

**УДК 534.83:664.1**

ПЕЧЕРИЦА М.А., аспирант гр. 23-АО-МА1 (КубГТУ)  
Научный руководитель СТЕПАНОВА Е.Г., к.т.н., доцент (КубГТУ)  
г. Краснодар

## **РАСЧЕТ ДЕТЕРМИНИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ЭКСТРАГИРОВАНИЯ САХАРА С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКА**

Одним из перспективных методов интенсификации основных технологических процессов переработки растительных материалов является наложение акустических колебаний, вызывающее изменение скорости тепломассопереноса [1-4]. Экологически безопасный ультразвуковой метод хорошо исследован и широко применяется в машиностроении, автомобилестроении, нефтехимии, фармацевтике и медицине. В пищевых технологиях данное направление привлекло внимание исследователей в последние годы [5-8].

Среди основных процессов свеклосахарного производства центральное место занимает экстрагирование. Лимитирующая стадия экстрагирования — массообменный процесс, движущей силой которого является разность концентрации в экстрагенте и свекловичной стружке. Закон массопереноса описывается уравнением:

$$J = -\Pi D \nabla n \quad (1)$$

где  $J$  – плотность материального потока по параметру  $\Pi$ ;

$D$  – коэффициент диффузии;

$\nabla n$  – градиент концентрации сахарозы.

Для исследования влияния времени ультразвуковой обработки сокостружечной смеси проведены экспериментальные исследования по плану полного факторного эксперимента (ПФЭ)  $3^2$ . В качестве функции отклика принята чистота диффузионного сока. Матрица планирования дана в таблице 1.

Таблица 1. Матрица планирования ПФЭ

Обозначение	Наименование факторов	Минимальное значение	Максимальное значение
$Z_1$	Начальная толщина слоя, мм	20	200
$Z_2$	Время ультразвуковой обработки, с	30	300
$Z_3$	Температура процесса, °C	50	70
$Y$	Выход экстракта, %		

Каждый опыт выполняли в двух повторностях. Результаты экспериментов приведены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты экспериментальных исследований чистоты диффузионного сока от входных факторов

Номер опыта	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_{cp}$
1	+	+	+	84,2	86,2	88,2	86,2
2	-	+	+	84,5	85,5	86,5	85,5
3	+	-	+	84,0	84,4	85,7	84,7
4	-	-	+	86,0	86,1	88	86,7
5	+	+	-	84,9	85,9	86,9	85,9
6	-	+	-	84,7	85,7	86,7	85,7
7	+	-	-	85,0	85,2	85,4	85,2
8	-	-	-	85,6	85,8	86	85,8

Статистическую обработку экспериментальных данных и дальнейшие расчеты проводили по стандартной методике, изложенной в [9]. Для каждого фактора находили центр, интервал варьирования и зависимость кодированной переменной  $x_i$  от натуральной  $z_i$  по формулам (1):

$$x_i = \frac{z_i - z_i^0}{\lambda_i}, \quad (1)$$

где  $z_i^0$  –центр плана;

$\lambda_i$  – интервал варьирования (2):

$$\begin{aligned} z_i^0 &= \frac{z_i^+ + z_i^-}{2} \\ \lambda_i &= \frac{z_i^+ - z_i^-}{2} \end{aligned} \quad (2)$$

Оформляем результаты в таблице 3.

Таблица 3. Кодирование факторов

Факторы	Верхний уровень $z_i^+$	Нижний уровень $z_i^-$	Центр $z_i^0$	Интервал варьирования $\lambda_i$	Зависимость кодированной переменной от натуральной
$z_1$	200	20	110	90	$x_1 = \frac{z_1 - 110}{90}$
$z_2$	300	30	165	135	$x_2 = \frac{z_2 - 165}{135}$
$z_3$	70	50	60	10	$x_3 = \frac{z_3 - 60}{10}$

Матрица планирования с учетом всех взаимодействий и средних значений отклика показана в таблице 4. Рассчитанные значения коэффициентов уравнения регрессии по формулам (3) сведены в таблицу 5.

$$\begin{aligned} b_0 &= \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \bar{y}_j, \\ b_i &= \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ji} \bar{y}_j, \quad i = \overline{1, k}, \\ b_{r,p} &= \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{jr} x_{jp} \bar{y}_j, \quad r < p, \quad r = \overline{1, k}, \quad p = \overline{1, k} \end{aligned} \quad (3)$$

Таблица 4. Матрица планирования для обработки результатов

Номер опыта	Факторы			Взаимодействия				Среднее результатов $\bar{y}_j$
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1 x$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	
1	+	+	+	+	+	+	+	86,2
2	-	+	+	-	-	+	-	85,5
3	+	-	+	-	+	-	-	84,7
4	-	-	+	+	-	-	+	86,7
5	+	+	-	+	-	-	-	85,9
6	-	+	-	-	+	-	+	85,7
7	+	-	-	-	-	+	+	85,2
8	-	-	-	+	+	+	-	85,8

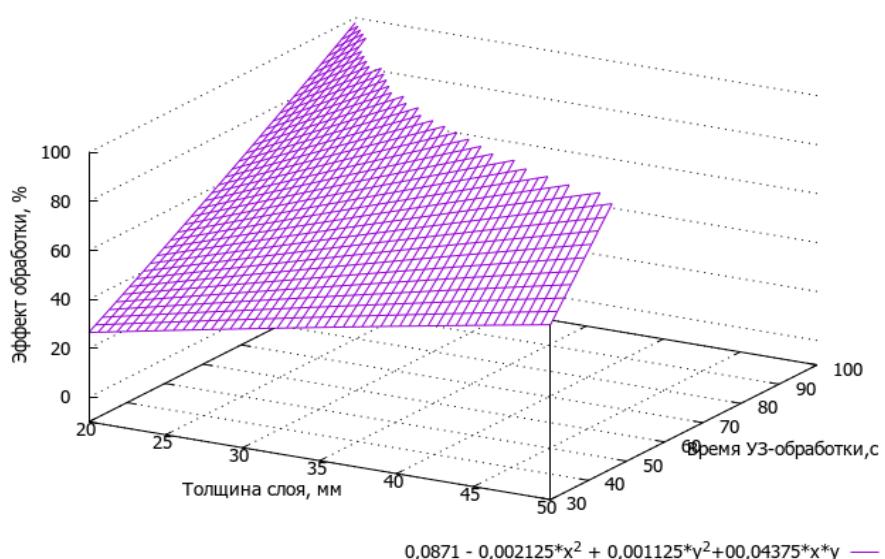
Таблица 5. Коэффициенты уравнения регрессии

$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_{1,2}$	$b_{1,3}$	$b_{2,3}$	$b_{1,2,3}$
0,0871	-0,002125	0,00112	0,000625	0,00437	-0,001125	0,00037	0,00237

Из таблицы 5 следует, что наибольшее влияние на функцию  $Y$  оказывают неучтенные факторы. Из рассмотренных трех факторов максимальное значение коэффициента имеет 2-й фактор – время УЗ-обработки. С учетом того, что в условиях эксперимента 3-й фактор наименее значим, им можно пренебречь. Тогда уравнение регрессии примет вид:

$$Y = 0,0871 - 0,002125 x_1^2 + 0,001125 x_2^2 + 0,04375 x_1 x_2 \quad (4)$$

Графическая зависимость эффекта УЗ-обработки от толщины слоя стружки и времени воздействия ультразвука изображена на рисунке 1.



**Рисунок 1. Графическая зависимость эффекта УЗ-обработки от толщины слоя стружки и времени воздействия**

Таким образом, в ходе построения модели установлено, что увеличение выхода сахара зависит от повышения времени и уменьшения толщины слоя сокостружечной смеси при ультразвуковом воздействии.

#### Список литературы:

- Кубанский П.Н. Интенсификация теплообмена акустическими течениями при вынужденной конвекции // Акустический журнал. 1962. Т. VIII. Вып. 1. С. 85-90.
- Степанова Е.Г. Применение электротехнологии в производстве сахара из свеклы // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2007. № 1 (296). С. 61-62.
- Грачев Н.А., Зубко А.В., Мунассар Е.Х.А., Печерица М.А., Степанова Е.Г., Никонов О.И. Технические аспекты разработки оборудования при перевооружении сахарных заводов // Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия. 2020. Т. 29. С. 26-32.
- Tuktin B., Saidilda G., Nurzhanova S., Ongarbayev Ye. Hydroprocessing of gasoline on modified alumina catalysts // Catalysts. 2024. Т. 14. № 7. С. 404.
- Жматова Г.В., Нефёдов А.Н., Гордеев А.С., Килимник А.Б. Методы интенсификации технологических процессов экстрагирования биологически активных веществ из растительного сырья // Вестник ТГТУ. 2005. Том 11. № 3. С. 701-707.
- Черемных М.М., Донскова Л.А. К вопросу об использовании ультразвуковых технологий в пищевой промышленности // Научные труды Вольного экономического общества России. 2012. Т. 166. С. 255-260.
- Печерица М.А., Липай И.С., Степанова Е.Г. Возможности применения ультразвука (УЗ) при экстрагировании сахара // Ж-л «Технологии пищевой и

перерабатывающей пром-сти АПК – продукты здорового питания» 2024, № 4. С. 250-256.

8. Нициевская К.С., Нечаева В.С. Влияние ультразвукового воздействия на растительное сырьё // Ползуновский вестник. 2021 № 2 С. 55–62.

9. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. 140 с.