

привести к их взаимодействию и, как следствие, выделению большого количества энергии;

4) горючесть сепаратора и легковоспламеняемость электролитных систем;

5) проявление токсичных свойств некоторых веществ ЛХИТ при его возгорании;

6) рентабельность и прибыльность от утилизации литиевых отходов, что подтверждается

данными по увеличению стоимости лития на мировом рынке в течение последних лет [4].

Таким образом, в лабораторных условиях нами была разработана технология утилизации лития из ЛХИТ с получением его карбоната посредством выщелачивания с последующим барботированием литийсодержащего раствора углекислотой (рис. 1).

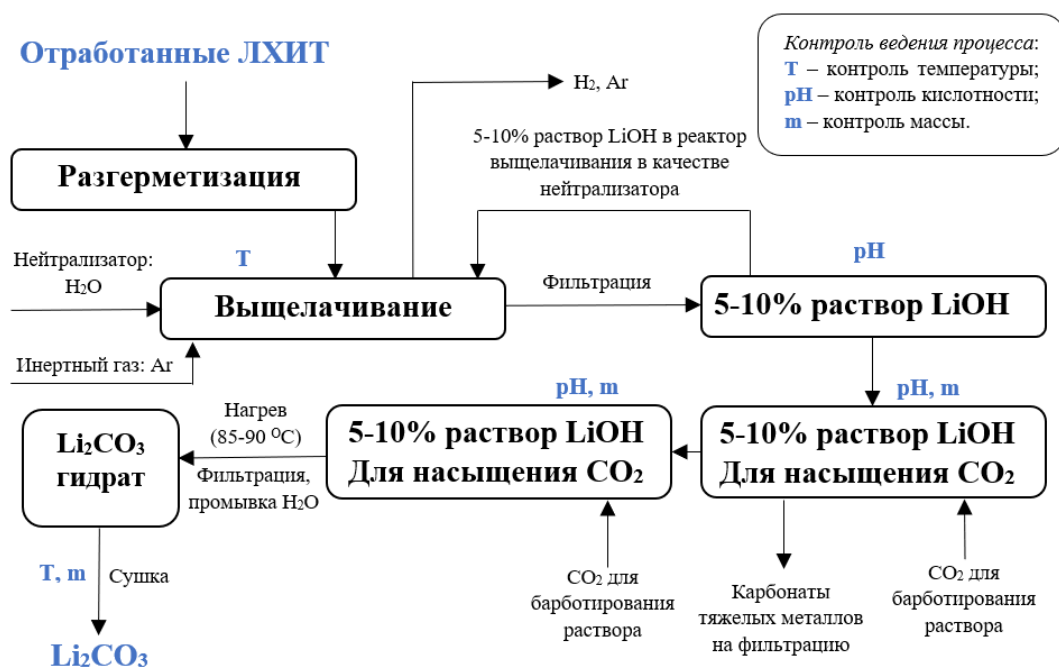


Рис. 1. Схема утилизации ЛХИТ с получением карбоната лития

Список литературы

1. Саркаров Р.А., Белан С.И., Гусейнов Н.М. // *Индустриальная экономика*. – 2022. – Т. 1. – № 2. – С. 57–68.
2. Сергеев А.Г. // Тез. докл. II совещ. по литиевым источникам тока. – Саратов, 1992. – С. 143.
3. Ольшанская Л.Н., Лазарева Е.Н., Клепиков А.П. // *Вестник СГТУ*. – 2005. – Т. 1. – № 6. – 9 с.
4. Миклушевский В.В., Ватулин И.И. // *Экология и промышленность России*. – 2003. – № 1. – С. 23–25.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ УСТАНОВКИ ПРОИЗВОДСТВА МОНОМЕРОВ ЗА СЧЕТ ПРЯМОЙ МЕЖЦЕХОВОЙ ИНТЕГРАЦИИ

Т. А. Гиль, Л. М. Ульев

Научный руководитель – д.т.н., профессор ИШХБМТ ТПУ Л. М. Ульев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

tag7@tpu.ru

Проблема энергетической безопасности становится все более актуальной для стран, не имеющих месторождений ископаемого топлива.

Из-за пандемии Covid-19 и политического кризиса в странах-экспортерах нефти и газа возникли проблемы, которые повлияли на экономиче-

скую стабильность. Повышение энергетической безопасности может быть достигнуто за счет сокращения потребления ископаемого топлива и диверсификации источников энергии в наиболее энергоемких отраслях промышленности. К таким отраслям относится химическая и нефтехимическая промышленность, на которую приходится около 19 % от общего энергопотребления промышленного сектора России [1]. Одним из наиболее энергоемких производств в химической и нефтехимической промышленности является производство мономеров, состоящее из установок пиролиза и газоразделения [2]. Одним из наиболее эффективных способов снижения энергопотребления на подобных установках является применение инструментов интеграции процессов, например, Pinch Analysis и Total Site Analysis [3].

В данном исследовании оценивается возможность снижения энергопотребления на установках пиролиза и газоразделения за счет их прямой межцеховой интеграции. Оценка осуществляется с применением классических инструментов Pinch Analysis, таких как Составные кривые и «плюс-минус» принципы, на уровне производства мономеров.

Предварительный анализ установок показал, что их прямая межцеховая интеграция мо-

жет быть осуществлена за счет использования теплоты двух горячих потоков установки пиролиза для нагрева холодных потоков установки газоразделения. Были рассмотрены следующие варианты осуществления прямой межцеховой интеграции исследуемых установок (таблица 1): прямая межцеховая интеграция без внутрицеховой интеграции установок (кейсы № 2–4) и прямая межцеховая интеграция совместно с внутрицеховой интеграцией установок (кейсы № 6–8).

На основе полученных данных было выявлено, что для первого сценария (кейсы № 3 и 4) использование прямой межцеховой интеграции приводит к снижению энергопотребления производства мономеров максимум на 132,0 кВт. Прямая межцеховая интеграция совместно с внутрицеховой интеграцией установок (кейсы № 6–8) позволяет снизить энергопотребление производства мономеров на 66,7 МВт, из которых 7,3 МВт приходится на прямую межцеховую интеграцию. Также было выявлено, что максимальный потенциал снижения энергопотребления за счет прямой межцеховой интеграции составляет 7,3 МВт. При этом снижение энергопотребления за счет прямой межцеховой интеграции не зависит от того, какой из двух потоков будет использован для передачи теплоты между установками.

Таблица 1. Потребление внешних энергоносителей и выбросы исследуемых кейсов

№	Кейс	Потребление внешних энергоносителей		Выбросы CO ₂ , т/год
		Горячие, кВт	Холодные, кВт	
1	Базовый	465726	173165	979143
2	Базовый + прямая межцеховая (поток 1)	465726	173165	979143
3	Базовый + прямая межцеховая (поток 2)	465594	173033	978865
4	Базовый + прямая межцеховая (поток 1 и 2)	465594	173033	978865
5	Внутрицеховая	406376	113814	854365
6	Внутрицеховая + прямая межцеховая (поток 1)	399063	106501	838991
7	Внутрицеховая + прямая межцеховая (поток 2)	399063	106501	838991
8	Внутрицеховая + прямая межцеховая (поток 1 и 2)	399063	106501	838991

Список литературы

1. Федеральная служба государственной статистики. Промышленное производство. [Электронный ресурс]: – Режим доступа https://rosstat.gov.ru/enterprise_industrial (дата обращения: 20.06.2023).
2. Boldyryev S., Gil T., Krajačić G. and Khussanov A. Total site targeting with the simultaneous use of intermediate utilities and power cogeneration at the polymer plant // *Energy*. – 2023. – Vol. 279. – P. 128034.
3. Смит Р., Клемеш Й., Товажнянский Л.Л., Канустенко П.А., Ульев Л.М. Основы интеграции тепловых процессов. Харьков. – Библиотека журнала ИТЭ. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2000. – 458 с.

УГЛЕРОДНЫЕ СОРБЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИОНОВ ХРОМА (VI)

Д. Ю. Дворянкин, И. А. Клепалова

Научный руководитель – д.х.н., профессор И. Г. Первова

Уральский государственный лесотехнический университет
620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37
Daniil.Dvoryankin.02@mail.ru

Использование сорбционного метода наиболее целесообразно при низких концентрациях загрязняющих веществ в водных средах. Особенно это актуально при попадании в водные объекты со сточными водами соединений тяжелых металлов, в том числе хромат-ионов. Токсичность соединений хрома выражается в изменении иммунологической реакции организма, снижении репаративных процессов в клетках, ингибировании ферментов, поражении печени, нарушении процессов биологического окисления [1]. Адсорбция с использованием сорбентов на основе отходов деревообработки позволит решить данную экологическую проблему, поскольку опилки активно поддаются различным методам модификации, способствующих изменению их структуры, размера пор, кислотности, удельной поверхности и, как следствие, сорбционной емкости [2].

Целью данной работы являлась оценка эффективности извлечения ионов Cr (VI) углеродными сорбентами, полученными хим- и термомодификацией опилок древесины липы (*Tilia vulgaris*) фракции 0,75–2,00 мм. Функциональный состав исходных опилок (образец 1) представлен как карбоксильными, так и гидроксильными кислородсодержащими функциональными группами с соотношением $E_{\text{карб}}:E_{\text{гидр}} = 3,5:1$ (табл. 1, определение проводилось с использованием метода Бозма [3]).

Исходные опилки были подвергнуты химической модификации с помощью 5н HNO_3 в течение 5 часов при температуре $80 \pm 3^\circ\text{C}$, после

чего отмывались от избытка кислоты и сушились при комнатной температуре с получением образца 2. При химической обработке происходит окисление функциональных групп лигнина, что приводит к росту общего количества кислородсодержащих групп ($E_{\text{общ}}$) с 1,83 до 2,17 мг • экв/г и практически равному распределению карбоксильных и гидроксильных групп.

В процессе термической модификации в муфельной печи при температуре $300 \pm 10^\circ\text{C}$ в течение 35 минут происходит преимущественное разложение гемицеллюлоз, входящих в состав древесины. По сравнению с исходными опилками липы в образце 3 после обжига наблюдается рост количества гидроксильных групп ($E_{\text{карб}}:E_{\text{гидр}} = 1,0:1,8$) при увеличении $E_{\text{общ}}$ в 1,6 раза.

Образец 4 получен с помощью термохимической (комплексной) модификации – за счет последовательного проведения сначала термической обработки при температуре $300 \pm 10^\circ\text{C}$, а затем химической модификации – в среде 5н HNO_3 . Применение данного метода обработки опилок липы способствовало заметному росту (в 2,55 раза) общего количества функциональных групп с соотношением $E_{\text{карб}}:E_{\text{гидр}} = 1,0:0,8$.

Изотермы адсорбции бихромат-ионов на углеродных сорбентах 1-4 соответствуют 6 типу изотерм сорбции по классификации Брунауэра, Деминга, Деминга и Теллера (классификации БДДТ), который характерен для ступенчатой адсорбции на однородной поверхности. Отмечено, что наиболее эффективными для извле-