

МЕТОДИКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ВЫБОРУ ВИДА УПРАВЛЯЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПРАЛИНОВЫХ МАСС

Тарасюк В.П.

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
кафедра электронной техники
E-mail: vita@kita.dgtu.donetsk.ua

Abstract

Tarasyuk V.P. Method of acceptance of decisions on the choice of type of managing influence on the basis of expert estimations of technological process of preparation of pralyn masses. An algorithm which allowed to provide synchronous of work of structural elements of technological process of pastry production on the basis of knowledges and experience of experts is developed. Analysed descriptions of basic index of quality of the prepared products, the having a special purpose function of technological process control is formed. The algorithm of finding of mathematical models characterizing the technological process state by treatment of results of experiment taking into account technological limitations and estimation of adequacy of the got models is developed.

Общая постановка проблемы. Кондитерское производство является сегодня одним из важнейших составляющих пищевой промышленности, так как доля валового дохода кондитерских предприятий по оценкам некоторых экспертов составляет около 10 % всей прибыли региона. Анализ состояния автоматизации технологических процессов кондитерских производств показывает, что на действующих предприятиях из-за многомерности, больших объемов, нелинейности, многоканальности производственной информации отсутствуют эффективные интеллектуальные системы поддержки принятия решений операторов технологических процессов (ТП). Поэтому существует значительный потенциал повышения качества и выхода кондитерских изделий за счет автоматизации ТП, а именно на базе разработки гибридных экспертных систем управления ТП [1]. В этом направлении формулировки и решения основной задачи повышения производительности ТП приготовления пралиновых масс на базе гибридных экспертных систем с использованием экспертных оценок является весьма актуальным и значительно развивает теорию автоматизированных систем управления технологическими процессами.

Анализ публикаций и разработок по теме. Для решения проблемы предлагается подход, основанный на оперативной идентификации параметров объекта управления (ОУ) с последующим синтезом оптимального управления в пространстве состояний [2]. Он включает три основные этапа — идентификация коэффициентов дискретной модели ОУ на основе экспертных оценок с использованием метода наименьших квадратов [3], вычисление текущих значений переменных пространства состояний и синтез оптимального управления.

Постановка задач исследований. Для реализации поставленных задач необходимо разработать алгоритм, который позволит обеспечить синхронность работы структурных элементов технологического процесса кондитерского производства на основании формализованных знаний и опыта экспертов. Проанализировать характеристики основного показателя качества готовой продукции, сформировать целевую функцию управления технологическим процессом. Разработать алгоритм нахождения математических моделей, характеризующих состояние ТП путем обработки результатов эксперимента с учетом технологических ограничений и оценки адекватности полученных моделей.

Основной материал и результаты работы. Базовым технологическим процессом был выбран технологический процесс приготовления пралиновой смеси, как основной части произ-

водства пралиновых конфет. Пралине представляет собой тонко измельченную кондитерскую массу, в состав которой входят: жир, орехи, сахарная пудра и добавки.

Анализ технологии и техники производства на кондитерских предприятиях показал, что приготовление пралиновых конфет осуществляется по технологической схеме, укрупненно представленной на рис.1. Сравнительный анализ технологических параметров пралиновой массы (ПМ) на различных стадиях показал, что одним из путей решения проблемы получения ПМ заданного качества является обеспечение качества распределения компонентов при получении предварительной рецептурной смеси, ее конечной температуры и количества в ней смеси жиров.

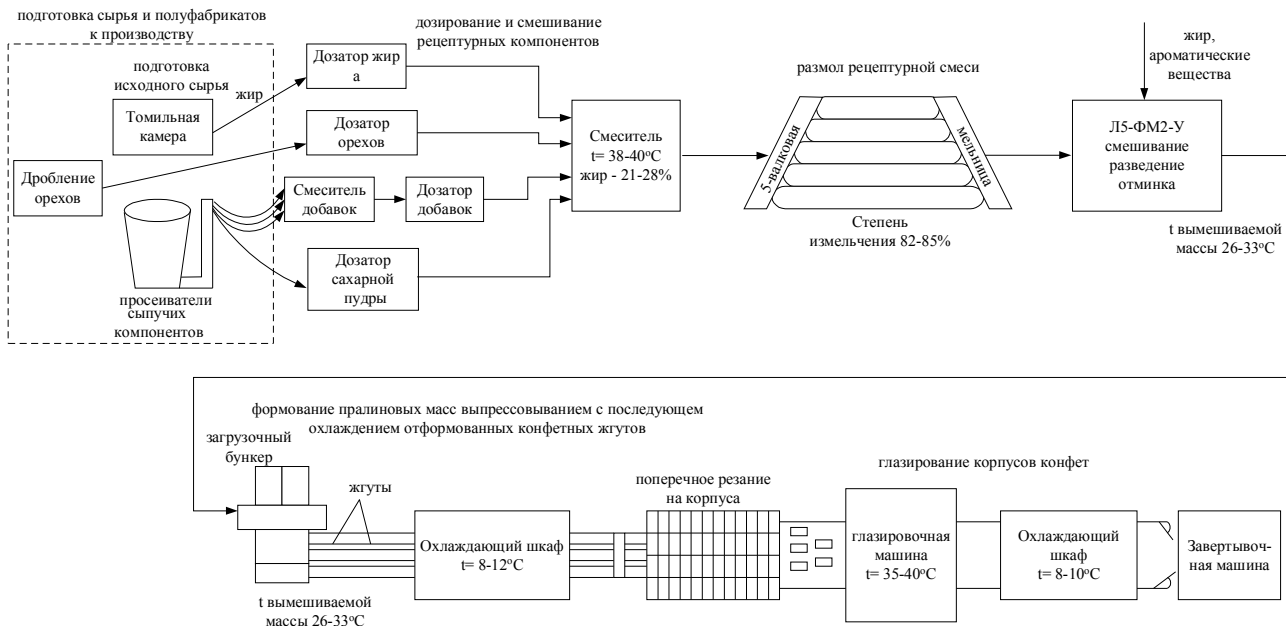


Рисунок 1 — Укрупненная схема технологической линии приготовления пралиновых конфет

В связи с этим было определено, что усовершенствование структуры автоматизированной системы управления технологическим процессом приготовления пралиновых масс возможно за счет включения в контур управления экспертных оценок, а именно за счет объединения всех функций обработки информации и управления в единой системе, с учетом автоматизации экспертных оценок [4].

Организация управления в АСУ ТП связана с необходимостью получения информации о ходе ТП и определения оптимального режима функционирования объекта, с реализацией найденных оптимальных управляющих воздействий [5]. Структура основных этапов в реализации управления ТП показана на рис. 2.

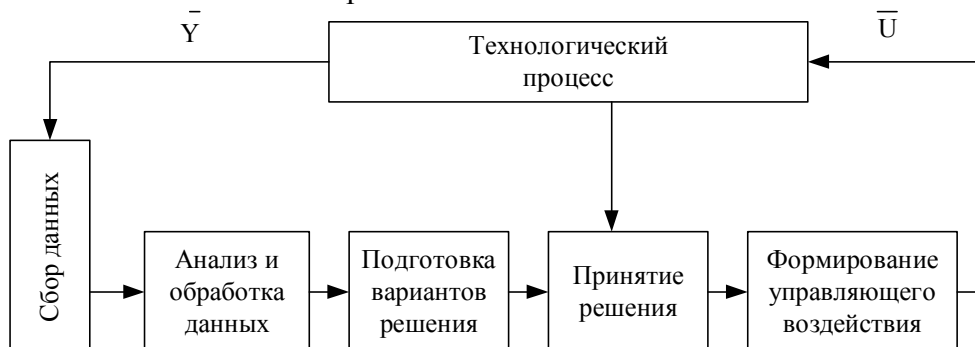


Рисунок 2 — Основные этапы в реализации управления объектом управления

Управління ТП приготування пралинових мас характеризується більшою розмірністю вектора інформації (Y) (текущее состояние ТП), різними методами її обробки і формами використання отриманих результатів. Обеспечення оптимального ходу процесу в АСУ ТП можливо за рахунок реалізації в системі множини взаємопов'язаних операцій: збір, зберігання, аналіз і переробка інформації про ТП; зняття показань, реєстрація або індикація одних змінних і регулювання інших, реалізація набору визначених рішень по управлінню (U).

Для забезпечення оперативності управління ТП приготування пралинових мас і адекватності математичної моделі управління якістю система управління повинна базуватися на принципах отримання статических і динамічних характеристик безпосередньо на об'єкті в процесі управління [6]. При створенні математичної моделі об'єкта розрізняють два основні етапи: визначення структури моделі, т.е. набору функціональних і позиційних обмежень, якісний вигляд останніх; розрахунок числових значень коефіцієнтів обмежень. Найбільш часто використовується підхід до побудови моделі об'єкта, що заключається в заданні структури в вигляді залежності вектора вихідних координат комплексу Y від вектора його вхідних координат X.

Розглянемо основні положення по формуванню структури статическої моделі з постійними відносними виходами для систем змішування. Існує система, в якій матеріальний потік X, що складається з компонентів x_1, x_2, \dots, x_n , переробляється (змішується) в потік $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$. Компоненти продуктів — це суміші з сировинних компонентів, що входять в рецептуру. Вихід продукту Y є

$$(a_{11}, \dots, a_{1n}) \begin{pmatrix} x_1 \\ \dots \\ x_n \end{pmatrix} = (1, \dots, 1) \begin{pmatrix} y_1 \\ \dots \\ y_n \end{pmatrix}. \tag{1}$$

Основною задачею отримання статических моделей, є пошук зв'язів між вхідними величинами X і вихідними Y, т.е. визначення коефіцієнтів зв'язів (матриці $A = |a_i|, i=1, \dots, m$). Виникає задача визначення структури і параметрів самоорганізуючої моделі розглянутого процесу [7]. В загальному вигляді вона має вигляд

$$Y(\bar{X}) = C_0 + \sum_{i=1}^k C_i f_i(\bar{X}); \quad f_i(\bar{X}) \in F(\bar{X}), \tag{2}$$

при $k \leq k_0, n \leq n_0, \Phi(C_m - C_i)^2 \rightarrow \min$,

де $f_i(\bar{X})$ — невідомі функції, формуються в класі опорних функцій $F(\bar{X})$;

k_0 — задавана довжина полінома моделі;

n_0 — ступінь полінома;

C_i — невідомі коефіцієнти моделі, що підлягають визначенню;

Φ — критерій адекватності при відборі моделі [7].

В цьому випадку модель в процесі управління формується безпосередньо на об'єкті шляхом задання класу опорних функцій, ступеня і довжини полінома. В якості критерію адекватності використовується середньквдратичне відхилення ε_p^2 вихідної координати моделі Y_t^M від координати частинної моделі Y_t в вибірці вихідних даних N:

$$\varepsilon_p^2 = \frac{\sum_{t \in N} (Y_t^M - Y_t)^2}{\sum_{t \in N} Y_t^2} \rightarrow \min. \tag{3}$$

Этот критерий удобно использовать при самоорганизации моделей в таком режиме, когда модель корректируется при небольшом изменении исходных данных в выборке. Тогда алгоритм самоорганизации должен содержать некоторый источник моделей, в котором хранятся варианты моделей.

Таким образом, при построении системы управления технологическим процессом целесообразно задавать не модель в окончательном виде, а метод получения адекватной модели из опорных функций непосредственно на объекте на обучающей выборке, при этом структура модели зависит от выбора опорных функций, числа аргументов и длины аппроксимирующего полинома. В основе решения этой задачи лежит многопараметрический вычислительный метод анализа многокомпонентных смесей, разработанный Р.Б.Поповым [7]. В ходе решения задачи применялись экспериментально установленные «состав-свойство» данные, полученные при использовании математических методов планирования и анализа эксперимента [8].

Был проведен анализ характеристик качества пралиновой массы. Определено, что пралиновые массы, представляют собой вязкопластичные структурированные дисперсные системы с характерной аномалией вязкости. Анализируя рассматриваемый технологический процесс, видно, что качество готового продукта характеризуется следующими параметрами (рис.3)

$$Z = f(\eta, \varphi_1, \gamma, T, \lambda), \tag{4}$$

где η — вязкость готовой смеси, Па·с; φ_1 — влажность пралиновой смеси, %; γ — дисперсность пралиновой смеси; T — температура смеси, °С; λ — жирность смеси, %.

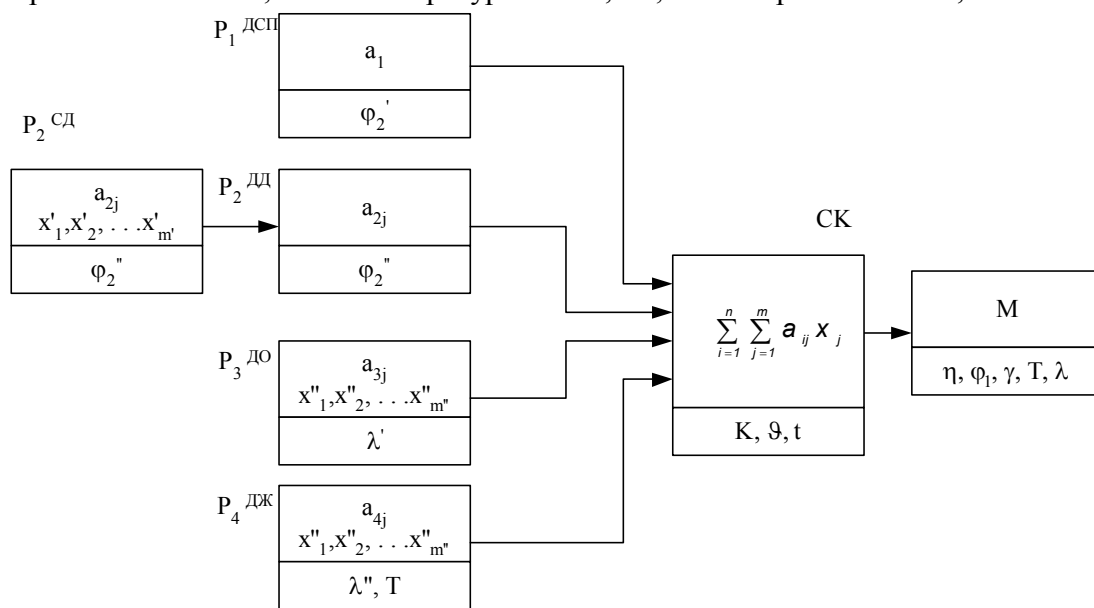


Рисунок 3 — Схема приготовления пралиновой смеси автоматизированной рецептурной станцией

На рис. 3 обозначено: СК — смеситель компонентов; ДСП — дозатор сахарной пудры; ДД — дозатор добавок; СД — смеситель добавок; ДО — дозатор орехов; ДЖ — дозатор жира; М — порция готовой пралиновой массы (ПМ). Реологические характеристики ПМ зависят от содержания жира, температуры массы, влажности, влияния механических воздействий, т.е. для получения продукции заданного качества необходимо учитывать: λ — процентное содержание жира; ϑ — скорость перемешивания, c^{-1} ; t — длительность одного цикла приготовления пралиновой смеси, T — температуру смеси; K — оптимальный состав однородной ПМ.

Если принять, что значения масс компонентов, определенные в режиме реального времени будут соответствовать заданной точности, то качество получения высокооднородной смеси K будет определяться точностью дозирования массы доз каждого компонента. Задачу получения однородной смеси можно представить в виде целевой функции

$$K = g(P_1, P_2, \dots, P_n), \tag{5}$$

P_1, P_2, \dots, P_n — массовые доли компонентов, входящих в рецептуру пралиновой смеси, по отношению к соответствующему дозатору. Степень достижения этой цели зависит от переменных P_i , которые позволяют максимизировать функцию K , как обобщенного показателя качества при соблюдении всех требований технологического процесса, т.е. $K(P_1, P_2, \dots, P_n) \rightarrow \max$.

Для оценки зависимости вязкости пралиновой массы от вышеперечисленных факторов были разработаны план однофакторного и многофакторного экспериментов. На основании проведенного регрессионного анализа были получены модели влияния λ , ϑ , T на η готовой смеси. Объектом исследования являлось изделие «Белочка», выходной величиной Y — вязкость смеси, а входными факторами: x_1 — температура; x_2 — процентное содержание жира; x_3 — скорость перемешивания. Задача ставилась следующим образом: определить опорную функцию, степени и длину полинома, т.е. выбрать вид функций отклика в случае однофакторной модели $Y_1=f(x_1)$, $Y_2=f(x_2)$, $Y_3=f(x_3)$, и многофакторной $Y_4=f(x_1, x_2, x_3)$. После обработки результатов эксперимента были получены следующие результаты: коэффициенты корреляции значительные: для функции Y_1 , $r_1 = 0,904$; для функции Y_2 , $r_2 = 0,846$; для функции Y_3 , $r_3 = 0,951$, что подтверждает гипотезу о решающем влиянии вышеперечисленных показателей на качество конечного продукта. Затем при помощи выборочного корреляционного отношения было доказано что входные и выходные величины связаны нелинейной корреляционной связью и полученные в результате исследования регрессионные модели имеют вид:

$$Y_1 = C_0 \cdot e^{C_1 \cdot x_1} + C_2, Y_2 = a_0 \cdot x_2^3 + a_1 \cdot x_2^2 + a_2 \cdot x_2 + a_4, Y_3 = b_0 \cdot x_3^3 + b_1 \cdot x_3^2 + b_2 \cdot x_3 + b_4, \\ Y_4(x_1, x_2, x_3) = d_0 + d_1 \cdot x_1 + d_2 \cdot x_2 + d_3 \cdot x_3 + d_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + d_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + d_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + d_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + \\ + d_4(x_1^2 - a) + d_5(x_2^2 - a) + d_6(x_3^2 - a)$$

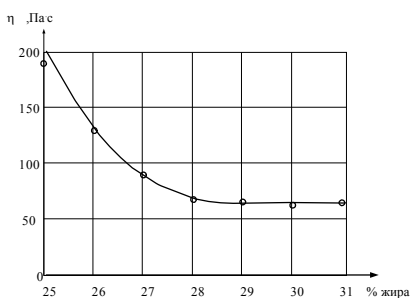
где $a_0 - a_4, b_0 - b_4, C_0 - C_2, d_0 - d_6, d_{12}, d_{32}$ — коэффициенты, значения которых зависят от вида пралиновой массы. В частном случае, для изделия «Белочка» модели однофакторного эксперимента приняли вид: $Y_1(x_1) = 102.57 \cdot e^{-0.3 \cdot x_1} + 61.715$,

$$Y_2(x_2) = -1.43 \cdot x_2^3 + 37.49 \cdot x_2^2 - 325.39 \cdot x_2 + 1001, Y_3(x_3) = -0.05 \cdot x_3^3 + 3.79 \cdot x_3^2 - 61.01 \cdot x_3 + 356.72,$$

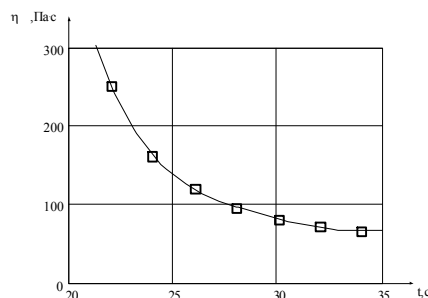
После моделирования расчетных и экспериментальных моделей, были получены зависимости представленные на рис. 4 — это зависимости вязкости различных масс от вышеперечисленных параметров.

Кроме того была проанализирована многофакторная регрессионная модель:

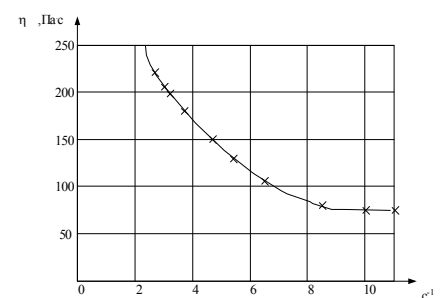
$$Y = 2859.36 - 1.259 \cdot x_1 - 175.66 \cdot x_2 + 197.17 \cdot x_3 - 2.0315 \cdot x_1 \cdot x_2 - 7.97 \cdot x_1 \cdot x_3 - \\ - 7.319 \cdot x_2 \cdot x_3 + .276 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + .900 \cdot x_1^2 + 3.99 \cdot x_2^2 + .63 \cdot x_3^2$$



а)



б)



в)

Рисунок 4 — Зависимость вязкости пралиновых масс от температуры (а), процентного содержания жира (б), скорости перемешивания (в),
 $\circ\circ\circ$, $\times\times\times$, $\square\square\square$, — экспериментальные значения

Были построены поверхности отклика и их проекции на плоскость, с учетом фиксации каждого параметров на трех уровнях: минимальный, средний и максимальный с учетом вариации двух параметров на всем интервале исследования (рис.5).

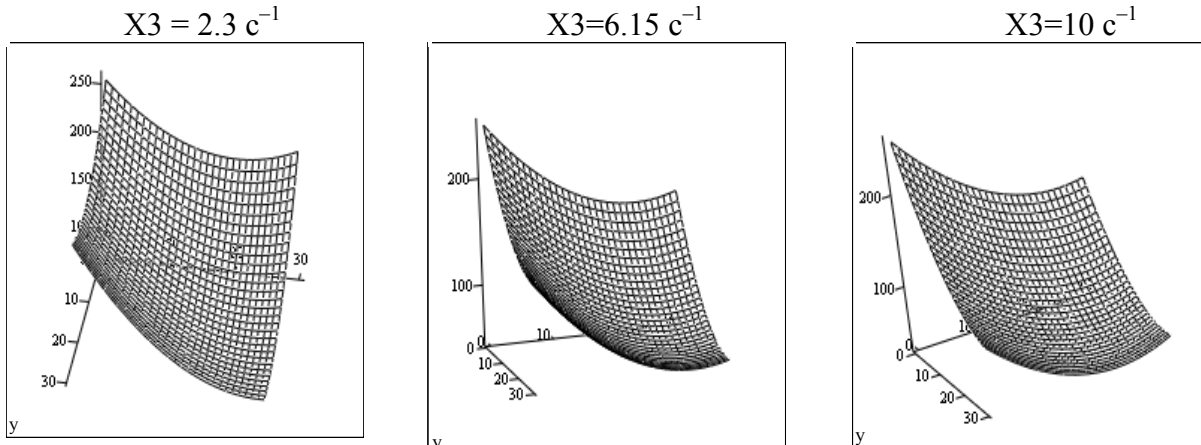


Рисунок 5 — Некоторые примеры поверхности отклика регрессионных моделей основного показателя качества

При проверке значимости коэффициентов регрессионных моделей (по критерию Фишера) все они оказались значимы, а модели адекватными при доверительной вероятности 0,95.

Проведенный анализ для необходимого материала для построения алгоритма принятия решений по выбору вида управляющего воздействия при управлении технологическим процессом приготовления пралиновых масс на основе экспертных оценок. Полученные модели были положены в основу автоматизированного модуля системы управления ТП на основе экспертных оценок текущей ситуации и оценки качества партии готовой смеси.

Представление знаний — один из ключевых моментов обеспечения процесса принятия управленческого решения, т.е. преобразование исходной информации в управляющие воздействия. В целом все факторы, от которых зависит эффективность выбора решения, можно разбить на две группы:

– контролируемые факторы, выбор которых определяется экспертным анализатором при управлении рецептурной станцией:

$$X = \{X_1, \dots, X_5, X_6, X_7, X_8\}, \tag{6}$$

где X_1, \dots, X_5 — скорость дозирования компонентов в дозаторах; X_6 — степень качества пралиновой массы (вязкость), X_7 — температура готовой смеси, X_8 — процентное содержание жира;

– неконтролируемые факторы, характеризующие условия, в которых осуществляется выбор и на которые экспертный анализатор влиять не может.

Последние в зависимости от информированности о них подразделяют на три группы:

– детерминированные неконтролируемые факторы — случайные фиксированные величины, значения которых полностью известны: A_1 — залипание компонентов в дозаторах; A_2 — отказ измерительной аппаратуры; A_3 — отказ сигнальной аппаратуры.

– стохастические неконтролируемые факторы — случайные процессы с известными законами распределения, т.е. измеряемые возмущающие воздействия: Y_1 — влияние влажности помещения; Y_2 — несоответствие исходного сырья ГОСТ.

– неопределенные неконтролируемые факторы, для каждого из которых неизвестны значения в момент принятия решения: Z_1 — механическая поломка исполнительных механизмов; Z_2 — заклинивание механизмов дозаторов.

В соответствии с выделенными факторами критерий оптимальности принятия решений можно представить в виде

$$F = F(X_1, X_2, \dots, X_8, A_1, \dots, A_3, Y_1, Y_2, Z_1, Z_2, t). \quad (7)$$

Величины X, A, Y, Z в общем случае могут быть скалярами, векторами, матрицами. Значения контролируемых (управляемых) факторов обычно ограничены рядом естественных причин, например ограниченностью располагаемых ресурсов. Математически эти ограничения записываются в виде

$$g_i = g_i(X_1, X_2, \dots, X_8, A_1, \dots, A_3, Y_1 \dots Y_3, Z_1, Z_2, t) \{ \leq, =, \geq \} b_i, i=1, m \quad (8)$$

Условия (4.27) определяют области определения пространства OX, OA, OY, OZ , внутри которых расположены возможные (допустимые) значения факторов $X_1, X_2, \dots, X_8, A_1, \dots, A_3, Y_1 \dots Y_3, Z_1, Z_2$.

Аналогично могут быть ограничены и области возможных значений неконтролируемых факторов, поскольку критерий оптимальности есть качественная мера степени достижения цели управления. математически цель управления выражается в стремлении к максимально возможному уменьшению значения критерия f , что можно записать в виде $f \rightarrow \min$. средством достижения этой цели является соответствующий выбор r_1, r_2, \dots, r_6 управлений из областей определения их допустимых значений.

Таким образом, общая постановка задачи принятия решений может быть сформулирована следующим образом: при заданных значениях $X_{1opt}, X_{2opt}, \dots, X_{8opt}$ и характеристиках фиксированных неконтролируемых $A_1, \dots, A_3, Y_1 \dots Y_2$ с учетом неопределенных факторов Z_1, Z_2 найти оптимальные значения R_i из областей их допустимых значений, которые по возможности обращали бы в минимум критерий оптимальности F . На основании рассмотренных факторов можно составить алгоритм оценки нарушений и принятия решений по выбору вида управляющего воздействия. Структура алгоритма оценки нарушений приведена на рис.6.

Выводы. Впервые предложена концепция гибридных экспертных систем управления локальным ТП приготовление пралиновых масс на основе разработанной математической модели процесса приготовления пралиновой массы с использованием релевантных параметров (температура, процентное содержание жира, скорость перемешивания), а также на основе экспертного анализа критических производственных ситуаций с использованием продукционной модели представления знаний и механизма вывода непроцедурного типа, что обеспечивает повышение оперативности и качества кондитерского производства пралиновых масс.

Задача автоматизированного управления локальным ТП приготовление пралиновых масс решено на базе теории самоорганизации О.Г.Ивахненко для структурно- параметрической идентификации моделей объектов управления, а также на основе анализа производственных ситуаций и критических моментов при дозировании в рецептурных станциях с использованием продукционной модели представления знаний и механизма вывода непроцедурного типа, что обеспечивает повышение оперативности и качества производства пралиновых масс.

Дальнейшим развитием рассмотренных алгоритмов предполагается разработка автоматизированной системы с полной идентификацией объекта управления с использованием аддитивной процедуры усложнения модели.

Литература

1. Поспелов Г.С. Искусственный интеллект — основа новой информационной технологии. — Г.: Наука, 1988. — 280 с.

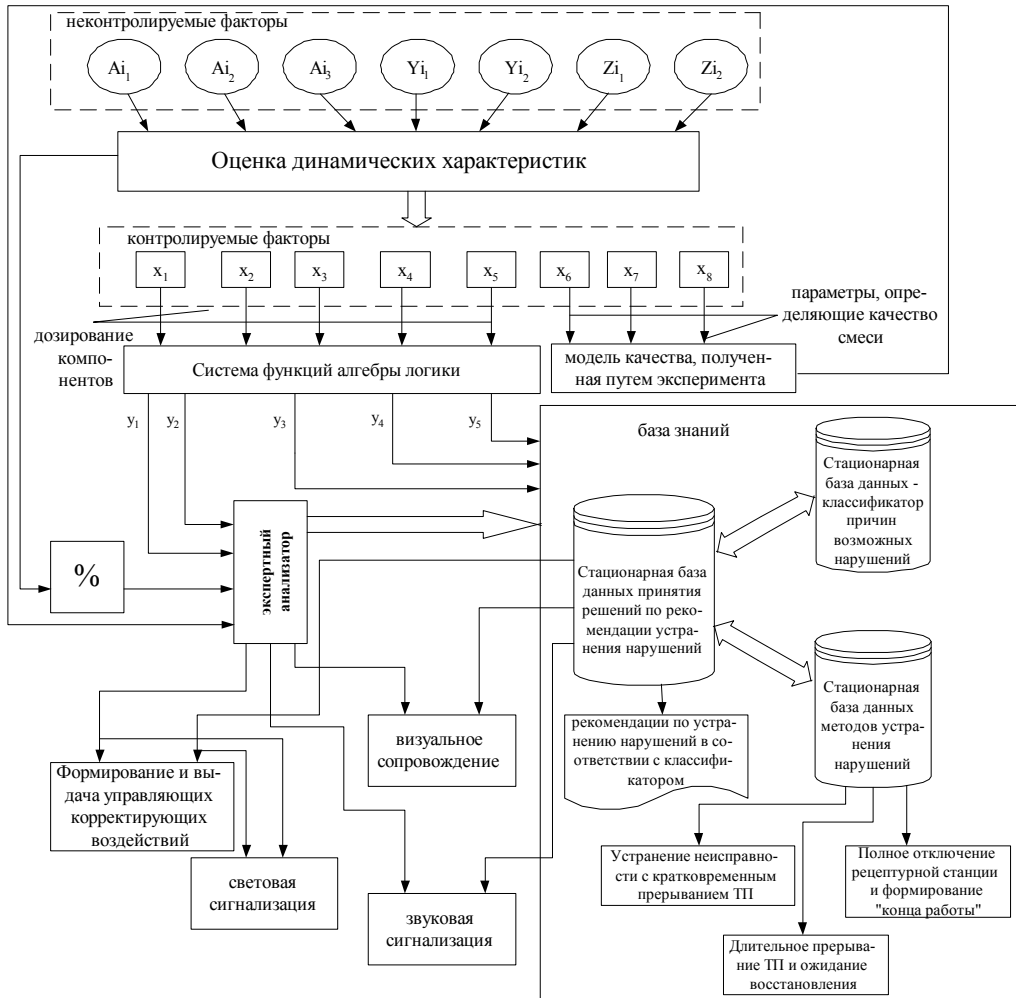


Рисунок 6 — Структура алгоритма оценки нарушений и принятия решений по выбору управляющего воздействия

2. Ульшин В.А., Зубов Д.А. Оптимальная дискретная система управления объектами углеобогащительного производства с нестационарными возмущающими воздействиями// Сборник научных трудов НГА Украины №11, том 2. — Днепропетровск: РИК НГА Украины, 2001. — С. 26–30.
3. Справочник по типовым программам моделирования/ А.Г. Ивахненко, Ю.В. Коппа, В.С. Степашко и др.; Под.ред. А.Г. Ивахненко. — К.: Техніка, 1980. — 184 с.
4. Тарасюк В.П. Автоматизированная система управления технологическим процессом приготовления пралиновых масс на основе экспертных оценок / Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: “Обчислювальна техніка та автоматизація”. Випуск 88. — Донецьк: ДонНТУ, 2005. — С. 56–62.
5. Кафаров В.В., Глебов М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств. — М.: Высшая школа, 1991. — 400 с.
6. Попов В.А., Мокрый Г.В., Воропаева В.Я. Формирование статических оптимизационных моделей сложных систем. Наукові праці ДонНТУ. Випуск 25. — Донецьк: ДонДТУ, 2001. — 294 с.
7. Льюинг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя: Пер. с англ./Под ред. Цыпкина Я.З. — М.: Наука. Гл. ред. Физ-мат.лит., 1991. — 432 с.

8. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем / Ивахненко А.Г. — Киев: Наук. думка, 1981. — 296 с.