

## СИСТЕМА ДИНАМИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ В ИЗМЕНЯЕМЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РЕЖИМАХ

В.М. Сидлецкий, И.В. Эльперин, Г.Н. Биля

*Национальный университет пищевых технологий, Украина, Киев*

## SYSTEMS OF DYNAMIC PROCESS CONTROL IN A CHANGING PRODUCTION MODE

V.M. Sidletsky, I.V. Elperin, G.N. Bila

*National University of Food Technologies, Kiev, Ukraine*

### Abstract.

The paper contains the a generalized functional structure of the decision making process for the diffusion stations, given that the change in any parameter changes all indicators of diffusion station, as well as the restriction of the solution set is indicated by the use of the dominant criteria.

**Key words:** system management, dominant criteria, decision making process.

### Введение

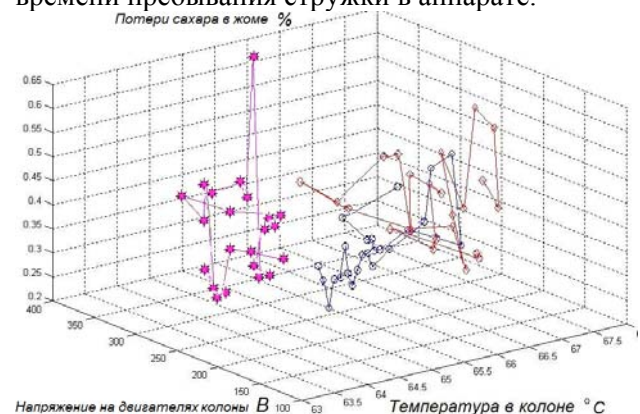
Несмотря на достаточно высокий технический уровень средств автоматизации, и алгоритмов управления, существующие системы автоматизации не всегда могут адекватно реагировать на нарушения технологического режима.

На большинстве сахарных заводов управление диффузной станцией происходит с применением системы автоматизации, которая построена на базе современной микропроцессорной техники. С помощью системы автоматизации поддерживают регламентированные значения технологических параметров (температура, уровень, давление, рН, расходы и другие).

Это можно объяснить тем, что без внимания системы автоматизации остается целый ряд неконтролируемых параметров, поэтому оператор анализирует одинаковые технологические параметры, но при этом может принимать разные решения. В задачах, для которых характерно наличие неполной и нечеткой входной информации и связанных с достижением неоднозначно выраженных целей, невозможно выделить один - главный - показатель, относительно которого необходимо корректировать технологический процесс. Поэтому при разработке механизма

формирования рекомендаций необходимо рассматривать не просто логику принятия решений в отношении одного параметра или показателя качества, а для всего процесса добычи сахара из стружки, как единой системы.

На рис 1. приведены данные о потерях сахара в жоме в зависимости от температуры и времени пребывания стружки в аппарате.



**Рис 1. Зависимость потерь сахара в жоме от температуры в колонне и напряжения на двигателе вала колонны (времени пребывания стружки в аппарате) за периоды:  
○ - 23.09.2007; □ - 24.09.2007; \* - 25.09.2007**

Из приведенной диаграммы можно сделать вывод, что при одних и тех же значениях

параметров технологического процесса можно получить различные значения показателей работы диффузионной станции. Кроме того, в некоторых случаях они могут быть еще и противоречивыми.

Так, из приведенных данных видно, что при уменьшении температуры в диффузионной колонне потери сахара уменьшаются, а при уменьшении напряжения на двигателе вала двигателя (увеличении времени пребывания стружки в колонне) потери сахара в жоме увеличиваются. Это подтверждает предыдущие выводы, что:

- процесс обессахаривания является нестационарным, и поэтому математическая модель процесса, разработанная на основе материальных и энергетических балансов, не сможет полностью учесть влияние всех факторов, возникающих на диффузионной станции,

- На процесс обессахаривания, кроме технологических параметров, существенно влияют другие факторы, которые могут привести к противоречивой оценки оператором состояния процесса, в результате чего будут приняты ошибочные решения.

## Материалы и методы

Работа диффузной станции характеризуется наличием слабо формализованных параметров (качество стружки, время диффузии, перемещение стружки) и их значительной взаимосвязанностью (рис. 2), что приводит к одновременному изменению показателей качества работы диффузной станции при изменении одного из них. Поэтому неоднозначными может быть и принятия решений по их устранению, необходимо учитывать, что отклонение технологического режима и ухудшение качественных показателей процесса могут быть вызваны разными причинами, что усложняет принятие решений по их устранению. Например, качество диффузного сока можно изменять коэффициентом откачки, что в свою очередь, можно изменять или за счет количества диффузного сока, которое подается на производство, или количеством свеколовичной стружки, что поступает на переработку, т.е. изменением производительности аппарата.

На первый взгляд коррекцию производительности можно сделать очень просто, за счет изменения частоты оборотов транспортирующего органа колонны, но помимо этого производительность колонны

зависит и также от удельной нагрузки колонны и условий перемещения стружки в нем.



Рис. 2. Связываемость параметров, которые влияют на показатели работы диффузной станции

Поэтому, важно знать, как изменение выбранного параметра повлияет на изменения всех показателей качества работы диффузной станции.

По этому сложность работы оператора состоит в определении причин отклонения технологического режима, которые приводят к ухудшению качественных и количественных показателей работы диффузионной станции. В связи с этим, разработка подсистемы прогнозирования изменения показателей качества работы диффузной станции, от значений технологических параметров, есть актуальной задачей, что направлена на усовершенствование существующих систем автоматизации.

## Результаты и обсуждение

Например, для значений технологических параметров, приведенных в таблице 1, блоком логического вывода полученные рекомендуемые значения для изменения технологических параметров, приведенных в таблице 2. Знак у каждого значения указывает на заказной характер изменения: увеличивать или уменьшать. Для удельного загрузки выводится обобщающая информация, которая выведена на основе данных визуального осмотра состояния стружки в колонне.

Таким образом можно одновременно получить рекомендации по изменению всех параметров (табл. 2.). Но при этом перед оператором стоит задача выбора: какую рекомендацию выбрать и какой из параметров изменить на рекомендованное значение.

**Таблица 1**  
**Значения технологических параметров**  
**процесса сахародобычи**

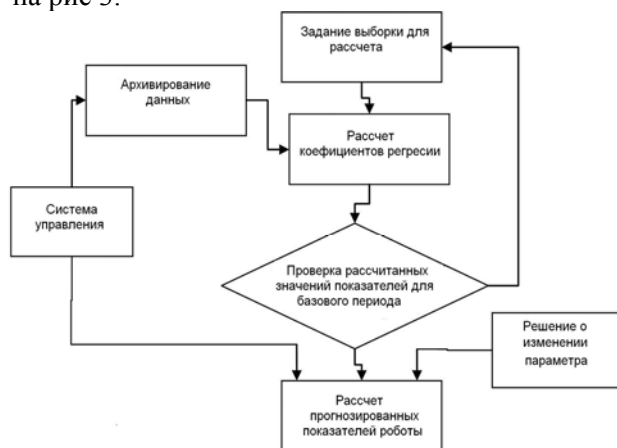
№	Наименование параметра	Ед. им.	Значение
1	Содержание сахара в диффузионного сока	%	11.4
2	Потери в жоме	%	0.37
3	Содержание сахара в стружке	%	13.1
4	Содержание пульпы в стружке	%	40
5	количество брака	лингв. переменна	норма
6	упругость	лингв. переменна	норма
7	прочность	лингв. переменна	норма
8	Температура в колонне (средняя)	°С	64.93
9	Напряжение двигателя колонны	В	165.56
10	Температура в ошпаривателе (средняя)	°С	74.15
11	Напряжение двигателя ошпаривателя	В	300.8
12	Расход диффузионного сока	м <sup>3</sup> /год	112.94
13	расход стружки	т/год	70.83
14	Уровень в колонне	%	85.03
15	Уровень в ошпаривателе	м	1.5
16	Ток двигателя колонны	А	68.36
17	Состояние стружки (смотровое стекло)	лингв. переменна	в норме
18	Перемещение стружки (смотровое стекло)	лингв. переменна	Аппарат заполнен стружкой, которая действует по лопастью
19	Заполнение аппарата (смотровое стекло)	лингв. переменна	Стружка движется сплошной массой
20	состояние жома	лингв. переменна	недостаточн о упругий
21	цвет жома	лингв. переменна	Свет - желтый

одновременно влиять на все показатели качества работы диффузионной станции. В связи с этим необходимо разработать методику и алгоритм анализа влияния изменения различных технологических параметров на общие показатели работы диффузии и использовать результаты этого анализа в системе ПППР.

**Таблица 2**  
**Рекомендуемые значения технологических параметров**

№	Наименование параметра	Ед. изм.	Значения
1	Расход диффузионного сока	м <sup>3</sup> /год	-10.12
2	расход стружки	т/год	15.48
3	Напряжение двигателя колонны	В	17.54
4	Температура в колонне (средняя)	°С	2.75
5	Уровень в колонне	%	4.97
6	Напряжение двигателя ошпаривателя	В	-8.43
7	Температура в ошпаривателе (средняя)	°С	-1.32

Общая схема получения прогноза приведена на рис 3.



**Рис.3. Схема получения прогнозируемых значений показателей работы диффузионной станции**

При этом надо учитывать, что изменение технологического параметра может



Таблица 3  
Прогнозируемые показатели работы диффузионной станции в соответствии с  
рекомендованными значениями параметров

№	Технологические параметры и их значения с учетом рекомендуемой поправки							Показатели работы диффузионной станции				
	Расход диффузионного сока	Расход стружки	Напряжение двигателя колонны	Температура в колонне (средняя)	Уровень в колонне	Напряжение двигателя оппаривателя	Температура в оппаривателе (средняя)	Качество диффузионного сока	Потери сахара в жоме	Неучтенные потери	Удельная нагрузка	Перемещение стружки
1	112.94	70.83	165.56	64.93	85.03	300.80	74.15	11.71	0.382	0.077	63.804	1.12
2	112.94	70.83	165.56	64.93	85.03	300.80	72.83	11.71	0.370	0.077	63.804	1.12
3	112.94	70.83	165.56	64.93	85.03	292.37	74.15	11.71	0.382	0.077	63.804	1.12
4	112.94	70.83	165.56	64.93	85.03	292.37	72.83	11.71	0.370	0.077	63.804	1.12
5	112.94	70.83	165.56	64.93	90.00	300.80	74.15	11.79	0.392	0.082	60.185	1.18
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
126	102.82	86.31	183.10	67.68	90.00	300.80	72.83	12.50	0.252	0.048	69.451	4.78
127	102.82	86.31	183.10	67.68	90.00	292.37	74.15	12.50	0.264	0.048	69.451	4.78
128	102.82	86.31	183.10	67.68	90.00	292.37	72.83	12.50	0.252	0.048	69.451	4.78

Для получения параметров функций прогноза (коэффициентов регрессии) из архива берется выборка значений технологических параметров и показателей работы диффузионной станции за последние 6-8 часов. Если рассчитаны модели принимаются, то проводятся расчеты прогнозируемых значений показателей работы диффузионной станции в соответствии с рекомендованными изменениями технологических параметров в течение одного часа. Через час снова происходит перерасчет регрессионной модели для новой выборки данных. В таблице 3. приведен фрагмент результатов расчета прогнозных показателей работы диффузионной станции в зависимости от рекомендованной изменения параметров.

Я видно из таблицы, для комбинации с 7 параметров можно получить 128 вариантов рекомендаций для изменения параметров. Понятно, что выдача всех этих рекомендаций оператору для выбора какого-то варианта для принятия решения, не имеет никакого смысла, так как оператору будет необходимо постоянно анализировать соотношение трех показателей качества и двух критериев ограничения. При этом улучшение одного показателя, как правило, вызывает ухудшение другого. В связи с этим возникает задача разработки методики выбора решения из возможных вариантов, которая имеет компромиссный характер.

Решение задачи сужение множества выбора рекомендованных решений

Для диффузионной станции сахарного завода, эффективность функционирования которой характеризуется показателями качества и состоянием технологических параметров, по множеству входных параметров можно принять множество рекомендаций о возможных числовые значения технологических параметров, которые можно установить с учетом текущего состояния работы станции, а за множество выходных параметров – критерии работы станции (показатели ее работы). Учитывая, что каждый критерий работы связан со значениями входных параметров, в общем виде можно выделить следующие определения процесса формирования рекомендаций для принятия решений в процессе управления диффузным станцией сахарного завода [1-6]:

1. Существует множество рекомендованных решений  $x_i$ , в которой описывается состояние технологических параметров, то есть каждое решение имеет набор параметров  $p_1, \dots, p_m$ ;

2. Каждому из параметров  $p_i$ , входящих в рекомендованного решения  $x_i$ , соответствует исходная оценка  $y_i = f_i(x)$  (показатель работы диффузионной станции);

3. Каждому рекомендованном решению  $x_i$  соответствует набор действий  $Z$ , характеризующих необходимость изменения параметров, для которых можно в  $t$  – мерном



критериальном пространстве применить выражение  $Y=(y_1, \dots, y_m)=(f_1(x), \dots, f_m(x)) \in R_m$ ;

4. Рекомендуемые решения  $x$  входящих в начальной множества решений  $X$  ( $x \in X$ ), которые являются отражением в пространстве множества возможных показателей качества  $YX$ :

$$X \xrightarrow{(f_1(x), \dots, f_m(x))} Y_x \subset Z = R^m \quad (1)$$

Для диффузионной станции сахарного завода характерным признаком является использование различных единиц и различных шкал для показателей качества работы диффузионной станции. Кроме того, имеющиеся безразмерные показатели работы, например, перемещения стружки в аппарате. В связи с этим необходимо провести нормализацию показателей работы диффузионной станции. В данном случае целесообразно использовать формулу полной нормализации критериев:

$$f_i(x) = \frac{\overline{f_i(x)} - \min_{x \in X} \overline{f_i(x)}}{\max_{x \in X} \overline{f_i(x)} - \min_{x \in X} \overline{f_i(x)}} \quad (2)$$

где  $\overline{f_i(x)}$  – нормализованный критерий,  $f_i(x)$  – выходной критерий.

В качестве критериев были использованы показатели работы диффузионной станции.

Данная нормализация отражает исходные значения показателей на отрезке от нуля до единицы. Наилучшее значение нормализованного показателя работы диффузионной станции равно единице, а хуже всего – нулю.

Кроме полной нормализации показателей работы, необходимо провести смену направленности цели. Это объясняется необходимостью перехода к однонаправленным показателям работы диффузионной станции (качество сока необходимо увеличивать, а потери сахара необходимо уменьшать). Изменение направленности цели понимается в замене «max» на «min» или «min» на «max»:

$$f_i(x) = 1 - \overline{f_i(x)} \quad (3)$$

В таблице 4 приведены нормализованные показатели качества работы диффузионной станции для приведенных выше рекомендаций

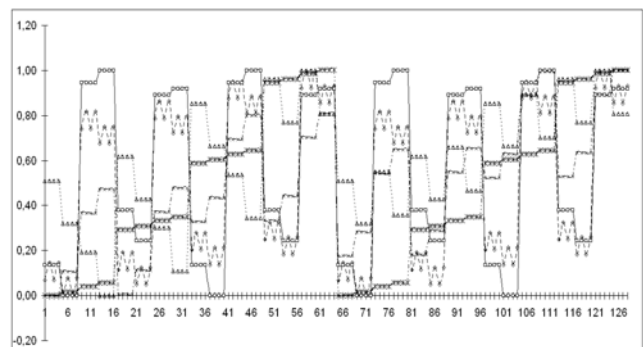
Условием решения данной задачи является нахождение таких решений в процессе выбора рекомендации (с учетом множества показателей), при которых показатели работы диффузионной станции будут иметь максимальное значение:

$$\langle f_1(x), f_2(x), \dots, f_i(x) \rangle \rightarrow \max_{x \in X} \quad (4)$$

**Таблица 4**  
**Фрагмент нормализованных показателей работы диффузионной станции**

№	Показатели работы диффузионной станции				
	Качество диффузионного сока	Потери сахара в жоме	Неучтенные потери	Удельная нагрузка	Перемещение стружки
1	0.00	0.07	0.14	0.51	0.00
2	0.00	0.15	0.14	0.51	0.00
3	0.00	0.07	0.14	0.51	0.00
4	0.00	0.15	0.14	0.51	0.00
5	0.10	0.00	0.00	0.32	0.02
...	...	...	...	...	...
126	1.00	0.93	0.92	0.81	1.00
127	1.00	0.85	0.92	0.81	1.00
128	1.00	0.93	0.92	0.81	1.00

На рис.4 приведено графическое представление нормализованных показателей работы для выбора рекомендаций, которые приведены в таблице 4.



**Рис. 4. Графическое представление нормализованных показателей и номер решения**

(× - содержание сахара в диффузионном соке, ◇ - потери сахара в жоме, □ - неучтенные потери, △ - загрузка аппарата, \* - перемещение стружки)

На практике, для диффузионной станции невозможно найти такое решение, при котором все показатели работы одновременно имеют максимальное значение. Это связано со спецификой процесса высушивания. Увеличение производительности приводит к уменьшению времени пребывания стружки в аппарате, что приводит к увеличению потерь



сахара в жоме. Увеличение расхода диффузионного сока уменьшает потери сахара в жоме, но при этом уменьшает качество диффузионного сока. То есть если решение максимизирует один из показателей работы, то другие критерии этим решением не максимизируются. В связи с этим при решении задачи находится решение, в котором наибольшее количество доминирующих показателей [5].

Для этого необходимо сформировать матрицу  $A$  размером  $n \times n$  с элементами  $a_{ij} = q(x^i, x^j)$ , где  $q(x^i, x^j)$  – количество показателей, по которым рекомендация  $x_j$  превосходит  $x_i$ , а  $i, j = \overline{1, n}$ , где  $n$  – количество рекомендаций. Решением задачи является нахождение подмножества всех вариантов  $x \in X$  с минимальным в  $X$  доминирующим показателем:

$$C^K(X) = \left\{ x \in X \mid Q_x(x) = \min_{z \in X} Q_x(z) \right\}, \quad (5)$$

где: величина  $Q_x(x)$  называется доминирующим показателем рекомендации  $x$  и находится как:

$$Q_x(x) = \max_{x^j \in X} q(x^i, x^j) \quad (6)$$

Для случая, указанного в таблице 3.9, матрица (7) формируется с размером всех рекомендаций, то есть  $128 \times 128$ :

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	...	$x_{126}$	$x_{127}$	$x_{128}$
$x_1$	0	1	0	1	2	...	5	5	5
$x_2$	0	0	0	0	2	...	5	5	5
$x_3$	0	1	0	1	2	...	5	5	5
$x_4$	0	0	0	0	2	...	5	5	5
$x_5$	0	3	3	3	0	...	5	5	5
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$x_{126}$	0	0	0	0	0	...	0	0	0
$x_{127}$	0	0	0	0	0	...	1	0	1
$x_{128}$	0	0	0	0	0	...	0	0	0

Если при построении матрицы встречаются рекомендации в которых все критерии доминирующие, (с 7 видно, что есть рекомендации, в которых все 5 показателей качества доминируют), то отбираются рекомендации по максимальным количеством показателей качества, а затем выбранные рекомендации сравнивались между собой. Формирование матриц заканчивается, если выполнялась одним из условий: количество доминирующих показателей качества была

меньше, чем количество всех показателей, или рекомендация со всеми доминирующими показателями была одна. В первом случае, когда количество доминирующих показателей была меньше, чем общее количество показателей, и при этом рекомендаций было несколько, то рекомендации между собой сравнивали и выбирали рекомендацию по минимальным доминирующим критерием. В случае, когда они были равны – выбралась первая рекомендация.

Для рекомендаций, которые рассматриваются в таблице 4, лучшими будут следующие варианты:

$$x_{126} = \{y_{126}^1, y_{126}^2, y_{126}^3, y_{126}^4, y_{126}^5\} = \{1.00, 0.93, 0.92, 0.81, 1.00\},$$

$$x_{128} = \{y_{128}^1, y_{128}^2, y_{128}^3, y_{128}^4, y_{128}^5\} = \{1.00, 0.93, 0.92, 0.81, 1.00\},$$

поэтому была выбрана рекомендация  $x_{126}$ .

### Заключение

В статье указывается обобщенная функциональная структура процесса принятия решений для диффузионной станции, учитывая, что изменение любого параметра приводит к изменению всех показателей работы диффузионной станции, а также указывается сужение множества решений путем использования доминирующих критериев

### Литература

- [1] Кини Р.Л. Принятие решений при многих критериях: Предпочтения и замещения: Пер с англ. / Р.Л. Кини, Х. Райфа; под ред. И.Ф. Шахнова. – М.: Радио и связь, 1981. – 560 с.
- [2] Шикин Е. В. Исследование операций: учебник / Е. В. Шикин, Г. Е. Шикина; Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова. – М.: Проспект, 2006. – 275 с.
- [3] Щипин К.С. Система прогнозирования на основе многокритериального анализа временных рядов: дис. ... канд. техн. наук / К.С. Щипин. – М., 2004. – 137 с.
- [4] Черноруцкий И. Г. Методы принятия решений: [учеб. пособие] / И.Г. Черноруцкий; – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 408 с.
- [5] Теория выбора и принятия решений / И.М.Макаров, Т.М.Виноградская, А.А.Рубчинский, В.Б.Соколов; – М.: Наука, 1982. – 328 с.
- [6] Дубов Ю.А. Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов систем / Ю.А. Дубов, С.И. Травкин, В.Н. Якимец; – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 296 с.