. Структурная схема (Начало)

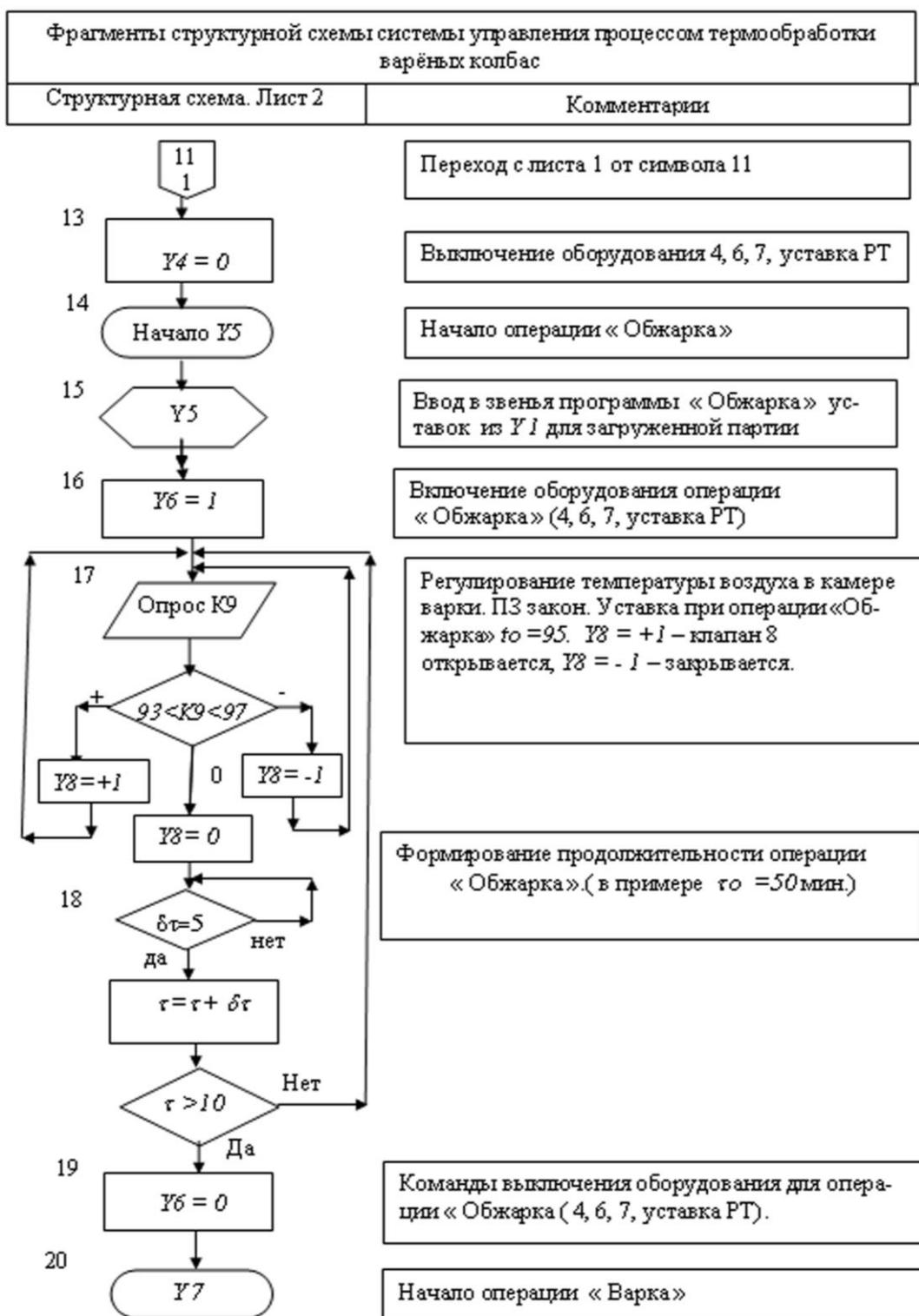


Рис. 27. Структурная схема (Окончание)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Мазуров В.М.** Автоматические регуляторы в системах управления и их настройка. Часть 1. Промышленные объекты. Компоненты и технологии. – 2003. http://www.kite.ru/articles/elcomp/2003_04_154.php.
2. Технологические процессы и производства / М.Б.Абугов, С.Е. Алёшичев, В.А. Балюбаш, Ю.Г. Стегаличев. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2013. – 93 с.
3. **Стегаличев Ю.Г. и др.** Расчет технологических режимов производства вареных колбас // Пищ. пром-сть. 1988. №4. С. 23–27.
4. ГОСТ Р 50779.41-96 (ИСО 7873-93). Статистические методы. Контрольные карты для арифметического среднего с предупреждающими границами. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 16 с.
5. Контроль и автоматизированное управление качеством продукции / С.Е. Алёшичев, М.Б. Абугов, В.А. Балюбаш, Ю.Г. Стегаличев. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. – 51 с.
6. Справочник по производству мороженого/ Ю.А. Оленев [и др.]. – М.: ДеЛи принт, 2004. – 798 с.
7. Бараненко А.В., Стегаличев Ю.Г., Калабадзе Б.Д. Оптимизация компонентного состава мороженого с плодово-ягодными наполнителями // Вестник международной академии холода. 2005. №4.
8. ГОСТ Р 52175–2003. Мороженное молочное, сливочное и пломбир. Технические условия (с Изменением №1). – введ. 2005-01-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 24 с.
9. Разработка и реализация модели на основе экспертных оценок / В.А. Балюбаш, Ю.Г. Стегаличев, С.Е. Алёшичев, М.Б. Абугов: Учеб.-метод. пособие. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2013. – 58 с.
10. **Клячкин В.Н.** Статистические методы в управлении качеством. Компьютерные технологии. – М.: Финансы и статистика, Инфра-М, 2009. – 304 с.
11. Холодильные склады и холодильные камеры. Системы контроля, мониторинга, управления ООО «Эйркул». http://www.coldstore.ru/sistemi_kontrolya_monitoringa_upravleniya.

12. ГОСТ 19.701-90 ЕСПД. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Условные обозначения и правила выполнения. – введ. 01.01.1992. – М.: Стандартинформ, 2005.

13. Процессы и аппараты пищевых производств : Учеб. для вузов / А.Н. Остриков, О.В. Абрамов, А.В. Логинов [и др.]; под ред. А.Н. Острикова. – СПб.: ГИОРД, 2012. – 616 с.

14. **Благовещенская М.М., Злобин Л.А.** Информационные технологии систем управления технологическими процессами. – М.: Высш. шк., 2005. – 768 с.

15. **Анашкин А.С., Кадыров Э.Д., Харазов В.Г.** Техническое и программное обеспечение распределенных систем управления. – СПб.: «П-2», 2004. – 368 с.

16. **Стегаличев Ю.Г., Балюбаш В.А., Замарашкина В.Н.** Технологические процессы пищевых производств: Учеб. пособие. – СПб.: Феникс, 2006. – 256 с.

СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	3
1. СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АВТОМАТИЗИРУЕМЫХ КОМПЛЕКСОВ, ХАРАКТЕРИСТИКИ КОТОРЫХ МОДЕЛИРУЮТСЯ В ВИДЕ УРАВНЕНИЙ МНОЖЕСТВЕННОЙ РЕГРЕССИИ.....	5
1.1. Структурно-параметрический анализ технологического комплекса.....	5
1.2. Программное обеспечение АРМ оператора комплекса дефростации.....	8
1.3. Статистический контроль качества работы комплекса	17
1.4. Задание на курсовую или самостоятельную работу «Подготовка программного обеспечения для создания АРМ многоканального технологического комплекса».....	19
2. ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ РАСЧЕТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ «ПРИГОТОВЛЕНИЕ СМЕСЕЙ ДЛЯ МОРОЖЕНОГО».....	21
2.1. Параметрический анализ объекта и математическое обеспечение процедуры расчета при приготовлении смеси для мороженого.....	21
2.2. Программный модуль для выполнения оптимизационных расчетов операции приготовления смеси для мороженого...	26
2.3. Алгоритм работы с программой «MOR».....	27
2.4. Лабораторные и самостоятельные работы по теме «Управление многоканальным технологическим комплексом с оптимизацией режимов работы по заданному критерию».....	33
3. РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЙТИНГОВОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК.....	34
3.1. Общие положения.....	34
3.2. Параметрический анализ. Подготовка и проведение экспертизы.....	35
3.3. Математическая обработка результатов экспертизы.....	41
3.4. Выбор вида математической модели.....	61

3.5. Реализация рейтинговой модели.....	62
3.6. Практическое использование рейтинговой модели.....	84
3.7. Задание к лабораторной или самостоятельной работе по теме «Разработка рейтинговой модели на основе экспертных оценок».....	85
4. СИСТЕМЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ СТАБИЛЬНОСТИ РАБОТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ (СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА) СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА	88
4.1. Постановка задачи.....	88
4.2. Программный стенд «REGSACH» для расчёта ожидаемых изменений показателя качества и выбора параметров настройки статистического регулирования показателя.....	95
4.3. Содержание лабораторной работы «Исследование устойчивости режимов работы автоматизированного комплекса и возможности статистического регулирования качества в процессе работы».....	97
5. АППАРАТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ С ЦЕЛЬЮ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНО-ЛОГИЧЕСКИХ И УПРАВЛЯЮЩИХ МОДУЛЕЙ АСУТК. ПРИВЯЗКА ОПЕРАЦИЙ УПРАВЛЕНИЯ К ТЕКУЩЕМУ ВРЕМЕНИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.....	106
5.1. Общие положения.....	106
5.2. Анализ объекта.....	107
5.3. Оформление циклограммы.....	109
5.4. Задания для самостоятельной работы.....	114
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	117

Алёшичев Сергей Евгеньевич
Балюбаш Виктор Александрович
Стегаличев Юрий Георгиевич

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
И МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОКАНАЛЬНЫХ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

Учебное пособие

Ответственный редактор
Т.Г. Смирнова

Компьютерная верстка
С.Е. Алёшичев

Дизайн обложки
Н.А. Потехина

*Печатается
в авторской редакции*

Подписано в печать 29.11.2016. Формат 60×84 1/16
Усл. печ. л. 7,21. Печ. л. 7,75. Уч.-изд. л. 7,5
Тираж 100 экз. Заказ № С 48

Университет ИТМО. 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49
ИИК ИХиБТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9