

УДК 664.126.1:[547.458.233.32:537.81]

ББК 36.84+42.343

О-82

*Городецкий Владимир Олегович*, кандидат технических наук, заведующий отделом технологии сахара и сахаристых продуктов Краснодарского НИИ хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»; e-mail: gorodecku\_v\_o@mail.ru;

*Семенихин Семен Олегович*, кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела технологии сахара и сахаристых продуктов Краснодарского НИИ хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»; e-mail: semenikhin\_s\_o@mail.ru;

*Даишева Наиля Мидхатовна*, кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела технологии сахара и сахаристых продуктов Краснодарского НИИ хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»; e-mail: daisheva\_n\_m@mail.ru;

*Люсий Игорь Николаевич*, кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела технологии сахара и сахаристых продуктов Краснодарского НИИ хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»; e-mail: luscij\_i\_n@mail.ru;

*Котляревская Наталья Ивановна*, научный сотрудник отдела технологии сахара и сахаристых продуктов Краснодарского НИИ хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»; e-mail: kotlyarevskaya\_n\_i@mail.ru;

*Усманов Мирсабир Миразалович*, научный сотрудник отдела технологии сахара и сахаристых продуктов Краснодарского НИИ хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»; e-mail: usmanov\_m\_m@mail.ru

**ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ И ЗАРУБЕЖНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ  
ПОЛЕЙ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ  
САХАРОЗЫ ИЗ СВЕКЛОВИЧНОЙ СТРУЖКИ**

(рецензирована)

*В статье приведены результаты многолетних исследований отечественных и зарубежных ученых в области интенсификации процесса извлечения сахарозы из свекловичной стружки. Представлены данные, характеризующие эффективность влияния электрической обработки на структуру свекловичной ткани и изменения ее физических свойств. Приведены показатели качества диффузионных и очищенных соков,*

полученных по классической и экспериментальным технологиям. Дана оценка перспективности внедрения технологий обработки свекловичной стружки электрическими и электромагнитными полями в свеклосахарной отрасли.

**Ключевые слова:** сахарная свекла, электрическое поле, электромагнитное поле, диффузионный сок, очищенный сок, чистота, цветность, мутность.

**Gorodetsky Vladimir Olegovich**, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Technology of Sugar and Sugary Products of Krasnodar Scientific Research Institute of Storage and Processing of Agricultural Products – a branch of the FSBSI «North-Caucasus Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture and Wine-Making»; e-mail: [gorodecky\\_v\\_o@mail.ru](mailto:gorodecky_v_o@mail.ru);

**Semenikhin Semen Olegovich**, Candidate of Technical Sciences, a senior researcher of the Department of Technology of Sugar and Sugary Products of Krasnodar Scientific Research Institute of Storage and Processing of Agricultural Products – a branch of the FSBSI «North-Caucasus Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture and Wine-Making»; e-mail: [semenikhin\\_s\\_o@mail.ru](mailto:semenikhin_s_o@mail.ru);

**Daisheva Nailya Midkhatovna**, Candidate of Technical Sciences, a senior researcher of the Department of Technology of Sugar and Sugary Products of Krasnodar Scientific Research Institute of Storage and Processing of Agricultural Products – branch of the FSBSI «North-Caucasus Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture and Wine-Making»; e-mail: [daisheva\\_n\\_m@mail.ru](mailto:daisheva_n_m@mail.ru);

**Lyuzhiy Igor Nikolaevich**, Candidate of Technical Sciences, a senior researcher of the Department of Technology of Sugar and Sugary Products of Krasnodar Scientific Research Institute of Storage and Processing of Agricultural Products – branch of the FSBSI «North-Caucasus Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture and Wine-Making»; e-mail: [lyciy\\_i\\_n@mail.ru](mailto:lyciy_i_n@mail.ru);

**Kotlyarevskaya Natalia Ivanovna**, a researcher of the Department of Technology of Sugar and Sugary Products of Krasnodar Scientific Research Institute of Storage and Processing of Agricultural Products – a branch of the FSBSI «North-Caucasus Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture and Wine-Making»; e-mail: [kotlyarevskaya\\_n\\_i@mail.ru](mailto:kotlyarevskaya_n_i@mail.ru);

**Usmanov Mirsabir Mirabsalovich**, a researcher of the Department of Technology of Sugar and Sugary Products of Krasnodar Scientific Research Institute of Storage and Processing of Agricultural Products – branch of the FSBSI «North-Caucasus Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture and Wine-Making»; e-mail: [usmanov\\_m\\_m@mail.ru](mailto:usmanov_m_m@mail.ru)

## **DOMESTIC AND FOREIGN RESEARCH OF THE APPLICATION OF ELECTRIC AND ELECTROMAGNETIC FIELDS FOR INTENSIFICATION OF SUCROSE EXTRACTION FROM SUGAR BEET COSSETTES**

(reviewed)

*The article presents the results of a long-term research performed by national and international scientists in field of intensification of the process of sucrose extraction from sugar beet cossettes. The data characterizing the efficiency of electrical treatment on the structure of sugar beet tissue and changes in its physical properties are presented. The quality indicators of diffusion and purified juices obtained by classical and experimental technologies are given. The prospects of*

*introduction of technologies for the processing of sugar beet cossettes by electric and electromagnetic fields in the sugar beet industry are estimated.*

**Keywords:** *sugar beet, electric field, electromagnetic field, diffusion juice, purified juice, purity, coloration, turbidity.*

В настоящее время развитие научно-технического обеспечения предопределяет проведение российскими и зарубежными учеными исследований, направленных на интенсификацию процесса извлечения сахарозы из свекловичной стружки с использованием физических методов воздействия с целью придания тканям сахарной свеклы более проницаемой структуры.

Известно, что размер пор протоплазмы (состоящей в основном из белков) клеток сахарной свеклы меньше размера молекул сахарозы, поэтому пока клетка находится в нативном состоянии, переход сахарозы в экстрагент при противоточной диффузии практически не возможен, ввиду чего вначале необходимо произвести денатурацию протоплазмы (плазмолиз) [1, 2]. После плазмолиза сахароза из вакуоли переходит во внутреннее пространство клетки, что способствует её диффузии в раствор.

В современной технологии переработки корнеплодов сахарной свеклы применяется тепловой плазмолиз клеток, заключающийся в тепловой обработке стружки до температур выше 60°C, при которой происходит денатурация белка и разрушение протоплазмы. В диапазоне температур 60-75°C коэффициент диффузии возрастает, а затем несколько уменьшается. При этом, 100 %-ная степень плазмолиза наступает при температуре 70-80°C в течении 1,5-2 мин. Оптимальной температурой считается 70-72°C, так как более высокая приводит к развариванию стружки, что, в свою очередь в значительной мере затрудняет ведение диффузионного процесса.

Однако, степень плазмолиза лишь косвенно характеризует диффузионные свойства свеклы, так как эта величина не учитывает проницаемость стенки клетки, которая после денатурации протоплазмы остается основным препятствием для экстрагирования сахарозы.

Ввиду этого, недостаточно эффективное диффундирование сахарозы даже при обеспечении высокой степени плазмолиза может объясняться низкой проницаемостью стенки клетки, которая, в свою очередь, может быть вызвана рядом факторов таких, как вегетативное состояние корнеплодов (степень их зрелости), зараженность какими-либо болезнями, специфическими свойствами конкретного сорта, воздействием на корнеплоды окружающей среды в ходе их вегетации и тд.

Для повышения проницаемости стенок клеток отечественными и зарубежными исследователями проводятся работы по воздействию на ткани свеклы импульсных электрических и переменных электромагнитных полей.

Основные исследования по применению импульсных электрических полей проводятся исследователями из Франции, но они также кооперируются с коллегами из других стран. В результате такой обработки происходит эффект электропорации – создания пор в бислойной клеточной мембране под воздействием на образующие ее белки и липиды электрического поля. На первом этапе проведенные исследования по влиянию обработки свекловичной стружки и срезов сахарной свеклы дискообразной формы импульсным электрическим полем с напряженностью 600 В/см в течении от 10 до 50 мс на

упругость тканей при различных температурах показали, что обработка импульсным полем способствует размягчению тканей и приданию им характеристик, свойственных классической денатурации, протекающей при температуре 70°C и используемой в настоящее время [3].

Исследования, направленные на установление влияния обработки свекловичной стружки импульсным электрическим полем на качество получаемого диффузионного сока, предполагали экстракцию сахарозы из предварительно обработанной стружки при тех же параметрах импульсного поля при пониженной температуре проведения процесса, а именно, при 30°C и 50°C, в сравнении с классическим извлечением без предварительной обработки при 70°C [4]. Авторами установлено, что в экспериментальной технологии чистота получаемого диффузионного сока составляет 93,40, 93,35, против 92,85 % при классической технологии. Однако, содержание сухих веществ в диффузионном соке при этом составило 13,4, 14,6 и 14,8 % соответственно. Также, при более низкой температуре процесса снижается степень перехода веществ коллоидной дисперсности с 0,2 до 0,1 % и практически полностью исключается переход пектиновых веществ в диффузионный сок. Мутность и цветность диффузионных соков в экспериментальном варианте снизились с  $10 \times 10^3$  до  $7 \times 10^3$  и с  $0,7 \times 10^3$  до  $0,6 \times 10^3$  ед. ICUMSA соответственно.

Дальнейшая известково-углекислотная очистка по общепринятой схеме при равном расходе раствора гидроксида кальция позволила получить очищенные соки с чистотой около 94,5 % в случае с классическим извлечением и около 96,0 % – при экспериментальном [5, 6]. Показатель цветности сока, полученного по экспериментальной технологии, был ниже в 2 раза и составил 600 ед. ICUMSA против 1200.

Исследования по известково-углекислотной очистке диффузионного сока, полученного при обработке свекловичной стружки импульсным электрическим полем, позволили получить более полные показатели качества полупродуктов на этой стадии технологического процесса [7]. Очистка диффузионного сока проводилась по классической схеме. Чистота очищенного сока в экспериментальных образцах была выше в среднем на 1,5 % и составляла 96,0 %. Содержание веществ коллоидной дисперсности в контрольном и экспериментальном образцах составило 1,0 и 0,9 г/л соответственно, а белков 16 и 11 мг/л. По цветности экспериментальные образцы превосходили контрольные в 2 раза – 600 и 1200 ед. ICUMSA соответственно, а мутность, в свою очередь, составила 150 и 200 ед. ICUMSA.

Исследования, проводимые нами, были направлены на применение переменных электромагнитных полей для обработки свекловичной стружки, при этом данный вид обработки позволял снизить содержание связанной влаги, содержащейся в свекловичной стружке, путем её перевода в свободную влагу. Для этого свекловичную стружку обрабатывали электромагнитным полем сверхвысоких частот с частотой 2450 Гц в течение 1-3 минут при удельной мощности электромагнитного поля 450-720 Вт/дм<sup>3</sup>. В результате такой обработки чистота диффузионного сока возросла в среднем на 1 %, а количество веществ коллоидной дисперсности снижалось на 9 % по сравнению с контрольным.

В настоящее время уже существуют опытные линии по обработке жидких продуктов импульсным электрическим полем с целью их обеззараживания (альтернатива пастеризации),

однако, стоимость таких линий составляет около 250 000 Евро при производительности 1000 л/ч.

Учитывая это, на наш взгляд, промышленное внедрение разработок с применением электрического и электромагнитного полей в сахарной отрасли в ближайшие 20-25 лет может быть освоено на уровне полупромышленных установок, работающих параллельно основной линии. Это обусловлено значительными объемами сахарной свеклы, достигающими для одного завода от 0,5 до 1,0 млн. т, которые необходимо переработать за 100 суток. В связи с указанным, полноценное применение электрических и электромагнитных полей при высокой стоимости реализации данных способов будет крайне нерентабельно.

#### ***Литература:***

1. Бугаенко И.Ф., Тужилкин В.И. Общая технология отрасли: научные основы технологии сахара. Ч. I. Санкт-Петербург: ГИОРД, 2007. 512 с.

2. Сапронов А.Р., Сапронова Л.А., Ермолаев С.В. Технология сахара. Санкт-Петербург: Профессия, 2013. 296 с.

3. Filtration diffusivity and expression behaviour of thermally and electrically pretreated sugar beet tissue and press-cake = Фильтрационная диффузность и выраженные характеристики тканей сахарной свеклы, предварительно обработанных термически и электрически, а также получаемого прессованного жома / Н. Mhemdi [etc] // Separation and Purification Technology. 2012. №95. P. 118-125.

4. Quality and filtration characteristics of sugar beet juice obtained by «cold» extraction assisted by pulsed electric field = Качество и фильтрационные характеристики сока сахарной свеклы, полученного «холодной» экстракцией при помощи импульсного электрического поля / К. Loginova [etc] / Journal of Food Engineering. 2011. №106. P. 144-151.

5. Better lime purification of sugar beet juice obtained by low temperature aqueous extraction assisted by pulsed electric field = Лучшая известковая очистка сока свеклы, полученного при низкотемпературной водной экстракции с помощью импульсного электрического поля / К. Loginova [etc] // LWT – Food Science and Technology. 2012. №46. P. 371-374.

6. Impact of pulsed electric field and preheating on the lime purification of raw sugar beet expressed juices = Влияние импульсного электрического поля и предварительного нагрева на известковую очистку полученного прессованием диффузионного сока сахарной свеклы / Н. Mhemdi [etc] // Food and Bioproducts Processing. 2015. №95. P. 323-331.

7. Almohammed F., Mhemdi H., Vorobiev E. Purification of juices obtained with innovative pulsed electric field and alkaline pressing of sugar beet tissue = Очистка соков, полученных при инновационном импульсном электрическом поле и щелочном прессовании сахарной свеклы // Separation and Purification Technology. 2017. №173. P. 156-164.

#### ***Literature:***

1. Bugaenko I.F., Tuzhilkin V.I. General industry technology: scientific bases of sugar technology. Part I. St. Petersburg: GIORD, 2007. 512 p.

2. Saprionov A.R., Saprionova L.A., Yermolaev S.V. *Sugar technology*. St. Petersburg: *Professiya*, 2013. 296 p.

3. *Filtration diffusivity and expression behaviour of thermally and electrically pretreated sugar beet tissue and press-cake* / H. Mhemdi [etc] // *Separation and Purification Technology*. 2012. № 95. P. 118-125.

4. *Quality and filtration characteristics of sugar beet juice obtained by «cold» extraction assisted by pulsed electric field* / K. Loginova [etc] // *Journal of Food Engineering*. 2011. № 106. P. 144-151.

5. *Better lime purification of sugar beet juice obtained by low temperature aqueous extraction assisted by pulsed electric field* / K. Loginova [etc] // *LWT – Food Science and Technology*. 2012. № 46. P. 371-374.

6. *Impact of pulsed electric field and preheating on the lime purification of raw sugar beet expressed juices* / H. Mhemdi [etc] // *Food and Bioproducts Processing*. 2015. № 95. P. 323-331.

7. Almohammed F., Mhemdi H., Vorobiev E. *Purification of juices obtained with innovative pulsed electric field and alkaline pressing of sugar beet* // *Separation and Purification Technology*. 2017. № 173. P. 156-164.