

Список использованных источников

1. Современные противопригарные покрытия для литейных форм и стержней / И. Е. Илларионов, И. А. Стрельников, Н. Ф. Тихонов, А. В. Королев // Литейщик России. – 2025. – № 3. – С. 6-12. – EDN LWVILF.
2. Глазьев, М.В. Комбинированные огнеупорные материалы с добавкой техногенных отходов для металлургических агрегатов / В.Ю. Бажин, М.В. Глазьев // Новые огнеупоры. 2020. №11. С. 21-27.
3. Патент № 2790491 С1 Российская Федерация, МПК В22С 3/00. Противопригарное покрытие для литейных форм и стержней / И. Е. Илларионов, И. А. Стрельников, Д. А. Пестряев. – Заявка № 2022109347 от 07.04.2022; опубл. 21.02.2023.
4. Евсеев, Н.В. Гранулирование пылевых отходов кремниевого производства для возврата в технологический процесс / Евсеев Н.В., Тютрин А.А., Пастухов М.П. // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2019. Т. 23. № 4. С. 805–815.
5. Патент № 2615429 С Российская Федерация, МПК С09D 5/18, В22С 3/00, В22С 1/18. Противопригарная краска для литейных форм и стержней / И. Е. Илларионов, И. А. Стрельников, А. В. Королев, И.О. Леушин, В.А. Коровин, Е.С. Соколов, Н.Ф. Тихонов. – Заявка № 2016105438 от 17.02.2016; опубл. 04.04.2017. – EDN TSLOJH.

УДК 62.5

У.А. Ушмаева^{1,2}, Л.Т. Идрисова^{1,2}, К.С. Кутявин^{1,2}, Л.Г. Тугашова¹

¹Альметьевский государственный технологический университет «ВШН»
Альметьевск, Россия

²Национальный исследовательский университет ИТМО
Санкт-Петербург, Россия

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ БЕТА-ЦИКЛОДЕКСТРИНА

***Аннотация.** Бета-циклодекстрины обладают уникальными свойствами и применяются в различных областях промышленности. В статье описана разработанная схема автоматизации и подобраны основные технические средства для процесса получения бета-циклодекстринов. Данное исследование может способствовать запуску производства данных соединений в России и странах СНГ.*

U.A. Ushmaeva^{1,2}, L.T. Idrisova^{1,2}, K.S. Kutyavin^{1,2}, L.G. Tugashova¹

¹Almetyevsk State Technological University «HSP»
Almetyevsk, Russia

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATION SCHEME THE PROCESS OF OBTAINING BETA-CYCLODEXTRIN

Abstract. *Beta-cyclodextrins possess unique properties and are used in various industrial fields. This article describes the developed automation scheme and selects the key technical equipment for the beta-cyclodextrin production process. This research may facilitate the launch of production of these compounds in Russia and the CIS countries.*

Бета-циклодекстрины (бета-ЦД) – циклические олигосахариды, молекулы которых состоят из 7 остатков D-глюкопиранозы, связанных α-D-1,4-гликозидными связями. Данные соединения получают путем ферментативного расщепления крахмала.

Пространственная структура молекулы бета-ЦД представляет собой усеченный конус с внутренней гидрофобной и внешней гидрофильной поверхностями. В результате такого строения бета-ЦД способны образовывать комплексы включения с различными молекулами органической и неорганической природы, изменяя их физико-химические свойства [1]. Благодаря своим уникальным способностям бета-ЦД применяются в различных областях практической деятельности человека, в частности, в медицине и фармацевтике, пищевой промышленности, косметологии, экологии и других [2].

Производство бета-ЦД – сравнительно новое и активно развивающееся направление биотехнологии, объединяющее самые различные процессы. Выпуском бета-ЦД в настоящее время заняты фирмы в Китае, Америке и Европе.

Целью нашей работы является разработка схемы автоматизации процесса получения бета-циклодекстринов, которую можно использовать при организации реальных технологических процессов.

Среди ключевых этапов перед выбором средств автоматизации, регулирования и управления можно выделить изучение технологии получения бета-ЦД, выбора сырья и формы конечного продукта, а также создание технологической схемы производства.

Промышленный синтез бета-ЦД осуществляется путем ферментативного превращения крахмалосодержащего сырья с помощью микробных ферментов-циклодекстринглюканотрансфераз (ЦГТаз). Для процесса получения бета-ЦД применяют два принципиально разных подхода:

1. Метод неконтролируемой конверсии, в ходе которого в биохимический реактор вводятся лишь ЦГТаза и раствор крахмала;

2. Метод контролируемой конверсии, когда в реакционную смесь добавляются еще и комплексообразователи (сольвенты), селективно реагирующие с одним из циклических сахаров с образованием нерастворимых или слаборастворимых комплексов включения, которые сдвигают равновесия реакции в сторону одного из целевых продуктов, в результате чего возрастает его выход [3].

Для проектирования технологической схемы за основу был выбран второй вариант, так как он является наиболее распространенным методом промышленного производства бета-ЦД.

Производство бета-ЦД включает несколько основных этапов: ферментативный гидролиз крахмалосодержащего сырья, стадии циклизации, очистки, концентрирования, кристаллизации и сушки готового продукта.

В качестве исходного сырья используется кукурузный амилопектиновый крахмал (ГОСТ Р 51985-2002). Он представляет собой белый порошок, получаемый из кукурузного крахмала, который в основном состоит из амилопектина (95%) и небольших количеств амилозы (5%).

Приготовление 30%-ой крахмальной суспензии проводят в основном реакторе – ферментализере. Клейстеризацию и частичное разжижение крахмала осуществляют с амилолитическим ферментным препаратом марки «БАН 480Л» в дозе 0,2 г/кг сухого вещества [4]. Содержимое ферментализера нагревают до температуры 85°C. При температуре смеси 50 °C вносят фермент для проведения разжижения крахмального клейстера, который длится 1,5 часа и завершается 30-ти минутной стерилизацией при 120 °C.

После стерилизации разжиженный клейстер охлаждают до температуры 55°C и вводят рассчитанную дозу ферментного препарата «Торузим 3.0Л» активностью 3000 ед/г (компания «Новозаймс», Дания). Температура и pH процесса определяются исходя из оптимальных условий действия ФП: температура 50 °C, pH 5,0. Смесь дополнительно перемешивают в течение 3 часов, после чего к полученной жидкости добавляют рассчитанное количество комплексообразователя - трихлорэтилена в количестве 5% от объема реакционной массы. Реактор герметизируют и продолжают реакцию еще 50 ч при 55°C. В продукте образуются кристаллы комплекса «бета-ЦД–трихлорэтилен».

После завершения ферментативной трансформации, реакционную смесь захлаживают до температуры 12-18°C, не

выключая перемешивающее устройство реактора. Комплекс бета-ЦД с трихлорэтиленом отделяют от реакционной среды фильтрацией на нутч-филт্রে. Трихлорэтилен конденсируют на роторно-пленочном испарителе. Пары воды и трихлорэтилена собираются в емкость для сбора конденсата. Трихлорэтилен возвращается обратно в цикл, а вода направляется на БОС.

Полученный раствор, содержащий бета-ЦД, в горячем состоянии пропускают через нутч-филтър и направляют на адсорбционную очистку. Очистку проводят активированным углем. Затем раствор подают в вакуум-выпарное устройство, где концентрируют до содержания сухих веществ 45% при 60-65°C. Насыщенный горячий раствор бета-ЦД перемещают в кристаллизатор. Раствор охлаждают до 20°C, в результате чего образуются кристаллы. Образовавшиеся кристаллы отделяют на нутч-филт্রে. Филтрат возвращают на адсорбционную очистку, а кристаллы переносят в реактор для растворения водой. Полученный раствор кристаллов бета-ЦД возвращают в кристаллизатор и проводят перекристаллизацию, а затем фильтрование на нутч-филт্রে.

Полученные после фильтрования кристаллы промывают небольшим количеством холодной воды и сушат в вакуум-сушильном шкафу до влажности 14 %.

Опираясь на описание процесса была спроектирована технологическая схема производства. На ее основе были подобраны средства автоматизации, контур регулирования, информационная модель объектов управления, а также разработана функциональная схема автоматизации (рис. 1).

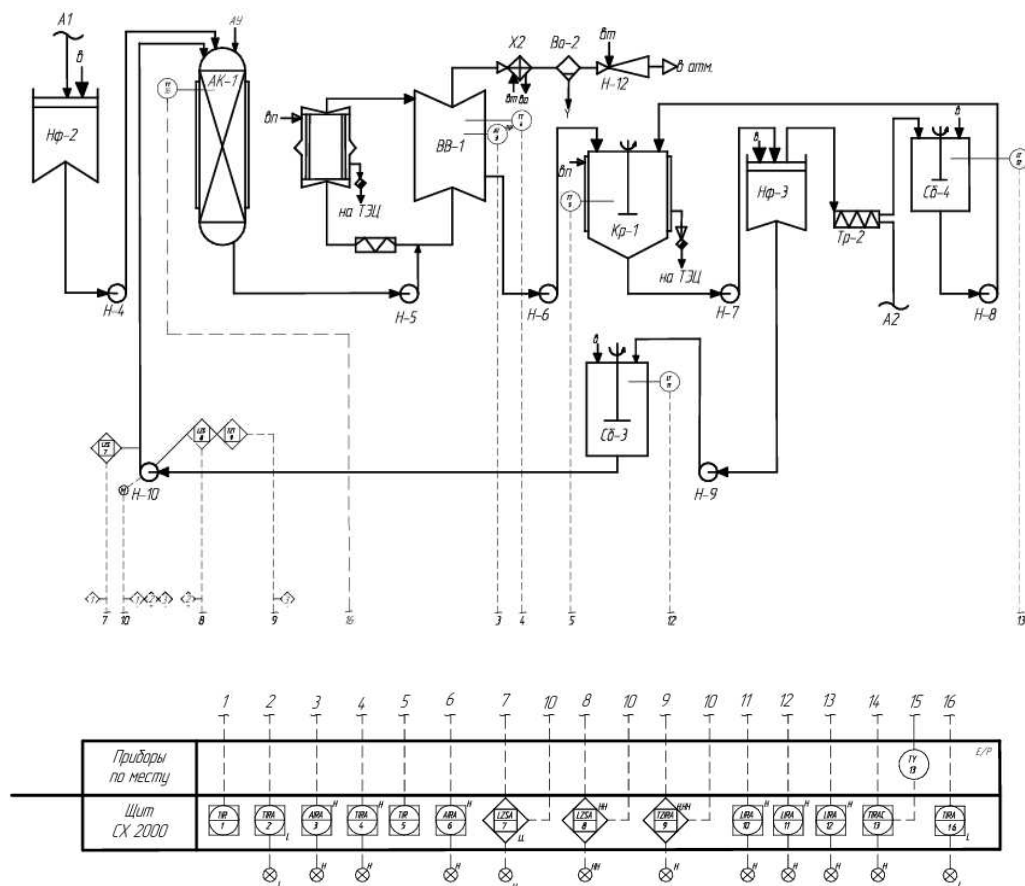


Рис. 1- Часть функциональной схемы автоматизации с этапами очистки, концентрирования и кристаллизации готового продукта.

При выборе приборов контроля и регулирования учитывались свойства объектов регулирования и регуляторов для устойчивости систем регулирования и обеспечения качественного процесса без больших отклонений регулируемой величины от заданного значения. В ходе работы были выбраны следующие средства автоматизации:

1. Датчики температуры - преобразователи и термопреобразователи марки Метран с сериями 274, 276 и 2000.
2. Датчики уровня - радарный уровнемер и вибрационные сигнализаторы марки Rosemount.
3. Анализатор влагосодержания и концентрации сухих веществ - микроволновый СВЧ-анализатор НК1.

В разработанной схеме автоматизации температура в ферментолитере воспринимается термопреобразователем температуры ТСПУ Метран-276. Значение температуры преобразуется в унифицированный выходной электрический (токовый) сигнал 4-20 мА, который поступает на станцию сбора данных SCADA КРУГ-2000, где происходит регистрация и отображение параметров. Она обеспечивает

как контроль процесса, используя внутренние ПИД-контур и/или внешние контроллеры, так и регистрацию событий процесса на внутренний/внешний носитель в реальном времени.

В результате подбора и описания основных технических средств для реализации производственного процесса разработанная система автоматизации удовлетворяет основным требованиям, перечисленным выше, и может обеспечить достаточно надежную и стабильную работу автоматизированной установки.

Свойства молекул бета-циклодекстринов поистине уникальны и делают их пригодными к применению в различных областях деятельности человека. Запуск отечественного производства бета-ЦД является актуальным вопросом для российской промышленности. Реализация данной разработки позволит снизить себестоимость различных продуктов, в состав которых входят бета-ЦД, за счет снижения затрат на транспортировку импортных аналогов, а также увеличит выпуск производимой продукции.

Список использованных источников

1. Zhang, D.H. Parameters affecting the performance of immobilized enzyme / D.H. Zhang, L.X. Yuwen, L.J. Peng // J Chem. – 2013.
2. Федорова, П.Ю. Природные циклические олигосахариды циклодекстрины, в системах доставки лекарств / П.Ю. Федорова, Р.К. Андресон, Е.К. Алехин, Н.Г. Усанов // Медицинский вестник Башкортостана. - 2011. – №6. – С. 125–131.
3. Schmid, G. Preparation and industrial production of cyclodextrins / G. Schmid // Comprehensive supramolecular chemistry. – 1996. – Vol 3. – P. 41–56.
4. Комаров, Ю.И. Получение бета-циклодекстрина из амилопектинового крахмала / Ю.И. Комаров // Науч. вклад молодых ученых в развитие пищевой и перераб. пром-сти АПК. – 2013. – 8-9 октября.