

**С. А. ЛЯШЕНКО**, канд. техн. наук, доц. ХНТУСХ им. П. Василенко

## **ПОСТРОЕНИЕ ЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ ДИФфуЗИОННОГО ОТДЕЛЕНИЯ САХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

В работе сделан анализ процесса диффузии в сахарном производстве и определены основные показатели и параметры работы диффузионного аппарата. Для основных переменных изучаемого технологического процесса получения сока определены статистические характеристики. Получена линейная регрессионная модель диффузионного аппарата. На основании проведенного анализа сделано заключение, что впервые созданная математическая модель, в первом приближении, может быть использована для управления параметрами технологических процессов диффузионного аппарата.

**Ключевые слова:** сахарное производство, технологический процесс, диффузия, математическая модель, статистические данные, факторы, параметры, адекватность, уравнение регрессии.

**Введение.** Сахарное производство в Украине всегда занимало одно из ведущих мест в обеспечении населения продовольствием. В связи с необходимостью конкурировать в этой сфере производства с ведущими мировыми производителями сахара возникает необходимость в усовершенствовании отечественного свеклосахарного производства. Повышение эффективности сахарного производства характеризуется максимальным выходом качественной продукции и взаимосвязано с экономией энергоресурсов и безопасностью технологических процессов.

Для получения более эффективного производственного процесса, в котором используются современные средства автоматизации, необходимо уделить больше внимания вопросам АСУТП, базирующихся на использовании микропроцессорной техники и реализующих интеллектуальные и компьютерно-интегрированные системы управления сложными динамическими процессами [1].

**Анализ состояния вопроса.** Производство сахарной продукции – сложный технологический процесс, в котором задействовано значительное количество разнообразного оборудования. Главным производственным участком сахарного завода является диффузионное отделение, задающее режим работы и необходимый объем перерабатываемой продукции. Основным оборудованием диффузионного отделения является диффузионный аппарат, в котором изрезанную свеклу преобразуют в диффузионный сок. Выделение диффузионного сока из свекловичной стружки – один из основных процессов сахарного производства, который в значительной мере определяет качество и количество произведенного сахара, и эффективность работы завода в целом. Эффективность работы

© С. А. Ляшенко, 2014

диффузионного аппарата (ДА) определяется его продуктивностью, количеством сахара в диффузионном соке и потерями сахара в жоме. Процесс диффузии характеризуется наличием большого числа факторов, значения которых могут меняться в течение времени в зависимости от изменения технологического процесса, на который в свою очередь влияет такой фактор, как качество сырья.

Основными недостатками, влияющими на оптимальный режим работы диффузионного отделения, являются плохо отмытая свекла, неудовлетворительное качество стружки, низкий коэффициент использования мощности диффузионного аппарата, высокое значение рН питательной воды на диффузию, а также ненормированная длительность пребывания потока смеси свекловичной стружки и питательной воды в диффузионном аппарате.

Для повышения эффективности процесса диффузии в отделении необходимо применять комплексную автоматизацию технологического процесса, так как весь технологический процесс получения сахара сбалансирован, и автоматизация отдельных производственных участков не дает ощутимых положительных результатов.

Нормальная работа этого отделения обуславливается регулированием заданных параметров и соотношений веществ, входящих в процесс диффузии. Это регулирование может происходить: вручную, полуавтоматически и автоматически. В данный момент в современном сахарном производстве используется автоматическое регулирование с дублированием ручного для возможности продолжения работы, если какой-либо автоматический регулятор выйдет из строя.

Для построения эффективной системы управления технологическим процессом, необходима информация об объекте исследования, т.е. его математическая модель [2, 3].

Построение математической модели исследуемого объекта является необходимым этапом решения задачи оптимизации его функционирования, качество решения которой и определяется тем, насколько адекватно отражает модель свойства данного объекта. При этом немаловажную роль играет сложность получаемого математического описания, так как использование сложной, но точно отражающей свойства объекта модели приводит к получению сложных законов управления, реализация которых на практике зачастую либо затруднена, либо невозможна. Построение же математической модели объекта сопровождается рядом трудностей, среди которых в первую очередь следует отметить нелинейность и нестационарность характеристик исследуемого объекта [4].

Зачастую оправдывает себя применение линейных моделей, полученных методом регрессионного анализа. Эти вопросы необходимо решать лишь при хорошем изучении технологического процесса и знания математического аппарата обработки данных и умения моделировать исследуемые процессы.

**Целью данной работы** является получение и исследование линейной регрессионной модели диффузионного аппарата для применения в АСУТП сахарного завода.

**Задачи работы:**

Определение основных технологических показателей процесса диффузии;

Получение линейной регрессионной модели объекта;

Проверка адекватности полученной модели и возможности применения в АСУТП.

**Постановка проблемы.** Определение адекватной модели диффузионного аппарата, пригодной для осуществления сложного технологического диффузионного процесса в отделении получения сока для АСУТП сахарного завода.

**Основная часть.** При построении регрессионной модели диффузионного отделения, а соответственно и диффузионного аппарата, так как ДА является основным оборудованием, задающим режим работы не только для всего отделения, а и для всего завода в качестве выходной величины  $Y$  использовалась одна переменная – расход диффузионного сока.

Входными (управляемыми) параметрами диффузионного аппарата являлись:  $X_1$  – температура сокоотружечной смеси от пара в 1-й зоне ДА;  $X_2$  – температура сокоотружечной смеси от пара в 2-й зоне ДА;  $X_3$  – температура сокоотружечной смеси от пара в 3-й зоне ДА;  $X_4$  – температура сокоотружечной смеси от пара в 4-й зоне ДА;  $X_5$  – расход барометрической (питательной) воды;  $X_6$  – расход свекловичной стружки;  $X_7$  – температура барометрической сульфитированной воды.

Кроме того, учитывались и информационные параметры, необходимые для реагирования на изменения технологического процесса, к которым относились:  $X_8$  – уровень в сборнике сульфитированной подогретой барометрической воды;  $X_9$  – температуры в сборнике подогретой барометрической воды;  $X_{10}$  – расход питательной воды;  $X_{11}$  – расход жомопрессовой воды;  $X_{12}$  – уровень в сборнике диффузионного сока;  $X_{13}$  – уровень за ситом и перед ситом диффузионного аппарата;  $X_{14}$  – уровень сокоотружечной смеси;  $X_{15}$  – температура питательной воды в ДА;  $X_{16}$  – рН барометрической воды;  $X_{17}$  – уровень в сборнике барометрической воды после конденсатора;  $X_{18}$  – температура сока на производство;  $X_{19}$  – температура в сборнике сульфитированной подогретой барометрической воды;  $X_{20}$  – рН сока на производство;  $X_{21}$  – СВ сока на производство;  $X_{22}$  –

уровень в сборнике подогретой барометрической воды;  $X_{23-61}$  - контроль работы узлов оборудования в диффузионном отделении.

На первом этапе построения моделей технологического процесса строились наиболее простые регрессионные модели, описываемые уравнением

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

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, так как 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 были получены массивы данных почасовой работы исследуемых отделений производства, которые и использовались при построении моделей (1).

По результатам экспериментальных данных были рассчитаны накопленные частоты  $P_0(x)$ , ожидаемые накопленные частоты для нормального распределения, затем выбиралось максимальное значение  $|P_0(x) - S(x)|$ , с помощью которого и определялся критерий согласия Колмогорова-Смирнова  $D$ . Полученное значение сравнивалось с критическим, взятым из таблиц [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 диффузии, происходящих в ДА, определялись следующие статистические характеристики: математическое ожидание  $m_x$ , дисперсия  $D_x$ , медиана  $Med_x$  (рассчитываемая 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;

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

$M$  – символ математического ожидания.

По представленным формулам получены расчеты массивов данных технологических параметров диффузионного аппарата.

Основные статистические данные технологических переменных и результаты их обработки приведены табл. 1.

Таблица 1 – Статистические данные технологических переменных ДА

Показатели режимов работы ДА	Температура сокоотруженной смеси в первой зоне, $X_1$ , °С	Температура сокоотруженной смеси во второй зоне, $X_2$ , °С	Температура сокоотруженной смеси от в третьей зоне, $X_3$ , °С	Температура сокоотруженной смеси от в четвертой зоне, $X_4$ , °С	Расход питательной воды, $X_5$ , м <sup>3</sup> /час	Расход стружки, $X_6$ т/час	Температура барометрической воды $X_7$ , °С	Расход диффузионного сока, $X_8$ , м <sup>3</sup> /час
Верхний	69	76	74	70	100	80	68	105
Нижний	60	72	72	64	75	60	65	80
Статистические параметры распределения								
$D_x^2$	84,3	7,4	4,8	3,6	102,4	76,5	66,3	224,6
$m_x$	58,2	72,3	70,4	68,2	90,6	75,4	66,7	95,7
$Med_x$	62,5	74,7	73,2	67,7	95,4	77,2	67,1	96,5
$A_x$	-0,5	0,09	-0,74	0,9	-2,4	-1,6	-0,93	-0,8
$E_x$	2,0	2,8	3,1	2,9	6,4	9,6	5,4	6,8

Матрица коэффициентов корреляции переменных диффузионного аппарата представлена табл. 2.

Таблица 2 – Матрица коэффициентов корреляции переменных для ДА

Обозначение параметров	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$Y$
$X_1$	1,0							
$X_2$	0,58	1,0						
$X_3$	0,79	0,09	1,0					
$X_4$	0,48	-0,20	0,63	1,0				
$X_5$	0,58	0,79	0,29	0,06	1,0			
$X_6$	-0,75	-0,74	-0,41	-0,20	-0,70	1,0		
$X_7$	-0,75	-0,54	-0,39	-0,37	-0,37	0,71	1,0	
$Y$	0,61	0,13	0,61	0,49	0,43	-0,41	-0,39	1,0

Значения коэффициентов детерминации исследуемой линейной регрессии представлены табл. 3.

Таблица 3 – Значения коэффициентов детерминации линейной регрессионной модели

$X_i$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_5$	$X_4$	$X_6$	$X_7$
$R^2$	0,571	0,618	0,645	0,659	0,670	0,692	0,71

Определение структуры модели для описания зависимости расхода диффузионного сока от остальных факторов технологического процесса диффузии осуществлялось методом пошаговой регрессии.

В строке “ $R^2$ ” (табл. 3) стоят значения коэффициентов детерминации, служащих мерой согласия соответствующей модели регрессии с имеющимися данными.

После применения МНК была получена следующая модель:

$$Y = 63,27 + 12,65X_1 + 9,435X_2 + 18,42X_3 + 10,63X_4 - 3,657X_5 + 24,3X_6 + 7,36X_7. \quad (5)$$

Значение критерия Фишера для этой модели равно  $F_{\text{расч}} = 162,3$  при  $F_{\text{табл}} = 4,36$ , а значение критерия Стьюдента  $t_{\text{расч}} = 3,67$  при  $t_{\text{табл}} = 2,78$ .

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

**Вывод.** Из сравнения значений критериев Фишера можно видеть, что условие  $F_{\text{расч}} > F_{\text{табл}}$  выполняется, следовательно, впервые созданная математическая модель в первом приближении может быть использована для управления параметрами технологических процессов диффузионного аппарата.

Из анализа полученных значений для критериев Стьюдента можно видеть, что для разработанной математической модели, приведенные в расчете параметры по степени влияния их коэффициентов на управляющий параметр значимы, и их необходимо учитывать при расчете управляющего параметра технологического процесса.

Следовательно, полученная линейная регрессионная модель диффузионного аппарата может соответствовать рассматриваемому динамическому объекту. Но наличие различного рода возмущений и помех и отсутствие достаточно полной информации об условиях функционирования объекта существенно ограничивают среду применения традиционных методов построения модели.

**Список литературы:** 1. Белоусов В. Ю. Стратегия автоматизации производства сахара / В. Ю. Белоусов, А. Ф. Литвинов, О. А. Потапов [и др.]. // Сахар. – 2002. – № 1. – С. 40–42. 2. Яковлев О. Системы автоматизации технологических процессов сахарного производства / О. Яковлев, С. Танцюра, А. Войтюк [и др.] // Пищевая промышленность. – 2000. – № 1. – С. 44–53. 3. Ляшенко С. А. Концепции повышения эффективности АСУТП при производстве сахара в Украине / С. А. Ляшенко, А. С. Ляшенко, И. С. Беляева // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2008. – Вип. 74. – С. 54–63. 4. 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. – 2006. – Вып. № 1 (24). – С. 32–35. 5. Сиденко В. М. Основы научных исследований / В. М. Сиденко, И. М. Грушко. – Харьков : Вища школа, 1978. – 200 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Belousov, V. Ju., et al. "Strategija avtomatizacii proizvodstva sahara" *Sahar*. No. 1, 2002. 40–42. Print. 2. Jakovlev O., et al. "Sistemy avtomatizacii tehnologicheskikh processov saharного proizvodstva" *Pishhevaja promyshlennost'*. No. 1, 2000. 44–53. Print. 3. Ljashenko S. A., A. S. Ljashenko and I. S. Beljaeva. "Konceptii povysheniya jeffektivnosti ASUTP pri proizvodstve sahara v Ukraine." *Visnik Harkivs'kogo nacional'nogo tehnicnogo universitetu sil's'kogo gospodarstva imeni Petra Vasilenka*. No. 74. 2008. 54–63. Print. 4. Ljashenko S.A., and A. S. Ljashenko. "Postroenie matematicheskoj modeli nelinejnogo processa s pomoshh'ju normalizovannoj radial'no-bazisnoj seti." *Vestnik Hersonskogo nacional'nogo tehniceskogo universiteta*. No. 1.24. 2006. 32–35. Print. 5. Sidenko V. M., and I. M. Grushko. *Osnovy nauchnyh issledovanj*. Kharkov. Vishha shkola, 1978. Print.

*Поступила (received) 14.08.2014*