

А. В. Куликов, А. С. Данилюк, Д. А. Зайченко, А. А. Садовский

*РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси
по продовольствию», г. Минск, Республика Беларусь*

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ МЕМБРАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В КРАХМАЛОПАТОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Аннотация. В статье отражены результаты исследований по использованию баромембранных технологий для извлечения белковых компонентов из жидких отходов крахмальных заводов, а также применение электродиализа для улучшения цветности патоочных сиропов и патоки. Сформированы рекомендации по использованию результатов проведенных исследований для предприятий крахмалопаточных производств.

Ключевые слова: мембраны, технология, очистка, электродиализ, крахмал, патока, сироп, производство

A. V. Kulikou, A. S. Danilyuk, D. A. Zaichenko, A. A. Sadovsky

*RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus”,
Minsk, Republic of Belarus*

RESEARCH RESULTS ON THE USE OF MEMBRANE TECHNOLOGIES IN STARCH PRODUCTION

Abstract. The article describes the relevance and also presents the results of research on the use of pressure membrane technologies for the extraction of protein components from liquid waste from starch factories. And also the use of electrodialysis to improve the color of starchy syrups. Recommendations on the use of the results of the research for starch production enterprises have been formed.

Key words: membranes, technology, purification, electrodialysis, starch, molasses, syrup, production

Введение. На крахмальных заводах Республики Беларусь на сегодняшний день в полной степени не решен вопрос утилизации соковых вод картофеля, имеющих в составе сухих веществ ценные компоненты: более 30% белка, 15% макро и микроэлементов и др., которые в большинстве случаев направляются как сточные воды в общественные системы очистки либо к технологическим водоемам в структуре предприятия для последующего отстаивания, что влечет дополнительные затраты по экологическим выплатам и наносит значительный вред окружающей среде [1].

Посчитано, что скрытый резерв белка из соковых вод картофеля в целом по республике может составлять более 2000 тонн в год.

Картофельный белок активно используется во многих странах мира в качестве кормового и пищевого ингредиента [2]. Эта популярность объясняется целым рядом важных свойств продукта, таких как широкий аминокислотный состав в соединении с отличной усвояемостью белка (96%). Помимо этого, его применение может повысить пищевую ценность и физическую функциональность, такую как вспенивание, эмульгирование и гелеобразование.

Однако, сложность извлечения белка из клеточного сока картофеля обусловлена его нахождением в растворимом состоянии, что требует применения известных, но сложных и энергозатратных технологий для данных целей, как выпаривание и электрокоагуляция, что нецелесообразно из-за низкого содержания сухих веществ в исходном сырье.

Помимо этого, на крахмалопаточных предприятиях не решен вопрос эффективной очистки патоочных сиропов, являющихся промежуточными продуктами при производстве патоки крахмальной, которые зачастую имеют желто-коричневый цвет из-за наличия в сиропах

нежелательных примесей, красящих веществ, азотистых соединений и золы, что отрицательно влияет на их стоимость и возможность применения при изготовлении различных видов пищевых продуктов.

Для очистки паточных сиропов на предприятиях в основном используется фильтрация взвешенных частиц с помощью активного угля и ионообменные смолы. Однако их использование имеет следующие недостатки, что влечет для предприятия дополнительные издержки [3]:

- ♦ высокий расход активированного угля, ионообменных смол в совокупности с постоянной их регенерацией;
- ♦ образование агрессивных сточных вод в результате утилизации отработанных реагентов.

На основании вышеизложенного целью исследований является решение обозначенных проблемных вопросов за счет использования баро- и электромембранных технологий, имеющих такие основные преимущества как экологичность, энергоэффективность и сохранение необходимых свойств обрабатываемого сырья [4–5].

Материалы и методы исследований. Объектами исследований являлись соковая вода картофеля ОАО «Рогозницкий крахмальный завод»; паточный сироп до фильтрации, паточный сироп после фильтрации, патока РУПП «Экзон-Глюкоза».

Для исследования процессов извлечения белковых компонентов из соковой воды картофеля была разработана лабораторная баромембранная установка (рис. 1), имеющая возможность применения различных мембранных элементов: микро-, ультра- и нанофильтрации.



1 — емкость для исходного сырья; 2,5 — запорная арматура; 3 — емкость с дистиллированной водой для промывки мембран; 4 — емкости для концентрата и фильтрата; 6 — манометр; 7 — блок механической очистки; 8 — корпус мембраны; 9 — вспомогательный насос мембранного типа; 10 — патрубки; 11 — подающий центробежный насос

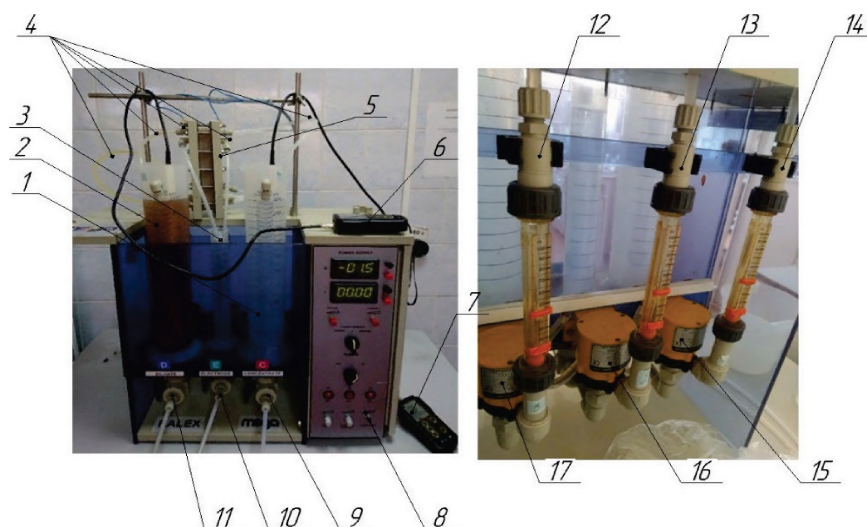
Рис. 1. Лабораторная баромембранная установка
Fig. 1. Laboratory baromembrane installation

Подаваемая насосом соковая вода картофеля для предотвращения забивания мембранных элементов предварительно очищалась от частиц мелкой мезги и крахмала на лабораторном сепараторе GEA FTC 1-06-107 и имеющимся на установке блоке механической очистки с размером ячейки 5 мкм. С целью предотвращения образования пены, отрицательно влияющей на протекание процесса баромембранного разделения, в сырье добавлялся силиконовый пеногаситель. Работу на установке осуществляли при различных давлениях, а также при поэтапном использовании мембран с различной отсечкой по молекулярной массе. В результате чего образовывалось 2 вида продуктов: осветленная жидкая фракция (фильтрат) и сгущенная белковая фракция (концентрат), массовую долю сухих веществ и белков в которых

определяли в Республиканском контрольно-испытательном комплексе по качеству и безопасности продуктов питания РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию».

Процесс деминерализации (очистки) паточных сиропов исследовали на лабораторной электромембранной установке Р EDR-Z (рис. 2) с использованием мембран катионного (СМН-PES) и анионного (АМН-PES) типов, которая предназначена для получения продуктов требуемого качества путем регулирования минерального состава и кислотности до необходимых значений за счет удаления ионогенных соединений.

Ключевым элементом установки является электродно-мембранный модуль с ионоселективными мембранами, катодом и анодом, патрубками подачи и забора дилуата, электролита, концентрата.



- 1 — емкость для концентрата, 2 — емкость для электродного раствора, 3 — емкость для дилуата, 4 — система подвода и отвода жидкости, 5 — электродно-мембранный модуль, 6, 7 — кондуктометры, 8 — панель управления, 9 — кран слива концентрата, 10 — кран слива электролита, 11 — кран слива дилуата, 12 — поплавково-уровневая камера для концентрата, 13 — поплавково-уровневая камера для электролита, 14 — поплавково-уровневая камера для дилуата, 15 — циркуляционный насос для дилуата, 16 — циркуляционный насос для электролита, 17 — циркуляционный насос для концентрата

Рис. 2. Лабораторная электромембранная установка Р EDR-Z

Fig. 2. Laboratory electromembrane unit P EDR-Z

Под действием создаваемого электрического поля катионообменные и анионообменные мембраны пропускают через себя катионы и анионы. Процесс электродиализа представляет собой движение катионов к катоду, а анионов к аноду под действием постоянного электрического тока в растворе.

На пути движения ионов устанавливаются ионообменные мембраны, катионная и анионная, пропускающие только один вид ионов, и через поры мембран перемещаются только соответствующие ионы электролитов, а сахаристые вещества патоки (глюкоза, фруктоза, сахароза и др.), являясь электронейтральными, остаются в растворе, из которого происходит удаление солей и за счет этого достигается его очистка. За счет чередования ионообменных мембран паточный сироп разделяется на дилуат (очищенный раствор) и концентрат.

Далее по показателям изменения электропроводимости рассчитывали степень деминерализации (D , %) по формуле:

$$D = \frac{\Pi_1 - \Pi_2}{\Pi_1} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где Π_1 — начальная проводимость дилуата, мСм/см; Π_2 — конечная проводимость дилуата, мСм/см.

Результаты исследований и их обсуждение. Проведенные экспериментальные исследования показали, что при работе баромембранной установки возникает интенсивное пенообразова-

ние, для исключения которого подобран наиболее эффективный силиконовый пеногаситель «Софэксил 15-20».

В результате проведенных исследований установлены рациональные параметры и пределы концентрирования соковых вод картофеля на УФ-мембране (размер пор 20 кДа), обеспечивающие устойчивую работу установки и максимальное содержание белковых компонентов картофеля в ультраконцентрате, равное 3,3% при исходном содержании белков перед ультрафильтрацией равным 1,38%: рабочее давление в установке $P = 8$ бар, время обработки $t = 120$ мин, расход пеногасителя 16 мл на 10 л сырья (рисунок 3).

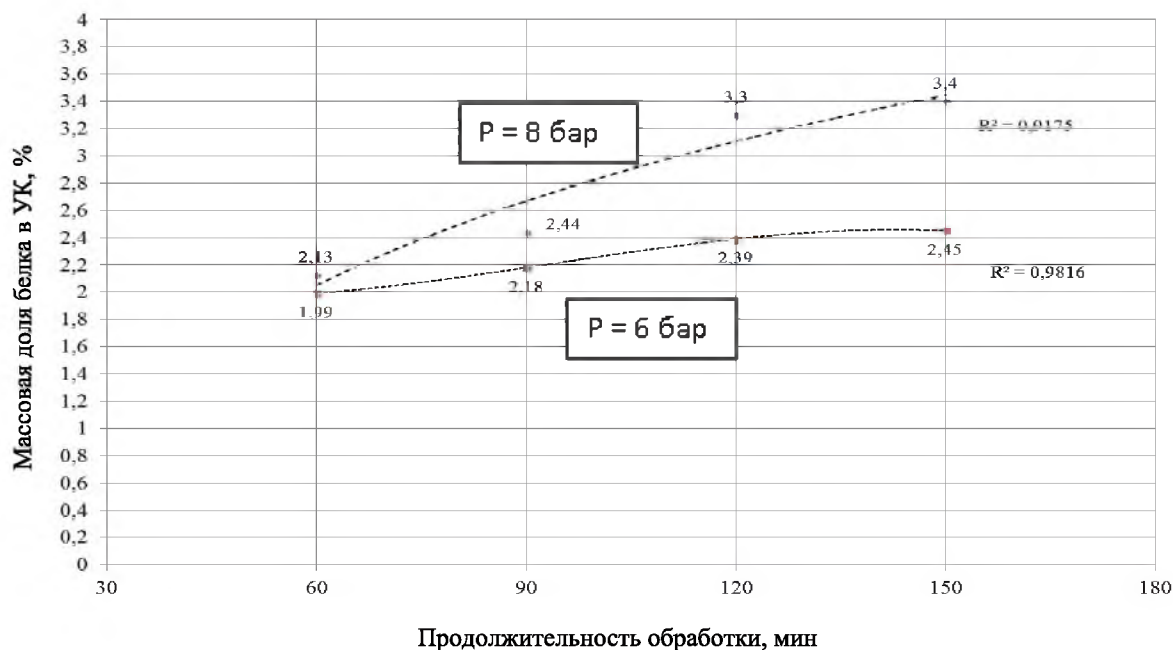


Рис.3. Зависимость массовой доли белка в ультраконцентрате от параметров рабочего давления в баромембранной установке и времени обработки

Fig. 3. Dependence of the mass fraction of protein in the ultraconcentrate on the operating pressure parameters in the baromembrane unit and processing time

Установлены рациональные параметры и пределы концентрирования соковых вод картофеля на НФ-мембране (размер пор 0,25 кДа), обеспечивающие устойчивую работу установки и максимальное содержание белковых компонентов картофеля в наноконцентрате, равное 4,2% при исходном содержании белков перед нанофильтрацией равным 0,73%: рабочее давление в установке $P = 15$ бар; время обработки $t = 120$ мин; расход пеногасителя 28 мл на 10 л сырья. При этом зависимости массовой доли белка от продолжительности обработки при различных давлениях имели аналогичный характер с графическими зависимостями, представленными на рис. 3.

Дальнейшее увеличение продолжительности концентрирования сырья (более 120 минут обработки) являлось нецелесообразным из-за незначительного увеличения массовой доли белка, а также из-за повышенного расхода пеногасителя, связанного с нагреванием сырья до 39 °С и более.

Помимо этого, проведенные исследования позволили установить, что около 60,2 % белка, содержащегося в соковой воде, осветленной при помощи сепаратора, имеет размер > 20 кДа, около 28% имеет размер 0,2 кДа — 20 кДа и 1,2% белковых компонентов имеют размер $\leq 0,2$ кДа.

На основании полученных результатов сформированы рекомендации по баромембранному извлечению белковых компонентов из жидких отходов картофелекрахмальных производств. Полученный белковый концентрат с массовой долей сухих веществ 10–12% (около 50% которых составляют белки) совместно с образующимися на предприятии отходами — отжатой мезгой, содержащей значительное количество компонентов углеводного происхождения, а также с мелкой мезгой и белковыми включениями, полученными после предварительной очистки перед баромембранным разделением, можно использовать для кормовых целей. Образующийся после мембранной обработки фильтрат можно будет сбрасывать в ка-

нализационные сети либо использовать в качестве оборотной воды для мойки или гидротранспортирования картофеля.

На следующем этапе исследований изучены возможности применения мембранных технологий для очистки паточных сиропов. На рис. 4 представлены зависимости проводимости паточных сиропов и патоки от продолжительности обработки в лабораторной электромембранной установке.

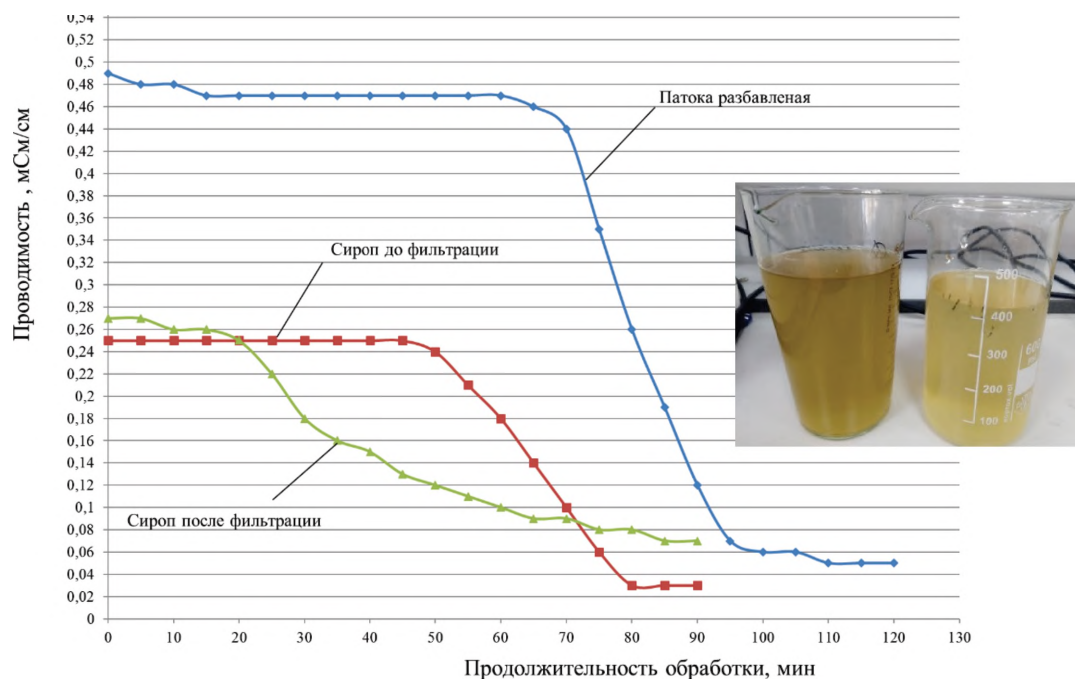


Рис. 4. Зависимость проводимости патоки и паточных сиропов от продолжительности обработки

Fig. 4. Dependence of the conductivity of molasses and treacle syrups on the duration of treatment

На основании проведенных исследований установлены рациональные параметры электро-мембранной обработки: напряжение 20 В, продолжительность обработки 80 - 85 мин. При этом происходит снижение проводимости и, соответственно, повышается степень деминерализации: для паточного сиропа до фильтрации — до 88%, паточного сиропа после фильтрации — до 74%, патоки — до 90%. В результате обработки снижается цветность и улучшается освещенность у обрабатываемого сырья: у паточных сиропов до фильтрации на 45%, у паточных сиропов после фильтрации на 55%, у патоки на 59%.

Далее были исследованы основные физико-химические показатели, минеральный и кислотный состав паточных сиропов, концентрата и дилуата. Установлено, что при электро-мембранной обработке происходит снижение содержания минеральных веществ в осветленной фракции (дилуате) на 80-90%, снижение массовой доли аминокислот до 85%, уменьшение содержания органических кислот до 28%, снижение содержания общей золы до 43%, уменьшение содержания нитратов более чем на 20%, что положительно влияет на их осветление.

Проведение данной обработки позволяет улучшить органолептические и технологические показатели патоки и паточных сиропов без применения химических реагентов, а также может исключить в технологическом процессе производства патоки крахмальной использование вакуум-фильтров с фильтрационными средами и аппаратов с ионообменными смолами для деминерализации и обесцвечивания паточных сиропов, снизить степень загрязнения производственных стоков из-за отсутствия необходимости утилизации отработанных реагентов.

Заключение. На основании проведенных исследований установлена целесообразность использования баромембранных технологий для извлечения белковых компонентов из жидких отходов крахмального производства, сформированы рекомендации по использованию полученного белкового концентрата для кормовых целей. Помимо этого выявлена перспективность применения электро-мембранной обработки для улучшения цветности паточных сиропов и патоки крахмальной, что может расширить возможности ее использования для различных видов пищевых продуктов, улучшить экологическую ситуацию на предприятии.

Список использованных источников

1. *Трегубов, Н. Н.* Технохимический контроль крахмалопаточного производства / Н.Н. Трегубов, В.Г. Костенко. — М.: Агропромиздат, 1991. — 264 с.
2. Картофельный белок [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://foodcom.pl>. — Дата доступа: 24.01.2024 г.
3. *Бугаенко, И. Ф.* Принципы эффективного сахарного производства / И.Ф. Бугаенко — М.: ООО «Ин-машпроект», 2003. — 285 с.
4. Оптимизация процесса фильтрации картофельного сока с применением керамических мембран [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-protsesssa-filtratsii-kartofelnogo-soka-s-primeneniem-keramicheskikh-membran> — Дата доступа: 25.01.2024 г.
5. Методы электромембранного разделения растворов [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.tstu.ru/book/elib/pdf/2007/k_Lazarev1.pdf — Дата доступа: 25.01.2024 г.

Информация об авторах

Куликов Алексей Валентинович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела новых технологий и техники РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: ont_i_t@mail.ru

Данилюк Александр Сергеевич, научный сотрудник отдела новых технологий и техники РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: newteh@belproduct.com

Зайченко Дмитрий Александрович, кандидат технических наук, заместитель генерального директора по научной и инновационной работе РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: info@belproduct.com

Садовский Александр Аркадьевич, кандидат технических наук, начальник отдела новых технологий и техники РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: info@belproduct.com

Information about the authors

Kulikov Alexey Valentinovich, PhD (Engineering), Senior Researcher of the Department of New Technologies and Engineering of RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: ont_i_t@mail.ru

Danilyuk Alexander Sergeevich, Researcher of the Department of New Technologies and Engineering of RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: newteh@belproduct.com

Zaichenko Dmitry Alexandrovich, PhD (Engineering), Deputy General Director for Scientific and Innovative Work of RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: info@belproduct.com

Sadovsky Alexander Alexandrovich, PhD (Engineering), Department head of New Technologies and Engineering of RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: info@belproduct.com