

Биотехнология, бионанотехнология и технология сахаристых продуктов

УДК 664.1.035.1

Профессор В.А. Голыбин, профессор Н.Г. Кульнева,
доцент В.А. Федорук
(Воронеж. ун-т инж. технол.) кафедра технологии сахаристых веществ,
тел. (473) 255-07-51

Подготовка экстрагента для процесса диффузии сахарозы методом электрохимической активации

Изучено влияние подготовки экстрагента для диффузионного извлечения сахара из свекловичной стружки. Исследована возможность применения электрохимической активации для подготовки экстрагента. Подобраны оптимальные условия обработки.

Study of influence of preparation of the extractant for the diffusion extraction of sugar from the tortoise chips. Research of an opportunity of application of electrochemical activation for the preparation of the extractant and selection of optimal processing conditions.

Ключевые слова: экстрагент, электрохимическая активация, диффузия.

На процесс экстракции сахарозы из свеклы значительное влияние оказывает качество экстрагента [1]. Источниками воды для технологических процессов свеклосахарных заводов являются открытые водоемы, качество воды в которых не отвечает требованиям, предъявляемым к пищевым производствам. Так, в речной и прудовой воде содержатся коллоидные соединения, взвешенные вещества и находящиеся в ионном состоянии минеральные и органоминеральные частицы почвы, недиссоциированные и нерастворимые формы гумусовых веществ.

Прогрессивным направлением в технологии подготовки питательной воды для диффузионного извлечения сахарозы из свеклы является использование электрохимических методов [2].

Цель работы – исследования по использованию электрохимической активации (ЭХА) для подготовки питательной воды [3-5]. В качестве активаторов использовали различные химические агенты, в частности, сульфат алюминия.

Опыты проводили по следующей методике. Раствор сульфата алюминия массовой долей от 0,0001 до 0,0020 % подвергали ЭХА в течение 3 мин, изменяя напряжённость электрического поля в интервале 1,0-10,3 В/см. Полученную таким образом питательную воду использовали для получения диффузионного сока с последующей его очисткой. Параллельно проводили получение и очистку диффузионного сока по классической схеме, определяли качественные показатели очищенного сока. (табл. 1).

Таблица 1

Влияние ЭХА воды с добавлением $Al_2(SO_4)_3$ на качество очищенного сока

Показатели	Классическая	С предварительной ЭХА при различной концентрации $Al_2(SO_4)_3$		
		0,0050	0,0010	0,0005
рН воды после ЭХА	-	4,20	4,45	4,60
рН диффузионного сока	6,60	5,90	6,20	6,45
Чистота очищенного сока, %	90,90	92,90	92,70	91,90

При использовании сернокислого алюминия для подготовки и очистки питательной воды количество образующейся гидроокиси алюминия ограничивается расходом реагента, который зависит от величины рН экстрагента, применяемого в свеклосахарном производстве для диффузионных аппаратов (около 6). Предлагаемый способ ЭХА питательной воды создает возможность для образования необходимого количества гидроокиси алюминия для повышения эффекта очистки на диффузионных установках [6].

Кроме того, электрокоагуляционная очистка природной воды способствует удалению микробиологических загрязнений, в результате чего снижается расход или полностью отпадает необходимость в использовании дорогостоящих дезинфектантов.

Для исследования взаимодействия факторов, влияющих на процесс экстрагирования сахарозы с использованием ЭХА воды, применены математические методы планирования с получением обобщенных уравнений регрессии. В качестве основных факторов выбраны: X_1 – расход сульфата алюминия, % к массе воды; X_2 – напряженность электрического поля, В/см.

Выбор интервалов измерения факторов обусловлен технологическими условиями проведения процесса с учетом расхода электроэнергии. Критериями оценки влияния различных факторов на процесс ЭХА выбраны: Y_1 – чистота диффузионного сока, %; Y_2 – массовая доля редуцирующих веществ в диффузионном соке, %; Y_3 – чистота очищенного сока, %; Y_4 – массовая доля редуцирующих веществ в очищенном соке, %; Y_5 – массовая доля солей кальция в очищенном соке, %.

В результате статистической обработки экспериментальных данных получены следующие уравнения регрессии:

$$Y_1 = 84,70 + 0,17 \cdot X_1 + 0,64 \cdot X_2 - 1,91 \cdot X_1^2 + 1,09 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,94 \cdot X_2^2;$$

$$Y_2 = 0,08 - 0,02 \cdot X_1 + 0,01 \cdot X_2 + 0,10 \cdot X_1^2 - 0,01 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,05 \cdot X_2^2;$$

$$Y_3 = 89,02 + 1,20 \cdot X_1 + 0,75 \cdot X_2 - 0,50 \cdot X_1^2 + 0,75 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,60 \cdot X_2^2;$$

$$Y_4 = 0,02 - 0,02 \cdot X_1 - 0,02 \cdot X_1^2 - 0,01 \cdot X_2^2;$$

$$Y_5 = 0,03 + 0,01 \cdot X_1^2 + 0,01 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,01 \cdot X_2^2.$$

По полученным уравнениям построены графические зависимости (рис. 1-3).

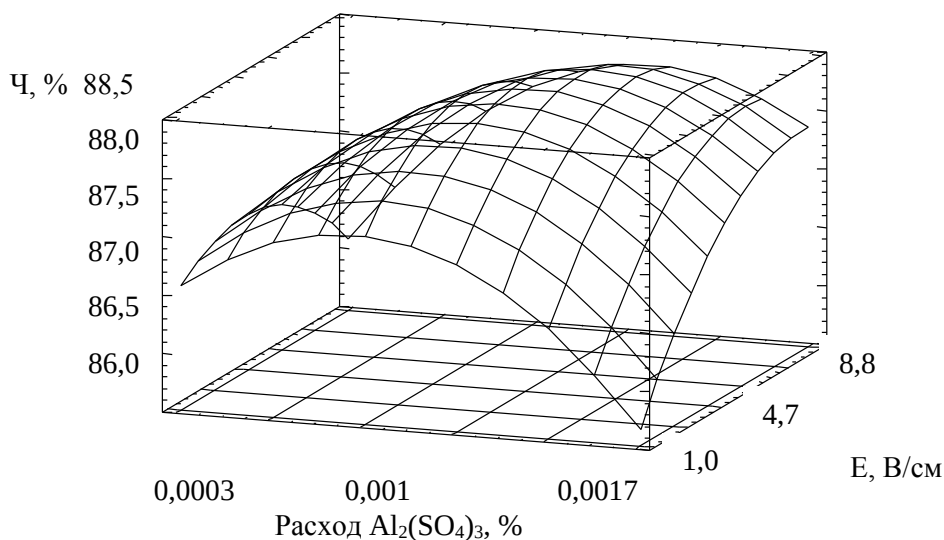


Рис. 1. Зависимость чистоты диффузионного сока от массовой доли сульфата алюминия и напряженности поля в процессе ЭХА питательной воды

Рис. 1-3 показывают, что максимум чистоты и минимум содержания редуцирующих веществ находятся при экстракции сахарозы водой, полученной при обработке электрическим полем напряженностью около 4,7 В/см и

расходе сульфата алюминия 0,001 % к массе сока. При увеличении расхода сульфата алюминия чистота диффузионного сока увеличивается от 82 до 85 %. Дальнейшее повышение расхода сульфата алюминия после достижения

максимальной точки приводит к незначительному снижению чистоты диффузионного сока, повышая содержание несахаров в растворе. При увеличении напряженности наблюдается повышение чистоты сока. После увеличения напряженности более 4,7 В/см чистота сока практически не изменяется.

Достижимый эффект объясняется тем, что в процессе ЭХА слабokonцентрированных растворов солей поливалентных металлов

происходит электрохимическое воздействие на присутствующие в растворе ионы и молекулы, в результате чего последние вследствие подвижности приобретают повышенную потенциальную энергию и каталитическую активность [7]. Кроме того, в процессе ЭХА образуются электролизные газы (H_2 , O_2 , Cl_2), которые снижают кинематическую вязкость, увеличивая коэффициент молекулярной диффузии, и придают раствору дезинфицирующие свойства.

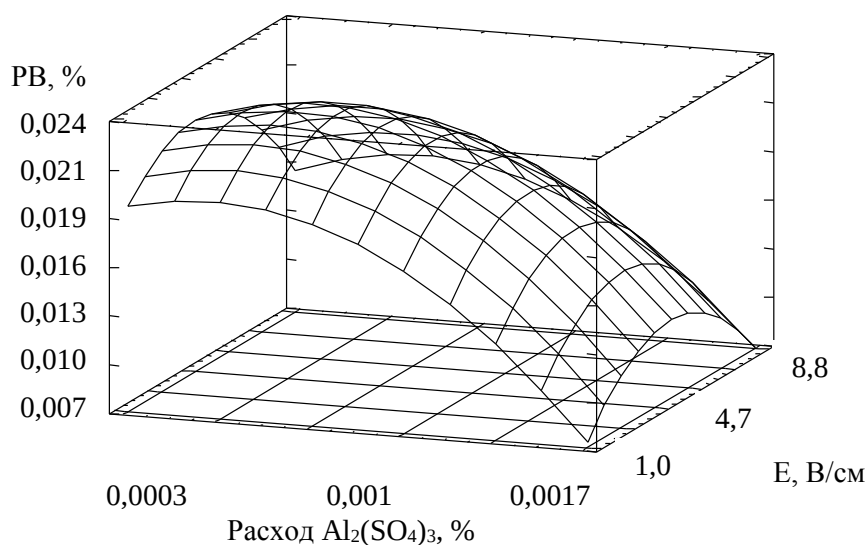


Рис. 2. Массовая доля редуцирующих веществ в очищенном соке в зависимости от параметров ЭХА экстрагента

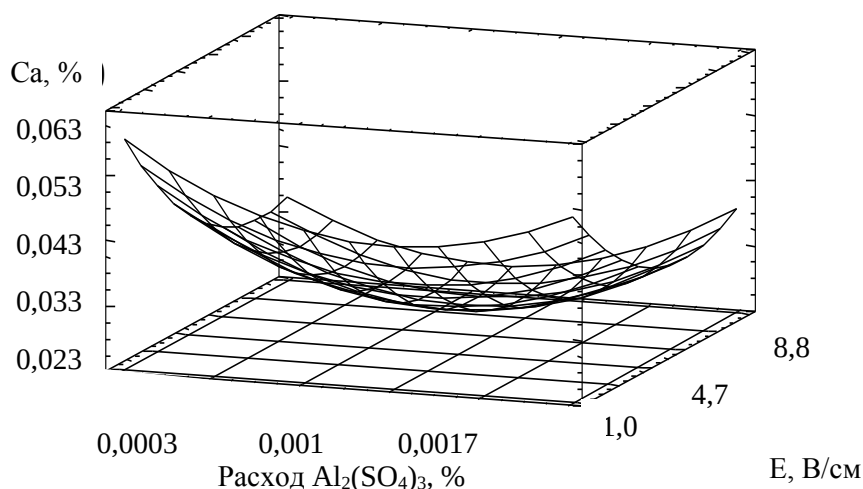


Рис. 3. Влияние массовой доли сульфата алюминия и напряженности электрического поля в процессе ЭХА экстрагента на содержание солей кальция в очищенном соке

Увеличение массовой доли сульфата алюминия приводит к повышению чистоты очищенного сока, снижению массовой доли редуцирующих веществ. При низком расходе сульфата алюминия с повышением напряженности поля при ЭХА экстрагента чистота очищенного сока убывает, а при высоком – растет.

Увеличение напряженности электрического поля до 4,7 В/см приводит к повышению содержания редуцирующих веществ, а дальнейшее увеличение – к их снижению. Такой характер графиков объясняется следующим образом. При подаче потенциала на электроды в жидкости возникает перераспределение концентраций электрохимически активного вещества, обусловленное воздействием электрического поля. Между электродом и жидкостью образуется двойной электрический слой, в пределах которого создаются высокие концентрации электрохимически активных реакционноспособных веществ. Далее в процессе очистки эти вещества взаимодействуют с сахарами свеклы. За счет электростатических сил происходит агрегирование разноименно заряженных частиц. При этом наблюдается интенсивное мицеллообразование и коагуляция взвешенных частиц и удаление их из сока. В результате этого качественные показатели очищенного сока улучшаются.

Минимальное содержание солей кальция наблюдается при напряженности 4,7 В/см и массовой доле сульфата алюминия 0,001 % к массе сока. Повышение или понижение данных показателей приводит к увеличению массовой доли солей кальция в очищенном соке. Во время ЭХА растворов наряду с реакцией разложения воды образуются гидроксиды и другие высокоактивные продукты; одновременно с образованием гидроксидов выпадают в осадок примеси тяжёлых металлов, изменяются концентрации ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} в результате образования нерастворимых карбонатных и гидроксильных соединений. Они снижают общую жёсткость воды, а также увеличивают коагулирующую способность и бактерицидные свойства экстрагента и способствуют снижению потерь сахарозы при экстрагировании.

На основании полученных экспериментальных данных построены кривые равных значений чистоты, массовой доли редуцирующих веществ диффузионного сока и чистоты, массовой доли редуцирующих веществ и солей кальция в очищенном соке. Пользуясь данными номограммами, можно определить рациональные величины качественных показателей

соков при различном сочетании параметров процесса ЭХА экстрагента.

Задача оптимизации [8] процесса экстракции с применением ЭХА питательной воды заключалась в поиске условий, при которых чистота диффузионного и очищенного соков максимальна, а массовые доли редуцирующих веществ и солей кальция – минимальны.

Полученные обобщенные уравнения регрессии для $Y_1 - Y_5$ были использованы для решения задачи оптимизации процесса подготовки экстрагента.

Для решения задачи оптимизации процессов с большим количеством откликов использована обобщенная функция желательности (критерий Харрингтона) D . Для построения обобщенной функции желательности преобразованы измеренные значения откликов в безразмерную шкалу желательности d . Построение шкалы желательности устанавливает соотношение между значением отклика Y и соответствующим ему значением d (частной функцией желательности).

В нашем случае имеют место односторонние ограничения на выходные параметры вида $Y \leq Y_{\max}$ или $Y \geq Y_{\min}$. Удобной формой преобразования Y в d служит экспоненциальная зависимость:

$$d = \exp [- \exp (-Y')],$$

где $Y' = b_0 + b_1 Y$.

Коэффициенты b_0 и b_1 можно определить, если задать для двух значений свойства Y соответствующие значения желательности d предпочтительно в интервале $0,2 < d < 0,8$. Для определения b_0 и b_1 был использован следующий прием: худшему значению отклика, полученному по матрице планирования, присваивали значение желательности, равное 0,2, а лучшему значению свойства, определенному по соответствующему уравнению регрессии методом нелинейного программирования в области исследования, присваивали значение желательности, равное 0,8.

Частные функции имеют вид

$$\begin{aligned} d_1 &= \exp [- \exp (35,488 - 0,437Y_1)], \\ d_2 &= \exp [- \exp (-1,856 + 3,008Y_2)], \\ d_3 &= \exp [- \exp (24,892 - 0,286Y_3)], \\ d_4 &= \exp [- \exp (-1,977 + 23,565Y_4)], \\ d_5 &= \exp [- \exp (-3,273 + 51,842Y_5)]. \end{aligned}$$

Значения частных функций желательности для всех точек плана, определенные по этим формулам, приведены в табл. 2.

Значения частных и обобщенной функций желательности

X_1	X_2	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	D
-1	-1	0,310	0,700	0,590	0,802	0,631	0,578
1	-1	0,401	0,749	0,536	0,713	0,470	0,558
-1	1	0,739	0,676	0,802	0,794	0,478	0,686
1	1	0,205	0,694	0,542	0,767	0,511	0,497
-1,414	0	0,243	0,779	0,590	0,795	0,550	0,547
1,414	0	0,449	0,671	0,205	0,205	0,689	0,387
0	1,414	0,761	0,802	0,693	0,584	0,707	0,705
0	-1,414	0,469	0,772	0,520	0,474	0,664	0,568
0	0	0,802	0,205	0,565	0,427	0,734	0,493
0	0	0,802	0,205	0,565	0,427	0,734	0,493

Обобщенная функция желательности определена по формуле

$$D = \sqrt[5]{d_1 \cdot d_2 \cdot d_3 \cdot d_4 \cdot d_5}$$

и приведена в последней графе табл. 2.

Анализируя полученные значения обобщенной функции желательности, можно сделать вывод об оптимальных условиях подготовки питательной воды для экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки:

- расход сульфата алюминия – 0,001 % к массе сока;

- напряженность электрического поля – 10,3 В/см.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сапронов, А.Р. Технология сахарного производства [Текст] / А.Р. Сапронов, 2-е изд., исправл. и доп. - М: Колос, 1999. - 495 с.

2. Кульнева, Н.Г. Электротехнологии в производстве сахара: монография [Текст] / Н.Г. Кульнева, В.А. Голыбин, В.А. Федорук. - Воронеж, 2007. - 236 с.

3. Патент № 2235132 Российская Федерация. Устройство для электрохимической очистки жидкости [Текст] / Голыбин В.А., Кульнева Н.Г., Федорук В.А.; заявлено 21.04.2003, опубл. 27.08.2004, Бюл. № 24.

4. Патент № 2260622 Российская Федерация. Способ получения диффузионного сока [Текст] / Голыбин В.А., Кульнева Н.Г., Федорук В.А.; заявлено 08.12.2003. Опубл. 20.09.2005, Бюл. № 26.

5. Патент № 2264470 Российская Федерация. Способ получения диффузионного сока [Текст] / Голыбин В.А., Кульнева Н.Г., Федорук В.А. Заявлено 04.03.2004. Опубл. 20.11.2005, Бюл. № 32.

6. Голыбин, В.А. Использование электрического поля в сахарном производстве [Текст] / В.А. Голыбин, Н.Г. Кульнева, В.А. Федорук // Материалы Международной научно-практической конференции «Стратегия развития свеклосахарного комплекса России». – Курск, 2007. – С. 53-55

7. Белостоцкий, Л. Г. Подготовка питательной воды для экстрагирования [Текст] / Л. Г. Белостоцкий, В. М. Милькевич // Сахарная промышленность. - 2000. - № 3. – С. 13-15.

8. Голыбин, В.А. Выбор рациональных условий подготовки питательной воды для экстрагирования сахарозы [Текст] / В.А. Голыбин, Н.Г. Кульнева, В.А. Федорук // Сборник научных трудов участников VII ежегодной научно-практической конференции «Энерго- и ресурсосберегающие технологии сахарного производства». – Москва, 2007. – С. 69-74.