

# Влияние электрогидравлической обработки на сокоотражечную смесь сахарной свеклы

А. И. Маринин, В. В. Олишевский

Национальный университет пищевых технологий,  
ул. Владимирская, 68, г. Киев, 01033, Украина, e-mail: [a\\_marinin@ukr.net](mailto:a_marinin@ukr.net)

Исследовано влияние электрогидравлической обработки смеси стружки сахарной свеклы в диффузионном соке на интенсификацию процесса экстрагирования сахарозы. Показана зависимость от напряжения электрического разряда и его количества технологических показателей полученного диффузионного сока.

*Ключевые слова:* электрогидравлическая обработка, сокоотражечная смесь сахарной свеклы, мякоть сахарной свеклы, чистота диффузионного сока.

УДК 621.7.044.4:664.1/2

## ВВЕДЕНИЕ

Одна из важных стадий экстракции сахарозы в свеклосахарном производстве – предварительная тепловая обработка стружки сахарной свеклы в экстрагенте. Эффективность проведения этого процесса зависит от степени извлечения сахарозы из стружки сахарной свеклы, качества полученного диффузионного сока, а также потери сахарозы от микробиологической деятельности, ферментативного разложения и кислотного гидролиза.

На сегодняшний день в пищевой и перерабатывающей промышленности все больше находят применение электрофизические методы обработки пищевых продуктов и полупродуктов, одним из которых является электрогидравлическая обработка (ЭГО).

М.А. Яцко [1, 2] показал, что электрогидравлическая обработка влияет на сокоотдачу растительного сырья. По сравнению с контрольными опытами ЭГО повышает сокоотдачу свеклы на 35–40%, винограда – на 7–11, вишен – на 13–14%. Проведенные токсиколого-гигиенические исследования виноградных соков после обработки не показали отрицательного влияния на организм животных и, следовательно, могут быть рекомендованы для питания [2].

На протяжении более десяти лет ведутся исследования в Пятигорской государственной фармацевтической академии в области электро-разрядного экстрагирования растительного сырья с различными морфолого-анатомическими строениями [3–17].

В частности, установлено [14], что использование электрических разрядов обеспечивает экологическую чистоту целевого растительного сырья при меньших затратах энергии и времени обработки в сравнении с традиционными методами экстрагирования, при этом извлеченное вещество сохраняет свою структуру. А электро-

разрядное экстрагирование алкалоидов из коры раувольфии и листьев красавки увеличивает их выход на 32% по сравнению с процессом настаивания [15, 17].

Кинетика массообмена при электроразрядном выделении полисахаридов из корнеплодов скорцонера показывает увеличение выхода полисахаридов в 1,32 раза по сравнению с методом мацерации [16, 17]. При этом снижение с помощью электроразрядной обработки содержания полифенолоксидазной и пероксидазной активности в сырье скорцонера позволяет существенно сократить процессы гидролиза фенольных соединений и сохранить важные функциональные свойства биологически активных соединений этого сырья.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

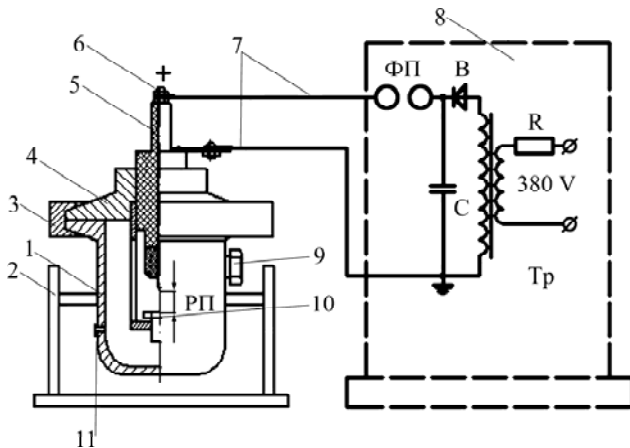
Электрогидравлическую обработку сокоотражечной смеси проводили на экспериментальной установке (рис. 1), которая состоит из генератора импульсных токов ГИТ 50-5×1/4С УХЛ4 и электроразрядной камеры объемом 2700 см<sup>3</sup> литра, с электродной системой типа «острие-плоскость» [18].

Сокоотражечную смесь готовили в лабораторных условиях путем измельчения сахарной свеклы на свеклорезке с последующим смешиванием её с водой.

Физико-химические характеристики стружки сахарной свеклы, диффузионного сока определяли по общепринятой методике [19, 20].

К образцам диффузионного сока добавляли гидроокись кальция (в виде водной суспензии), проводили прогрессивную предварительную дефекацию при установленной температуре и продолжительности процесса до рН сока 10,8–11,2, после чего осуществляли комбинированную основную дефекацию. Дефекованный сок сатурировали двуокисью углерода до конечного значения рН и щелочности I сатурации. К фильтро-

ванному соку I насыщенности добавляли известковое молоко в количестве 0,3% CaO к массе свеклы, после чего проводили II насыщенность до конечных значений pH и щелочности.



**Рис. 1.** Принципиальная схема экспериментальной установки: 1 – электроразрядная камера; 2 – станина; 3 – хомут; 4 – крышка; 5 – изолятор; 6 – положительный электрод; 7 – высоковольтные кабели; 8 – генератор импульсных токов ГИТ 50-5×1/4С УХЛ4; 9, 11 – технологические отверстия; 10 – отрицательный электрод; РП – разрядный промежуток; ФП – формирующий промежуток; Тр – трансформатор; В – выпрямитель; R – разрядное сопротивление; С – конденсатор.

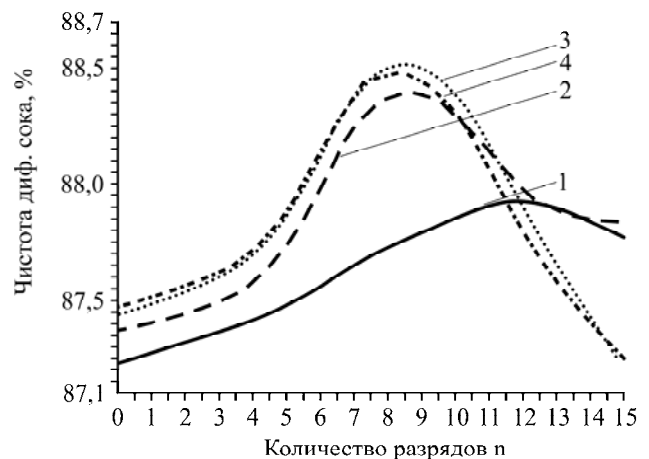
Известь получали путем прокалывания химически чистой пушонки в муфельной печи при температуре 920°C. Известковое молоко готовили непосредственно перед очисткой взвешиванием необходимого количества извести и гашением водой с температурой 80°C в соотношении CaO:H<sub>2</sub>O = 1:3,8 ( $\gamma = 1,18 \text{ г/см}^3$ ).

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Одним из основных показателей диффузионного сока является его доброкачественность, или чистота – отношение сахарозы (Сх) к сухим веществам (СВ) [21, 22]. Поэтому критерием оптимизации при выборе режимов ЭГО была чистота полученного диффузионного сока после ЭГО сокоотружечной смеси.

При обработке стружки сахарной свеклы установлено влияние электрических параметров на содержание сухих веществ, а следовательно, и чистоту полученного диффузионного сока.

После ЭГО сокоотружечной смеси проводили экстрагирование по классическому методу [19–25]. Анализ результатов (рис. 2) показывает, что ЭГО сокоотружечной смеси с напряжением 35 кВ и количеством разрядов 7–10 способствует увеличению чистоты диффузионного сока на 1,2%. Важно отметить, что диффузионный сок является полупродуктом и проходит ряд сложных физико-химических изменений в процессе получения товарного сахара-песка, поэтому исследования на токсичность не проводились.

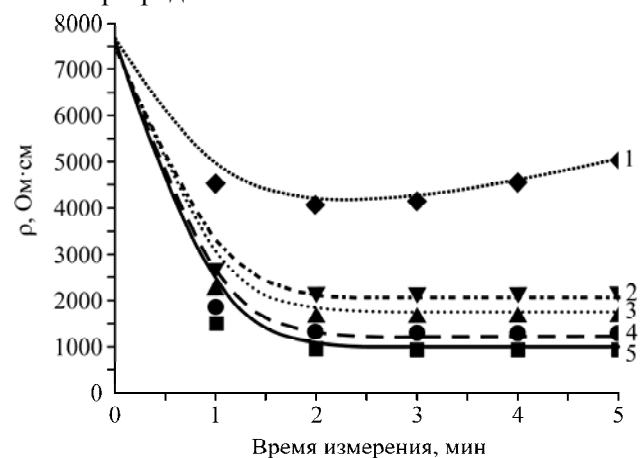


**Рис. 2.** Зависимость чистоты диффузионного сока от режима электрогидравлической обработки сокоотружечной смеси в кВ: 1 – 25; 2 – 30; 3 – 35; 4 – 40.

Количество разрядов больше 12 ведет к уменьшению чистоты за счет перехода нес сахаров в диффузионный сок с поврежденных клеток ткани сахарной свеклы, которые в дальнейшем ухудшают условия кристаллизации и уменьшают выход сахара. Расхождение в интервале количества разрядов объясняется разными свойствами исходного сырья – сахарной свеклы.

Процесс плазмолиза завершается после достижения максимальной электропроводности сырья, которая зависит от проникновения ионов растворимых веществ [26, 27].

Проведенные нами исследования показали, что любой режим ЭГО сокоотружечной смеси приводит к снижению удельного сопротивления и увеличению проницаемости клетки (рис. 3), при этом достигается степень плазмолиза в пределах 53–98%. Конечное значение удельной электропроводности, а следовательно, и степени плазмолиза ткани существенно зависит от количества разрядов.



**Рис. 3.** Зависимость удельного сопротивления ткани сахарной свеклы от времени измерения после электрогидравлической обработки при количестве разрядов: 1 – 5; 2 – 7; 3 – 10; 4 – 12; 5 – 15.

Классическая технологическая схема получения диффузионного сока в диффузионных аппара-

**Таблица 1.** Зависимость изменения качественных показателей диффузионного сока от температуры экстрагирования и режимов электрогидравлической обработки сокоотружечной смеси

Температура, °С	Количество разрядов	pH <sub>20</sub>	СВ, %	Сх, %	Ч, %
50	Без обработки	6,3	13,2	11,55	87,54
	7	6,3	13,2	11,72	88,78
	10	6,3	13,4	11,95	89,18
60	Без обработки	6,1	13,0	11,35	87,31
	7	6,3	13,2	11,75	89,02
	10	6,3	13,4	12,0	89,55
70	Без обработки	6,5	13,2	11,45	86,74
	7	6,4	13,4	11,80	88,06
	10	6,4	13,5	11,75	88,04
75	Без обработки	6,4	13,4	11,6	86,57
	7	6,3	13,6	11,95	87,88
	10	6,3	13,6	11,9	87,5

**Таблица 2.** Влияние режимов электрогидравлической обработки сокоотружечной смеси на качественные показатели диффузионного сока

Вещества	60°С			75°С		
	Контроль	После ЭГО, разр.		Контроль	После ЭГО, разр.	
		7	10		7	10
Редуцирующие до массы сухих веществ	–	1,047	1,047	1,165	1,156	1,157
Пектиновые	–	1,54	1,55	1,98	1,62	1,65
Высокомолекулярные	–	4,012	4,123	9,847	5,111	5,346
Общий азот	–	0,47	0,47	0,74	0,54	0,56

ратах вертикального типа [21, 24] предусматривает предварительную тепловую обработку сокоотружечной смеси при температуре 85°С в оппаривателях с последующим экстрагированием при 75°С. При этом высокие температурные режимы ухудшают качественные показатели полученных продуктов, ослабляют жесткость стружки, ухудшают массообменные процессы. К факторам, влияющим на скорость протекания диффузии, относятся также свойства экстрагента, качество сахарной свеклы, разность концентраций, температура и гидродинамические условия действия на оболочку клетки, которая создает основное сопротивление процессу диффузии. Особенно значительный интерес представляет экстрагирование сокоотружечной смеси при пониженных температурах [27–29].

После ЭГО сокоотружечной смеси проводили экстрагирование при температурах 50, 60, 70, 75°С. Анализ результатов (табл. 1) показывает, что качественные показатели диффузионного сока в значительной мере зависят от температуры проведения процесса. Рациональным температурным режимом с точки зрения чистоты полученного сока является ЭГО сокоотружечной смеси с температурой экстрагирования 60°С, где чистота сока была выше на 1,98% по сравнению с диффузионным соком, полученным

традиционным способом с температурой экстрагирования 75°С.

Это является прямым подтверждением того, что применение ЭГО сахарной стружки в экстрагенте положительно влияет на качественные показатели соков, улучшает плазмолиз клетки, что дает возможность корректировать температуру экстрагирования в диффузионном аппарате путем ее снижения, а это ведет к экономии энергозатрат и времени проведения процесса.

Известно, что переход высокомолекулярных соединений, к которым относятся белки и пектиновые вещества, в диффузионный сок в значительной мере определяет режим работы экстракционного оборудования. Пектин при экстрагировании с тепловой обработкой стружки сахарной свеклы переходит в диффузионный сок, дает коллоидные растворы, тем самым затрудняет фильтрацию и варку сахарных уфелей [21–26]. Редуцирующие вещества в виде фруктозы и глюкозы во время экстрагирования почти полностью переходят в диффузионный сок [25, 26] и образуют инвертный сахар.

Анализ полученных результатов после ЭГО с последующей температурой экстрагирования 60°С показывает, что содержание пектиновых веществ в диффузионном соке было ниже на 23%, высокомолекулярных соединений – на 46,

общего азота – на 36% относительно сока, полученного традиционным классическим способом.

Количественный состав редуцирующих веществ в диффузионном соке и состав инвертного сахара неизменны.

### ВЫВОДЫ

Таким образом, нами установлено, что электрогидравлический способ обработки сокоотружечной смеси в рациональном режиме имеет ряд преимуществ перед классической схемой полученного диффузионного сока. При определенных параметрах обработки есть возможность проводить экстрагирование в области сниженных температур, при этом прирост чистоты составляет 1,98%.

Подтверждено влияние электрогидравлической обработки на клеточную проницаемость, в результате чего величина степени плазмолиза составляет 53–98%.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Яцко М.А., Журавлева Н.А., Флауменбаум Б.Л. Определение влияния электрогидравлического эффекта на сочное растительное сырье. *ЭОМ*. 1971, (5), 76–80.
2. Яцко М.А., Журавлева И.А. ЭГ установка мембранного типа для обработки виноградной мезги. *ЭОМ*. 1970, (4), 53–57.
3. Казуб В.Т., Оробинская В.Н., Коновалов Д.А. Влияние электроимпульсной обработки на ферменты пищевого растительного сырья. *Материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. «Роль вузовского потенциала и научных учреждений в реализации стратегии социально-экономического развития кавказских минеральных вод до 2020 года»*, 6–13 сент. 2007 г., Анталия, Турция. 2007. С. 40–43.
4. Степанян В.П., Щербак С.Н. Интенсивный способ извлечения пектиновых веществ из яблочных отходов. *Материалы 51-й региональной конференции по фармакологии, фармации и подготовке кадров*. Пятигорск. 1996. С. 47–48.
5. Анисимова В.П., Степанян В.П., Казуб В.Т., Кудимов Ю.Н., Ващенко Т.Н., Криворотое Н.В. Получение пектинов электроимпульсной экстракцией. *Материалы научно-практической конференции, посвященной 75-летию Украинской фармацевтики «Достижения фармации – в медицинскую практику»*. Харьков, 1996. С. 126–127.
6. Степанян В.П., Казуб В.Т., Кудимов Ю.Н., Ващенко Т.Н., Криворотое Н.В., Водолаженко Р.А. Антибактериальные свойства пектинов и их производных, полученных методом электроимпульсной экстракции. *Материалы научно-практической конференции, посвященной 75-летию Украинской фармацевтики «Достижения фармации – в медицинскую практику»*. Харьков, 1996. С. 260.
7. Кудимов Ю.Н., Казуб В.Т., Голов Е.В. Электроразрядные процессы в жидкости и кинетика экстрагирования биологически активных компонентов. Часть I. Ударные волны и кавитация. *Вестник ТГТУ*. 2002, 8(2), 253–263.
8. Кудимов Ю.Н., Казуб В.Т., Голов Е.В. Кинетика электроразрядного процесса экстрагирования растительного сырья. *Изв. вуз. Химия и химическая технология*. 2002. Т. 45. № 1. С. 23–28.
9. Борисов А.Г., Оробинская В.Н., Казуб В.Т. Кинетика процессов экстрагирования полисахаридов из корнеплодов скорцонера испанского под воздействием электрического разряда. *Вестник Тамбовского государственного технического университета*. 2011, 17(2), 410–416.
10. Рудобашта С.П., Казуб В. Т., Борисов А. Г. Кинетика массообмена при электроразрядном экстрагировании. *Вестник МГАУ им. В. П. Горячкина*. 2005, (3), 22–25.
11. Рудобашта С.П., Казуб В. Т., Борисов А. Г. Кинетика массообмена при электроразрядном экстрагировании целевого компонента из растительного сырья. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2005, (6), 31–33.
12. Рудобашта С.П., Казуб В.Т., Борисов А.Г. Влияние режимных параметров процесса на кинетику электроразрядного экстрагирования целевого компонента из растительного сырья. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2005, (12), 27–30.
13. Рудобашта С.П., Казуб В.Т., Борисов А.Г. Критерияльная зависимость для расчета коэффициента массопередачи по жидкой фазе при электроразрядном экстрагировании. *Вестник МГАУ им. В.П. Горячкина*. 2006, (1), 31–34.
14. Мартиросян К.В., Голов Е.В., Казуб В.Т., Кудимов Ю.Н. Экологически безопасные технологии экстрагирования растительного сырья. *Тезисы докладов 2-й межвуз. научно-практической конференции «Актуальные проблемы социально-экономического и духовного развития регионов Российской Федерации»*, Пятигорск, 2000. С. 132.
15. Кудимов Ю.Н., Казуб В.Т., Голов Е.В., Мартиросян К.В. Кинетика измельчения растительного сырья при электроразрядном экстрагировании. *Изв. вуз. Северо-Кавказский регион. Технические науки*. 2002, (2), 83–85.
16. Борисов, А.Г., Оробинская В.Н., Казуб В.Т. Кинетика процессов экстрагирования полисахаридов из корнеплодов скорцонера испанского под воздействием электрического разряда. *Вестник Тамбовского государственного технического университета*. Тамбов: Тамб. гос. техн. ун-т, 2011, 17(2), 410–416.
17. Пат. 2393869 Российская Федерация, МПК А 61 К 36/28, А 61 К 31/715, А 61 Р 31/00. Способ получения водорастворимых полисахаридов из *Scorzonera hispanica L.* Казуб В.Т., Оробинская В.Н., Коновалов Д.А., Голов Е.В., заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Пятигор. гос. фармацевт.

- акад.» № 007146947/15 ; заявл. 17.12.2007 ; опубл. 10.07.2010, Бюл. № 19–7 с.
18. Ардинський О.В., Олішевський В.В., Верченко Л.М., Маринін А.І., Ткаченко С.В. Електроіскрове очищення дифузійного соку. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2012, 170(1), 355–359.
  19. *Інструкція по хіміко-технічному контролю і учету сахарного виробництва*. Київ, 1983. С. 148–150.
  20. Герасименко О.А., Хвалковський Т.П. *Методи аналізу і контролю у виробництві цукру*. Київ: Вища школа, 1992. 388 с.
  21. *Технологія сахара*. Под редакцією П.М. Силина М.: Промиздат, 1958. 480 с.
  22. Головин П.В., Герасименко А.А. *Хімія і технологія свеклосахарного виробництва*. Київ: Наукова думка, 1964. 728 с.
  23. Архипович Н.А. *Общая технология сахаристых веществ*. Київ: Вища школа, 1970. 519 с.
  24. Сапронов А.Р. *Технологія сахарного виробництва*. М.: Агропромиздат, 1986. 431 с.
  25. Сапронов А.Р., Жушман А.И., Лосева В.А. *Общая технология сахара и сахаристых веществ*. М.: Пищевая промышленность, 1979. 464 с.
  26. Лысянский В.М. *Процесс экстракции сахара из свеклы. Теория и расчет*. М.: Пищевая промышленность, 1973. 224 с.
  27. Силин П.М. *Технологія сахара*. М.: Пищевая промышленность, 1967. 624 с.
  28. Лысянский В.М. Зависимость коэффициента диффузии сахара в свекле от температуры и концентрации. *Сахарная промышленность*. 1964, (5), 8–15.
  29. Даишев М.И. *Пути ресурсосбережения и интенсификации в сахарном производстве (сокодобывание и очистка)*. М.: АгроНИИТЭИПП, 1991. 38 с.

*Поступила 03.08.12  
После доработки 12.02.13*

### Summary

The influence of electrohydraulic processing on sugar-beet strips mixture in diffusion juice with the aim of sucrose extraction intensification has been analyzed. The influence of the electrical discharge tension and quantity of discharges on the technological index of the obtained diffusion juice is shown.

*Keywords: electrohydraulic procession, beet sugar pulp-juice mixture, sugar beet tissue, diffusion juice purity.*