

ПОСТРОЕНИЕ ЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ МНОГОКОРПУСНОЙ ВЫПАРНОЙ УСТАНОВКИ САХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Фесенко А.М. ст. преподаватель

(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко)

В работе проведен анализ процесса выпаривания в сахарном производстве и определены основные показатели и параметры работы многокорпусной выпарной установки. Для основных переменных изучаемого технологического процесса выпаривания сока определены статистические характеристики. Получена линейная регрессионная модель выпарной установки и сделан анализ по применению данной математической модели. Сделано заключение, что созданная математическая модель, в первом приближении, может быть использована для управления параметрами технологических процессов многокорпусной выпарной установки.

Введение. Сахарное производство является одной из важнейших отраслей пищевой промышленности в Украине. Конкуренция в этой сфере производства требует усовершенствования отечественного свеклосахарного производства. А повысить эффективность сахарного производства возможно, максимально увеличивая выход качественной продукции и одновременно экономя энергоресурсы, повышая безопасность технологических процессов.

С целью повышения эффективности производственных процессов, в которых используются современные средства автоматизации, необходимо усовершенствовать АСУТП, которые базируются на использовании микропроцессорной техники и реализуют интеллектуальные и компьютерно-интегрированные системы управления [1].

Анализ состояния вопроса. В производстве сахара задействовано большое количество разнообразного оборудования. Важным производственным участком сахарного завода является выпарная установка. Выпарные аппараты предназначены для

сгущения свекловичного сока путем выпаривания из него воды. Для экономии топлива выпарная станция конструктивно выполняется в виде пяти последовательно подключенных выпарных аппаратов, в результате чего пар, полученный от кипения сока в I корпусе, собирается в колпаке этого корпуса и переходит в паровую камеру II корпуса и т.д. Важность этого производственного участка заключается в том, что он является основным производителем и раздатчиком пара по всему сахарному заводу. Процесс выпаривания характеризуется наличием большого числа факторов, значения которых могут меняться в течение времени с учетом изменений технологического процесса. А технологический процесс, в свою очередь, зависит от качества сырья.

Для обеспечения оптимального режима выпаривания необходимо определить необходимые показатели технологического процесса, взаимосвязь и их значения (расход, плотность, давление, и т.д.). Основным показателем, необходимым для осуществления оптимального процесса выпаривания сока является расход пара. Для повышения эффективности процесса выпаривания в отделении необходимо применять комплексную автоматизацию технологического процесса.

Нормальная работа этого отделения требует регулирования заданных параметров и соотношений веществ, входящих в процесс выпаривания. Это регулирование может происходить разными способами: вручную, полуавтоматически и автоматически. В современном сахарном производстве чаще всего используется автоматическое регулирование с дублированием ручного для возможности продолжения работы, если какой-либо автоматический регулятор выйдет из строя.

Построение эффективной системы управления технологическим процессом базируется на информации об объекте исследования, т.е. на его математической модели [2].

Построение математической модели исследуемого объекта – это необходимый этап решения задачи оптимизации его функционирования, качество решения зависит от того, насколько точно отражает модель свойства объекта. При этом существенную роль играет сложность получаемого математического описания, так как сложная модель, хоть и точно отражающая свойства объекта, приводит к необходимости использования сложных законов управления, а их реализация на практике зачастую либо затруднена, либо невозможна. Создание математической модели объекта сопровождается некоторыми трудностями, к которым в первую

очередь следует отнести нелинейность и нестационарность характеристик исследуемого объекта [3].

Достаточно часто хороший результат дает применение линейных моделей, полученных методом регрессионного анализа. Для их построения необходимо точно понимать особенности технологического процесса, знать математический аппарат обработки данных и уметь моделировать исследуемые процессы.

Целью данной работы является построение и исследование линейной регрессионной модели многокорпусной выпарной установки для применения в АСУТП сахарного завода.

Задачи работы:

- Определить основные показатели, влияющие на технологический процесс;
- Получить линейную регрессионную модель объекта;
- Проверить адекватность модели и возможность применения ее в АСУТП.

Постановка проблемы. Определение адекватной модели многокорпусной выпарной установки для АСУТП сахарного завода.

Основная часть. При построении регрессионных моделей многокорпусной выпарной установки в качестве выходного параметра рассматривался Y - выход сиропа с ВУ, ($S_1, \% \text{ к м.св.}$), а входными (управляемыми) параметрами были: X_1 - расход сока на входе в ВУ, ($S_0, \% \text{ к м.св.}$); X_2^{1-5} - расход пара в ВУ, ($G_n, \text{кг/ч}$); X_3 - температура сока на входе в ВУ, (θ_c^0, C); X_4^{1-5} - температура пара по корпусам в ВУ, (θ_n^0, C); X_5^{1-5} - уровень раствора в корпусах ВУ, h_p , ((м)/(к общей высоте кип. трубок, %)).

Кроме того, информационными параметрами ВУ являются: X_6 - уровень в сборнике сока перед выпарной установкой h ; X_7 - расход амм. воды в сборник перед ВУ h ; X_8 - расход конденсата ретурного пара на ТЭЦ; X_9 - расход конденсата пара 4-х корпусов на ТЭЦ; X_{10} - уровень в сборнике сульфитированного сиропа; X_{11} - уровень в сборнике сиропа на вакуум аппаратах; X_{12} - давление в коллекторе ретурного пара; X_{13-17} - давление в греющем коллекторе 1-5-го корпусов ВУ; X_{18-22} - давление в надсоковом пространстве 1-

5-го корпусов ВУ; X_{23-27} - аварийный уровень в 1-5-м корпусе ВУ; X_{28} - температура сока на ВУ для 3-й группы подогревателей; X_{29} - температура сока на ВУ для 2-й группы подогревателей; X_{30} - температура сока на ВУ для 1-й группы подогревателей; X_{31} - температура ретурного пара в коллекторе; X_{32} - температура в греющей камере 1-го корпуса; X_{33} - контроль работы приводов насосов.

На первом этапе построения моделей ТП строились наиболее простые регрессионные модели, которые описываются уравнением:

$$Y = \sum_{i=1}^k a_i \cdot X_i + b ; i = \overline{1, k}, \quad (1)$$

где a_i – регрессионные коэффициенты, соответствующие каждой независимой переменной X_i ;

b – постоянная.

Для нахождения параметров a_i и b уравнения регрессии (1) использовался МНК, поскольку при его применении для нахождения зависимой переменной Y , наилучшим образом соответствующей эмпирическим данным, сумма квадратов отклонений эмпирических точек от теоретической линии регрессии должна быть минимальной.

В результате проведения пассивных экспериментов получены массивы данных почасовой работы выпарных аппаратов, которые и использовались при построении моделей (1).

По результатам экспериментальных данных рассчитаны накопленные частоты $P_0(x)$, ожидаемые накопленные частоты для нормального распределения, затем выбрано максимальное значение $|P_0(x) - S(x)|$, с помощью которого и определялся критерий согласия Колмогорова-Смирнова D . Полученное значение сравнивалось с критическим, определенным по таблицам [5]. Результаты указанного сравнения позволяют сделать вывод, что с вероятностью 95% можно принять гипотезу о нормальном распределении основных переменных рассматриваемых подсистем.

Для основных переменных изучаемых технологических процессов определялись такие статистические характеристики: математическое ожидание m_x , дисперсия D_x , медиана Med_x (рассчитывается как устойчивая оценка центра экспериментальных данных с выбросами, минимально влияющими на нее), коэффициент асимметрии

$$A_x = \frac{M(x(t) - m_x)^3}{\sigma_x^3} = \frac{1}{T\sigma_x^3} \int_0^T (x(t) - m_x)^3 dt, \quad (2)$$

коэффициент эксцесса

$$E_x = \frac{M(x(t) - m_x)^4}{\sigma_x^4} - 3 = \frac{1}{T\sigma_x^4} \int_0^T (x(t) - m_x)^4 dt - 3, \quad (3)$$

а также центральные моменты

$$\beta_x^k = M[(x(t) - m_x)^k] = \frac{1}{T} \int_0^T (x(t) - m_x)^k dt, \quad (4)$$

где k – порядок центрального момента;

σ_x – среднеквадратическое отклонение ($\sigma_x = \sqrt{D_x}$);

M – символ математического ожидания.

Основные статистические данные и результаты их обработки для выпарной установки приведены в табл. 1.

Определение структуры модели для описания процесса выпаривания осуществлялось методом пошаговой регрессии.

Применение МНК позволило получить следующую модель:

$$Y = 23,7 + 3,86X_1 + 7,21X_2 - 0,95X_3 + 5,28X_4 + 12,7X_5.$$

Значение критериев Стьюдента и Фишера для математической модели многокорпусной выпарной установки представлены в таблице 2.

Определенное значение $F_{расч}$ сравнивается с табличным $F_{табл}$ при количестве степеней свободы (f), необходимых для нахождения значений критерия Фишера в статистической таблице [4], и номинальном уровне значимости $\alpha = 5\%$.

Таблица 1

Уровни оптимального режима работы	Расход сока на входе в ВУ, X_1 (% к м. св.)	Расход греющего пара на ВУ по корпусам X_2 , (кг/ч)					Температура пара в ВУ, X_3 , ($^{\circ}$ С)	Уровень сока в корпусах ВУ, X_4 (% к общей высоте кип. трубок, %)	Выход сыропа с ВУ, (% к м. св.), Y											
		1	2	3	4	5				Температура пара по корпусам ВУ, X_5 , ($^{\circ}$ С)										
										1	2	3	4	5						
Верхний	132,89	200	29313	200	13763	948	1583	130	136,3	120,4	110,1	118,8	108	96	2,0/3,0	2,3/3,5	2,0/4,0	1,5/5,0	1,4/7,0	35
Нижний	0	200	200	200	200	200	200	90	129,1	120,4	110,1	98,2	84	1,9/2,5	2,2/3,0	1,8/3,0	1,4/4,0	1,3/5,0	25	
Статистические параметры распределения																				
D_x^2	174,6	2154,3	621,4	272,3	425,8	638,4	24,3		24,8	36,4	42,3	38,6	75,4	2,46	3,65	4,32	2,11	4,3	11,6	
m_x	74,6	162406	152150	6840	576	728	95,6		132,4	126,5	115,3	102,6	89,5	1,95	2,24	1,90	1,46	1,34	27,5	
Med $_x$	70,4	15730	16475	7024	646	704	85,4		146,4	115,8	124,6	98,3	95,4	1,98	2,04	1,56	1,48	1,28	28,2	
A_x	-1,2	0,5	0,9	1,1	-0,85	0,6	1,1		-0,7	-0,4	0,2	-0,3	-0,5	-0,2	-0,8	0,7	0,4	-0,3	0,7	
E_x	4,8	6,5	5,9	6,3	3,8	4,3	3,9		3,2	2,7	4,3	2,9	5,0	2,1	2,7	1,8	1,6	4,3	2,6	

Таблица 2

Значения критериев Стьюдента и Фишера для математической модели многокорпусной выпарной установки

Условные обозначения параметров	Уровень сока		t – критерий табл.	$F_{табл.}$
	t – критерий расч	$F_{расч.}$		
X_1	3,57	231,7	2,78	4,36
X_2	4,69			
X_3	2,86			
X_4	3,25			
X_5	2,82			

Вывод. Из сравнения значений критериев Фишера можно сделать вывод, что условие $F_{расч} > F_{табл}$ выполняется, следовательно, впервые созданная математическая модель в первом приближении может быть использована для управления параметрами технологических процессов ВУ.

Анализ полученных значений для критериев Стьюдента дает основания полагать, что для разработанной математической модели расчетные параметры являются значимыми по степени влияния их коэффициентов на управляющий параметр. Их необходимо учитывать при расчете управляющего параметра технологического процесса.

Таким образом, полученная регрессионная модель выпарной установки соответствует рассматриваемому объекту. Но наличие различных возмущений и помех и отсутствие достаточно полной информации об условиях функционирования объекта существенно ограничивают возможность применения традиционных методов построения модели.

Список литературы

1. Белоусов В. Ю. Стратегия автоматизации производства сахара / В. Ю. Белоусов, А. Ф. Литвинов, О. А. Потапов, Ю. Н. Горчинский // Сахар. – 2002. - №1. – С. 40–42.
2. Яковлев.О. Системы автоматизации технологических

процессов сахарного производства / О. Яковлев, О. С. Танцюра, А. Войтюк, Ю. Рудаков, С.Латышев, В. Волков, М. Рак, Н. Круглый // Пищевая промышленность. – 2000. – №1. – С. 44–53.

3. Ляшенко С.А. Построение математической модели нелинейного процесса с помощью нормализованной радиально-базисной сети / С.А. Ляшенко, А.С. Ляшенко // Вестник Херсонского национального технического университета. - Херсон. – 2006. – Вып. №1(24). – С. 32–35.

4. Сиденко В.М. Основы научных исследований / В.М. Сиденко, И.М. Грушко. – Харьков: Вища школа, 1978. – 200 с.

Анотація

ПОБУДОВА ЛІНІЙНОЇ РЕГРЕСІЙНОЇ МОДЕЛІ БАГАТОКОРПУСНОЇ ВИПАРНОЇ УСТАНОВКИ ЦУКРОВОГО ВИРОБНИЦТВА

В роботі надано аналіз процесу випарювання у цукровому виробництві і визначені основні показники та параметри роботи випарної установки. Для основних змінних технологічного процесу випарювання визначено статистичні характеристики. Отримана лінійна регресійна модель випарної установки і зроблено аналіз по використанню даної математичної моделі. На основі проведеного аналізу зроблено висновок, що створена математична модель, у першому приближенні, може бути використана для управління параметрами технологічних процесу випарювання.

Abstract

CREATION OF LINEAR REGRESSION MODEL OF MULTIPLE EVAPORATOR OF SUGAR PRODUCTION

In this paper we made an analysis of the evaporating process in the sugar industry and the basic parameters and the parameters of the evaporating unit. Statistical characteristics were defined for the main variables studied juice evaporating process. Linear regression model multiply evaporator was obtained and analysis on the application of this mathematical model was made. Conclusion was draw that for the first time created a mathematical model as a first approximation can was used to control the parameters of technological processes evaporator.