

## ОЦЕНКА НАРУШЕНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ДОЗИРОВАНИЯ И МЕТОДИКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ИХ УСТРАНЕНИЮ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ РЕЦЕПТУРНОЙ СТАНЦИИ

Тарасюк В.П.

Донецкий государственный технический университет, факультет КИТиА

Кафедра «Электронная техника»

E-mail: [vita@kita.dgtu.donetsk.ua](mailto:vita@kita.dgtu.donetsk.ua)

### Abstract

*Tarasyk V. Estimation of violations of the technological process of a batching and technique of decision making on their elimination in automatized receipt of the station. In paper the principle of construction of model of decision making basing on development of a knowledge base of special structure which is powering up dynamic databases, knowledge and static arrays of auxiliary information processing is considered. The new technique of an estimation of violations of the technological process is offered which consists in the analysis of industrial situations and critical moments of the process of a batching in receipt servers by an estimation of interaction of databases, knowledge and dynamic responses process of technological, it is included in the software and differs from units, existing by application, of the Boolean algebra of logic.*

Для решения проблем, связанных с получением пралиновых масс высокой степени однородности, необходимы такие системы обработки информации, которые могут обеспечить процесс дозирования компонентов в строгом соответствии с ГОСТом. Повышение эффективности управления технологическим процессом и точности отработки заданных видов изделий возможно при создании экспертной системы управления. Одной из особенностей ее создания является построение такой модели принятия решений, которая обеспечивает временную согласованность оптимальных управляющих воздействий с реальным физическим процессом, направлена на исключение отклонений процесса дозирования и на обеспечение комфортности управления установкой.

Функции экспертной системы управления технологическим процессом включают следующую последовательность операций: проверку исходного состояния дозаторов, смесителей и подающих механизмов; создание новых рабочих рецептур пралиновой смеси на основании знаний эксперта; формирование уставок на изменение массы загружаемых компонентов в соответствии с видом изделия; определение уставок на изменение скорости выгрузки компонентов; адаптивное управление «грубой» и «точной» регулировкой подающих механизмов; определение оптимальной последовательности загрузки добавок в дозатор-смеситель для повышения качества смеси; идентификацию вида нарушений; формирование и выдачу речевых сообщений персоналу для поддержания нормального хода технологического процесса; прогнозирование нарушений, коррекция режимов работы механизмов, адаптация циклограмм и математических моделей в допустимых пределах изменения производительности рецептурной станции; планирование производительности последней загрузки оборудования в конце смены, обеспечивающей полную разгрузку емкостей; комфортность обслуживания и повышение качества технологического процесса.

Оптимальное управление рецептурными станциями, предназначенными для сложного процесса приготовления пралиновой смеси, может быть обеспечено только экспертной оценкой всех функций в реальном времени и своевременной выдачей корректных управляющих воздействий для ликвидации нарушений, возникающих вследствие внешних возмущающих воздействий: изменения температуры и влажности помещения, приводящих к

изменению плотности исходного сырья; а также в случаях поломки дозаторов, исполнительных механизмов, измерительной системы [1].

Существует несколько способов анализа объекта управления. Среди них можно выделить ситуационный анализ, построение имитационной модели, теория исследования операций, сети Петри, дискретно – непрерывные сети.

Ситуационный анализ объекта управления является одним из главных этапов при построении алгоритмов принятия решения в системах оперативного управления и включает в себя взаимосвязанное решение следующих задач [2]:

- анализ работы объекта управления в процессе эксплуатации и с учетом внешних возмущающих воздействий;
- выявление и анализ возможностей достижения целей управления, исходя из существующей модели функционирования объекта управления и взаимодействия его с окружающей средой;
- выявление возможности обеспечения комфортности управления установкой и повышения качества технологического процесса.

Рассмотрим первую задачу, которая включает в себя определение характеристик связи компонентов рецептур с окружающей средой, выявление типовых узловых событий в отдельных дозаторах и построение графа принятия решений. Проведем общую постановку задачи принятия решения при управлении рецептурной станцией приготовления пралиновых масс. Эффективность выбора того или иного решения определяется некоторым критерием  $F$ , допускающим качественное (или количественное) представление [2]. Таким критерием в данном случае выступает критерий однородности пралиновой массы, который контролируется лабораторным анализом.

В условия работы конкретной рецептурной станции, состоящей из  $n$  – дозаторов, ориентированных на дозирование сыпучих, жидких, маслянистых компонентов можно принять, что определенные в режиме реального времени значения масс компонентов будут соответствовать точности, обеспечиваемой измерительной системой. Тогда качество получения высокооднородной смеси  $K_0$  будет определяться качеством дозирования массы доз каждого компонента  $K_{сах.пудры}$ ,  $K_{жира}$ ,  $K_{орехов}$ ,  $K_{добавки}$ , ...,  $K_{добавки}$  на каждом этапе технологического процесса в соответствии с фиксированной циклограммой отработки рабочей рецептуры, а качество конечной смеси будет представлено как

$$K_0 = K(K_{с.п.}, K_{ж.}, K_{ор.}, K_{д.}, \dots, K_{нд}).$$

В данном случае в процессе дозирования, учитывая динамические характеристики исполнительных механизмов,  $K_i$  представляет собой некоторое множество значений показателя качества  $i$  [1]. Среди них есть те, которые содержат допустимые значения, т.е.  $K_{1д}$  с  $K_{1н}$ ; ... ;  $K_{мд}$  с  $K_{мн}$ . Следовательно,  $K_{ид}$  образует пространство допустимых решений, среди которых есть те, которые приводят к оптимальному значению

$$K_{opt} = K(K_{1опт} \dots, K_{mopt}).$$

В данном случае  $K_{1опт}$  с  $K_{1д}$ ; ... ;  $K_{mopt}$  с  $K_{мд}$ .

Поскольку подобрать управляющее воздействие с точно заданными показателями качества  $K_0$  практически очень трудно, всегда имеется некоторое рассогласование  $\Delta K_n$  в значениях показателей качества, т.е.  $K_0 = K_n + \Delta K_n$ . Это рассогласование приводит к необходимости корректирующего вмешательства в ход технологического процесса. Дальнейшее совершенствование процесса дозирования составляет задачу оптимизации, которая заключается в обеспечении послойного дозирования составляющих с одновременным перемешиванием компонентов, приводящее к минимальному  $\Delta K_n$ . Сложность процесса дозирования в рас-

смаатриваемой рецептурной станции заключается в наличии неадекватных ситуаций, обусловленных свойствами компонентов к слеживаемости, зависанию, застыванию, сводообразованию и т.п., своевременно обнаружить которые можно только при наличии системы непрерывного слежения за ходом технологического процесса. Обеспечить это возможно, разработав модель идентификации нарушений и соответственно принятия решений по нормализации процесса, включающую корректирующее вмешательство в технологический процесс путем добавочного дозирования составляющих рецептуры.

В общем случае все факторы, от которых зависит эффективность выбора решения, можно разбить на две группы:

- контролируемые факторы, выбор которых определяется оператором, принимающим решение, либо экспертной системой обработки информации (ЭСОИ) при управлении рецептурной станцией:

$$X = \{X_1, \dots, X_5, X_6\}, \quad (1)$$

где  $X_1, \dots, X_5$  – скорость дозирования компонентов в дозаторах;  $X_6$  – степень однородности пралиновой массы (определяется лабораторным анализом).

- неконтролируемые факторы, характеризующие условия, в которых осуществляется выбор и на которые объект (оператор или ЭСОИ), принимающий решение, влиять не может.

Неконтролируемые факторы в зависимости от информированности о них подразделяют на три подгруппы:

- детерминированные неконтролируемые факторы — неслучайные 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 величины и процессы с известными законами распределения:  $Y_1$  – 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

$$F = F(X_1, X_2, \dots, X_6, A_1, \dots, A_3, Y_1, Y_2, Z_1, Z_2, t). \quad (2)$$

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

$$g_i = g_i(X_1, X_2, \dots, X_6, A_1, \dots, A_3, Y_1, Y_2, Z_1, Z_2, t) \{ \leq, =, \geq \} b_i, \quad i=1, m \quad (3)$$

Условия (3) определяют области определения пространства  $OX, OA, OY, OZ$  внутри которых расположены возможные (допустимые) значения факторов  $X_1, X_2, \dots, X_6, A_1, \dots, A_3, Y_1, Y_2, Z_1, Z_2$ .

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  $X_{1opt}, X_{2opt}, \dots, X_{6opt}$  и характеристиках фиксированных неконтролируемых  $A_1, \dots, A_3, Y_1, Y_2$  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 граф анализа ситуации и принятия решений, который послужит основой для разработки базы знаний в ЭСОИ.

Пусть  $C_i$  (событие по  $i$ -тому дозатору) – отклонение процесса дозирования от теоретической характеристики. Оно определяется, как

$$C_i = \{X_i^0, X_i(t')\}, \quad (4)$$

где  $t'$  – момент времени, в котором для  $i$ -го дозатора произошло отклонение (3);

$X_i^0$  – начальное значение дозирования в  $i$ -том дозаторе в момент времени  $t=t^0$ .

$R_i$  – решение, принимаемое экспертной системой по  $i$ -тому дозатору и по всей рецептурной станции в целом.

На основании факторов  $A, Y, Z$  необходимо определить  $X_i$  и в зависимости от его значения, сделать вывод о  $C_i$  и выбрать  $R_i$ . Тогда граф принятия решений при управлении одним из дозаторов рецептурной станции будет иметь вид, представленный на рис. 1.

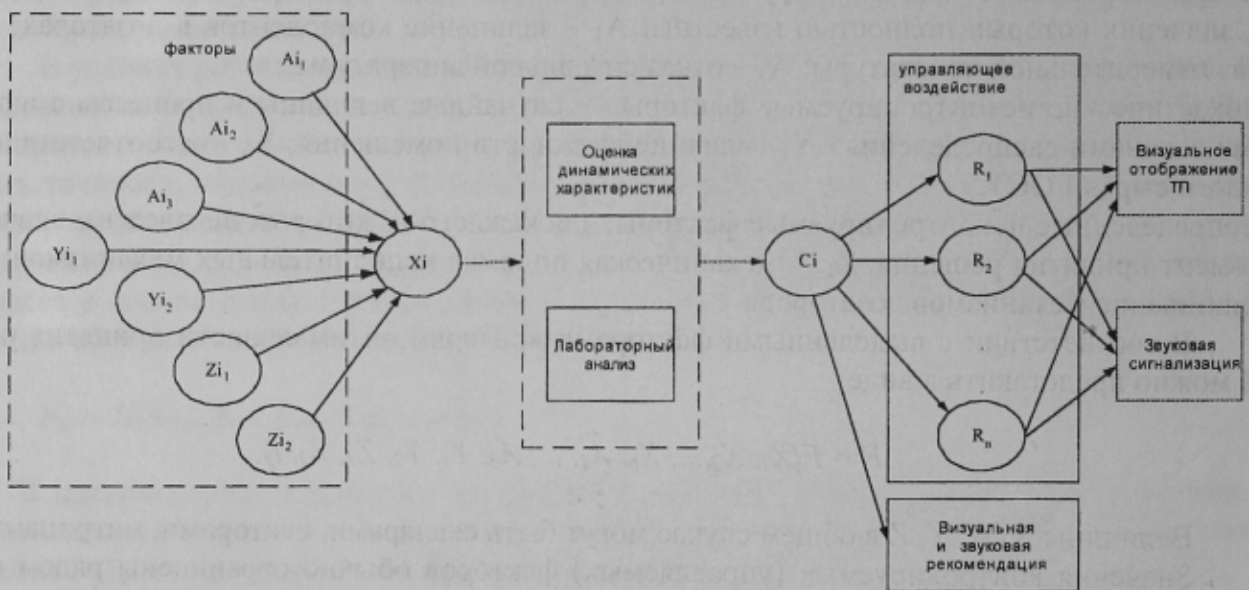


Рис. 1 Граф принятия решений при управлении одним из дозаторов рецептурной станции

Для реализации модели принятия решений и на основании поставленных требований к экспертной системе, исходя из существующих рецептов на изготовление пралиновых масс, необходимо разработать структуры баз данных и знаний. Существует простой путь большого расширения возможностей интеллектуальных систем, создаваемого с помощью инструментального комплекса программ [3]. Речь идет о сопряжении баз знаний с базами данных, которые позволяют переложить на базу данных функции хранения и выборки большого количества фактической информации.

В соответствии с определенным критерием оптимальности принятия решений при управлении рецептурной станцией пралиновых масс, классификацией возможных неисправностей и нарушений с возможными методами их устранения, а также с учетом факторов, от

которых зависит эффективность выбора, необходимо классифицировать неисправности, возникающие при работе установки: определяемые при помощи ПЭВМ (связанные с физической природой исходного сырья); предполагаемые для ЭСОИ (механического и физического характера, которые нельзя точно классифицировать при наличии тех измерительных устройств, которыми располагает рецептурная станция).

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, что база знаний коррекции нарушений хода технологического процесса дозирования и перемешивания компонентов пралиновых масс должна представлять собой набор правил, решающих поставленную задачу. База знаний строится на основе логики предикатов и по принципу "Если - то - иначе". Она представляет собой набор взаимосвязанных баз данных:

- Neispr.dbf, содержит в себе перечень возможных нарушений и неисправностей при обработке рецептур, фрагмент содержимого представлен в таблице 1. Классификация причин проводится с учетом особенностей конструкции рецептурной станции АДС. Поэтому код причины представлен в виде \*.NN., где \* - номер устройства, который выбирается в соответствии со следующей градацией 0- не имеет отношение к отдельному механизму; 1- смеситель добавок; 2- дозатор сахарной пудры; 3- дозатор добавок; 4 - дозатор орехов; 5- дозатор жира; 6- смеситель компонентов.

Таблица 1

Фрагмент содержимого базы данных возможных нарушений и неисправностей

№ п/п	Разновидности неисправностей
Kod_neis	Naim_neis
0.01	Повышенный шум, стуки в подшипниках
...	...
0.05	Привод не включается
0.06	Не работает исполнительный механизм привода
1.01	Не перемещается в осевом направлении сбрасыватель смесителя добавок
...	...

- Prich.dbf, состоит из кода причины, описания причины нарушения и трех возможных решений данной причины, фрагмент базы данных приведен в таблице 2.

Таблица 2

Фрагмент базы данных вспомогательной информация для определения причины нарушения

Код прич.	Вероятная причина	Методы устранения		
		Resh1	Resh2	Resh3
Kod_pr	Naim_pr			
0.01	Усталостное выкрашивание или заедание дорожек и тел качения в подшипниках	3.01		
0.02	Поломка подшипников. Поломка зубьев шестерен	3.02		
...	...	...	...	...
1.02	Не перемещается в осевом направлении сбрасыватель смесителя добавок.	3.11		
...	...	...	...	...

- Resh.dbf, содержит перечень возможных методов устранения неисправностей и нарушений. Все возможные методы решения можно разбить на две группы:

1. Решаемые при помощи ЭВМ.
  2. Не решаемые при помощи ЭВМ.
    - 2.1. Исправляемые непосредственно на установке, с частичным ремонтом установки.
    - 2.2. Требующие механического вмешательства.
- В соответствии с таким подходом коды в базе данных присваиваются соответственно:
- 1.\*+ Решаемые при помощи ЭВМ.
  - 2.\*+ Устраняемые непосредственно на установке, с частичным ремонтом установки
  - 3.\*+ Требующие частичную или полную разборку установки.

Так как рецептурная станция состоит из пяти дозаторов и смесителя компонентов, то вместо \* присваивается номер устройства, к которому имеет отношение решение, а вместо +

номер решения по порядку в данном подразделе. Номер устройства выбирается в соответствии с принятой выше градацией. Если решение не имеет отношения ни к одному из устройств на месте \* ставится 0. Пример состава этой базы данных приведен в таблице 3.

Таблица 3

Пример формирования базы данных Resh.dbf

Код решения	Методы устранения
Kod_resh	Naim_resh
3.01	Замена подшипников
3.02	Замена подшипников и шестерен или ремонт вышедших из строя деталей
3.03	Замена фрикционного кольца
1.11	Проверить влажность в помещении, в случае повышения провести меры по осушению компонентов (добавок)
2.11	Промыть смеситель добавок
...	...

Рассмотрим модель построения правил механизма логического вывода. Признак неисправности определяется при непрерывном анализе скорости дозирования компонентов из дозаторов. Для этого определяется масса компонента, которая должна остаться в дозаторе после выгрузки за время  $\Delta t$ . Таким образом

$$M_i = M_i' - \Delta t * V_{выгр_i}$$

где  $M_i'$  - масса компонента в дозаторе до начала выгрузки,  
 $V_{выгр_i}$  - скорость выгрузки компонента из дозатора.

Если действительное значение не совпадает с теоретическим, то делается вывод о нарушении хода технологического процесса. Поэтому необходимо классифицировать нарушение и установить его причину. классификация осуществляется на основании динамических характеристик дозирования или по лабораторной оценке степени однородности пралиновой массы. Для отдельных дозаторов существует только один способ, идентифицируемый при помощи ЭВМ - несоответствие динамических характеристик дозирования. Код неисправности для каждого устройства присваивается в соответствии с принятой нумерацией дозаторов. Согласно этому классификатору в базе данных нарушений код неисправности присваивается по шаблону \*.NN, где NN - номер неисправности по порядку для данного устройства.

Для некоторых причин неисправностей существует несколько методов устранения. Для обоснования выбора конкретного решения составим таблицы соответствия для всех дозаторов, на примере дозатора сахарной пудры (ДСП). Причинами возникновения нарушения скорости дозирования могут быть: залипание, застывание, зависание сахарной пудры в дозаторе ДСП; разрыв соединительного манжета между ДСП и смесителем компонентов; поломка двигателя. Обозначим каждый из этих пунктов входными параметрами соответственно  $x_1, x_2, x_3$ . Для выбора решения по одной из причин поставим три переменные признака числа последовательных нарушений, т.е.  $x_4$  - нарушение было 2 раза подряд,  $x_5$  - нарушение было 3 раза подряд,  $x_6$  - нарушение было 4 раза подряд. Возможные методы устранения нарушений обозначим выходными переменными, с учетом кодирования их в базе данных:

- $u_1$  - Включить двигатель дозатора сахарной пудры "вперед и назад" 2 раза, код 1.21;
- $u_2$  - Проверить влажность в помещении, в случае повышения выдать рекомендацию по осушению сахарной пудры, код 1.22;
- $u_3$  - Промыть дозатор сахарной пудры, код 2.21;
- $u_4$  - Проверить целостность соединительного канала дозатора сахарной пудры, код 2.22;
- $u_5$  - Рекомендации по общей проверке исполнительных механизмов, измерительной системы и сигнальной аппаратуры, код 3.21.

Используя методы булевой алгебры логики составим таблицу истинности. Она примет вид представленный в табл. 4.

Таблица 4

Таблица истинности для дозатора сахарной пудры

X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>5</sub>
1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0
1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1
1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0
1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0
1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1

Система управляющих воздействий запишется, как

$$\begin{cases} y_1 = x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \bar{x}_4 \bar{x}_5 \bar{x}_6 \vee x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \bar{x}_4 \bar{x}_5 \bar{x}_6 \vee x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \bar{x}_4 \bar{x}_5 \bar{x}_6 = x_1 \bar{x}_3 \bar{x}_4 \bar{x}_5 \bar{x}_6 \vee x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \bar{x}_4 \bar{x}_5 \bar{x}_6; \\ y_2 = x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \bar{x}_4 \bar{x}_5 \bar{x}_6 \vee x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \bar{x}_4 \bar{x}_5 \bar{x}_6; \\ y_3 = x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \bar{x}_4 \bar{x}_5 \bar{x}_6 \vee x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \bar{x}_4 \bar{x}_5 \bar{x}_6 \vee x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \bar{x}_4 \bar{x}_5 \bar{x}_6; \\ y_4 = \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \bar{x}_4 \bar{x}_5 \bar{x}_6 \vee x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \bar{x}_4 \bar{x}_5 \bar{x}_6 \vee x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \bar{x}_4 \bar{x}_5 \bar{x}_6; \\ y_5 = x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \bar{x}_4 \bar{x}_5 \bar{x}_6 \vee x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \bar{x}_4 \bar{x}_5 \bar{x}_6; \end{cases}$$

Выбор приоритетного метода устранения нарушения выбирается в соответствии с полученной системой функций алгебры логики. Затем по  $y_i$ , согласно базе данных мер по устранению нарушений формируются управляющие воздействия, подаваемые от ЭВМ.

Пусть причин выявилось  $n$  сбоев непосредственно перед циклом отработки  $j$ . Тогда согласно системе функций алгебры логики для этого дозатора определяется метод возможного устранения данной причины. Вариантов может быть несколько. При равнозначных вариантах методов устранения, которые могут реализоваться при помощи ЭВМ обращаемся к характеристике вероятности первой из причин возникновения: по процентному отношению массы, оставшейся в дозаторе к массе необходимой по рабочей рецептуре, т.е.

$$M_i = M_{ост} / M_{треб}, \tag{5}$$

и находим вероятность первой причины данного нарушения для данного процентного отношения  $P_{пр}$ . Если она больше либо равна 0,5%, то последующие управляющие воздействия направлены на устранение нарушения, согласно первой причине. В случае, когда устранение причины нарушения технологического процесса требуют остановки всего технологического процесса, то ПЭВМ формирует выходные документы по изготовленной массе готовой пралиновой массы и опорожняет все устройства рецептурной станции. В случае, когда устранение причины не требует полного завершения технологического процесса, а лишь временной задержки для ремонта или замены комплектующих ЭСОИ формирует управляющие воздействия, направленные на завершение данного цикла отработки рабочей рецептуры, проводит учет испорченного сырья и переходит в режим ожидания восстановления прерванного процесса. Кроме вышеперечисленных управляющих воздействий ЭСОИ осуществляет выдачу световой сигнализации и предупреждающих речевых сообщений, для формирования которых разработаны модели сопровождения технологического процесса, позволяющие отслеживать процесс и обеспечивать синхронность работы всех вспомогательных подразделений. Структура модели оценки нарушений приведена на рис.2.

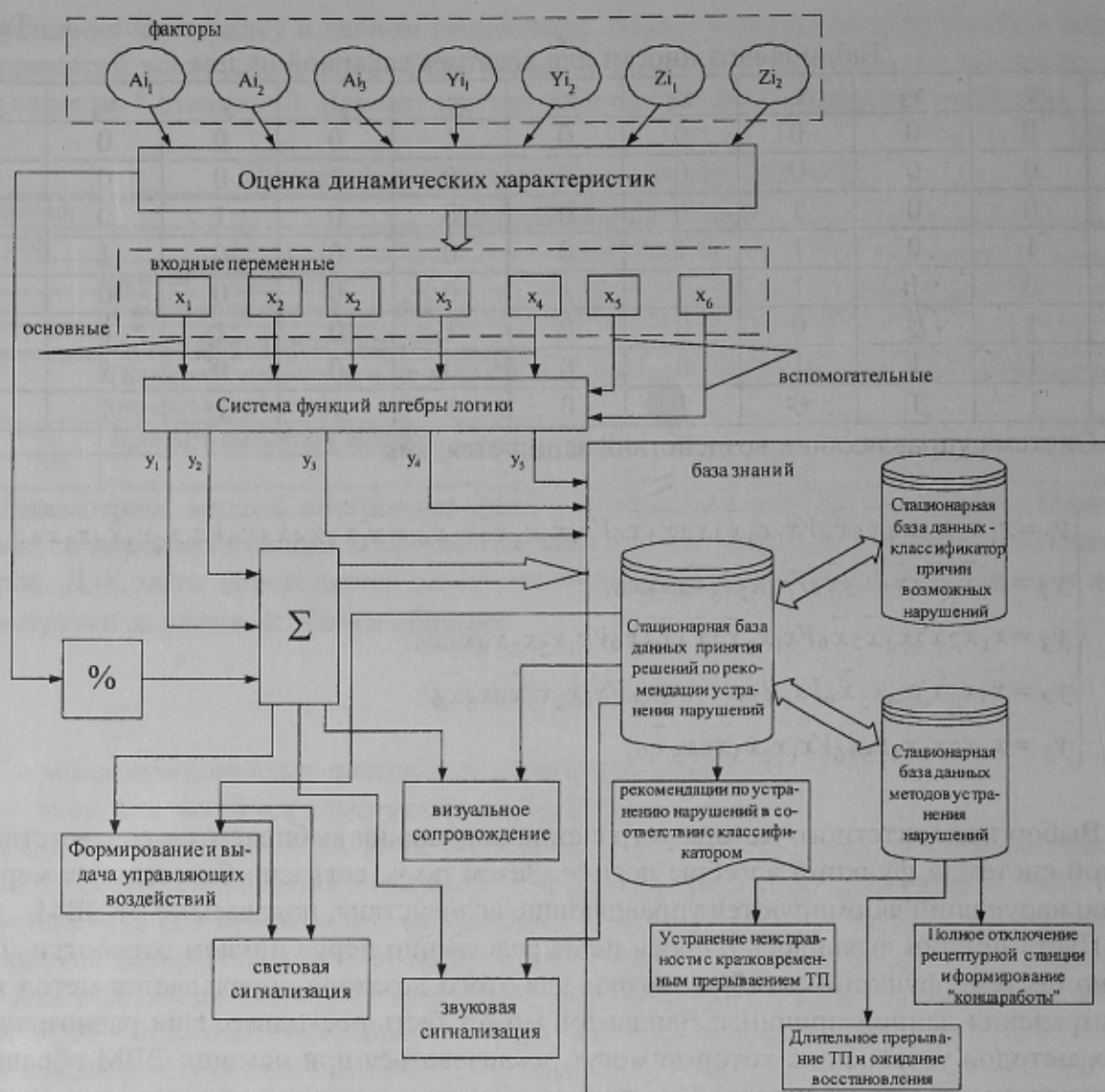


Рис. 2 Структура модели оценки нарушений и принятия решений по выбору вида управляющего воздействия

### Выводы

Предложенная новая модель оценки нарушений и методика принятия решений по выбору вида управляющего воздействия при управлении технологическим процессом, базируется на анализе производственных ситуаций и критических моментов процесса дозирования в рецептурных станциях путем оценки взаимодействия баз данных, знаний и динамических характеристик ТП, включена в программное обеспечение и отличается от существующих применением элементов булевой алгебры логики, позволяет обеспечить синхронность работы структурных элементов рецептурной станции на основании формализованных знаний и опыта экспертов для получения пралиновой массы высокой степени однородности. Это приводит к повышению эффективности процесса приготовления высокооднородных пралиновых масс и снижению трудоемкости управления.

### Литература

1. Чичикало Н.И., Тарасюк В.П. Моделирование процесса дозирования в рецептурной станции приготовления пралиновых масс. Вісник Черкаського інженерно-технологічного інституту. 2000 г. №4. с. 75-83.
2. Поспелов Д.А. Моделирование рассуждений.- М.: Радио и связь. 1989.-138с.
3. Нильсон, Нильс Дж. Искусственный интеллект. Методы поиска решений.-М.: Наука, 1995. - 374с.