

УДК 628.4:621.311.243:574

СТАРОСТЕНКОВ Я.Н., студент гр. 10608125 (ЭФ БНТУ)
Научный руководитель Петровская Т.А., старший преподаватель (ЭФ БНТУ)
г. Минск

РАЗРАБОТКА РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ БИОЛОГИЧЕСКОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

Аннотация: в условиях стремительного роста солнечной энергетики проблема утилизации отработанных фотомодулей приобретает особую актуальность. С каждым годом увеличивается количество солнечных панелей, выходящих из эксплуатации, что приводит к накоплению значительных объёмов техногенных отходов. В данной работе рассматриваются существующие методы переработки солнечных панелей, их экологические последствия, а также предлагается авторский инновационный подход — биологическая переработка с использованием инвазионных микроорганизмов. Метод разработан лично автором в рамках исследовательского проекта и представляет собой перспективное направление в области экологически безопасной утилизации, сочетающее принципы устойчивого развития, ресурсосбережения и биотехнологий.

Ключевые слова: солнечные панели, утилизация, экологическая безопасность, биологическое выщелачивание.

Солнечные панели (СП) – один из ключевых элементов перехода к устойчивым источникам энергии, активно внедряемый в энергетическую инфраструктуру различных стран. Их широкое распространение обусловлено высокой эффективностью преобразования солнечного излучения в электрическую энергию, а также снижением стоимости производства и установки. Однако по мере увеличения объёмов производства и эксплуатации увеличивается количество используемых томов, средний срок службы которых составляет 30-35 лет [1]. По прогнозам Международного агентства по возобновляемым источникам энергии, к 2030 году J. Р. объём отходов может превысить 8 млн тонн, а к 2050 году – более 60 млн тонн [1].

Утилизация солнечных панелей связана со многими экологическими и технологическими проблемами. Фотомодули содержат токсичные элементы, такие как кадмий, свинец, а также ценные вещества, такие как кремний, алюминий, никель и медь [3]. Эффективное извлечение полезных компонентов при одновременном снижении вредных выбросов является основной задачей утилизации. При этом необходимо учитывать не только технические аспекты, но и воздействие на окружающую среду, биоценозы, климатические параметры и санитарно-эпидемиологическую безопасность [4].

В настоящее время используются следующие технологии переработки солнечных панелей.

Двигатель в настоящее время находится в процессе разделения панелей на отдельные компоненты, затем объект извлекается и включается в работу. Это время для получения 95% эффективных разрешений, но не для устранения необходимости в токсичных отходах, а для устранения дополнительной нагрузки на ландшафт в течение дня [5].

Химическая переработка основана на использовании реагентов для растворения и извлечения ценных компонентов. Несмотря на высокую степень извлечения (до 91%), этот метод приводит к выбросам оксидов углерода и азота и требует контроля химической безопасности [6, 7].

Термическая обработка предполагает нагрев до высоких температур для удаления органических соединений и извлечения металлов. Этот метод характеризуется высокой эффективностью (до 95%), но требует значительных энергозатрат и сопровождается выбросами парниковых газов. Повторное использование возможно, когда панели будут приведены в рабочее состояние, но эффективность метода низкая (до 72%), а область применения незначительна.

Несмотря на доступность этих технологий, ни одна из них не обеспечивает абсолютной защиты окружающей среды и ресурсосбережения. Это потребовало разработки новых подходов, направленных на снижение воздействия на окружающую среду и интеграцию биологических процессов в технологические цепочки.

В рамках этой работы я предложил и разработал авторскую ресурсосберегающую технологию, основанную на методе биологической утечки компонентов солнечной панели. Метод основан на использовании инвазионных микроорганизмов – бактерий и протистов, способных расщеплять органические и связующие компоненты фотомодулей. В процессе биологического выщелачивания происходит извлечение чистых металлов без применения агрессивных химических реагентов и без выбросов парниковых газов [2, 3].

Разработка технологии осуществлялась на базе Национального детского технопарка в г. Минске. Основной задачей являлось создание экологически безопасной технологии, сочетающей принципы биотехнологии, микробиологии и инженерной экологии. Технология биологического выщелачивания предусматривает использование природных инвазионных видов микроорганизмов, что способствует восстановлению биоценоза и снижению их негативного воздействия на экосистему [1].

Мною были выделены следующие особенности метода.

1. Эффективное разложение клеевых и полимерных соединений, обеспечивающих целостность панели [2].
2. Минимизация энергетических затрат по сравнению с термическими и химическими методами.
3. Получение чистых металлов, пригодных для дальнейшего использования, включая производство литий-ионных аккумуляторов.
4. Возможность локального внедрения в регионах с развитой микробиологической базой.

Схема процесса ресурсосберегающей технологии биологического выщелачивания компонентов солнечных панелей представлена на рисунке 1.

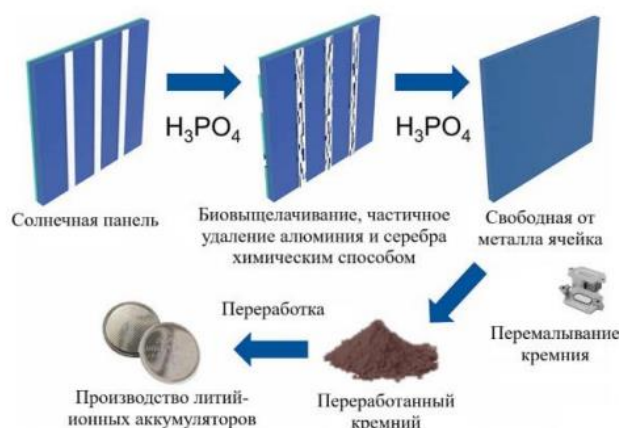


Рисунок 1 – Схема процесса ресурсосберегающей технологии биологического выщелачивания компонентов солнечных панелей

Метод биологического выщелачивания обладает рядом преимуществ, которые делают его перспективной альтернативой традиционным методам:

- 1) отсутствие выбросов оксидов углерода и азота, что снижает парниковый эффект;
- 2) снижение нагрузки на полигоны бытовых отходов и уменьшение площади захоронения;
- 3) повышение экологической устойчивости системы утилизации за счёт интеграции биологических процессов;
- 4) возможность адаптации метода к различным климатическим и географическим условиям [2].

Кроме того, способ позволяет использовать инвазивные микроорганизмы не только в качестве средства переработки, но и как элемент регулирования экосистем, снижающий их негативное воздействие на природные сообщества. Это создает предпосылки для формирования замкнутых биотехнологических циклов, которые помогают восстановить круговорот веществ в природе.

К основным ограничениям относятся:

- низкая скорость биохимических реакций;
- необходимость приобретения специального оборудования для биологического выщелачивания в промышленных масштабах [5, 6].

Тем не менее, развитие солнечной энергетики, биотехнологий и микробиологии создает предпосылки для внедрения этого метода в промышленную практику. Сочетание биологической переработки с механическими и химическими методами может обеспечить комплексный подход к переработке отходов, снизить экологические риски и повысить эффективность использования ресурсов. В будущем можно будет создавать модульные установки для локальной переработки солнечных панелей с использованием биологических агентов, что позволит снизить затраты на транспортировку и утилизацию.

Таким образом, авторский метод биологической переработки солнечных панелей является инновационным решением, ориентированным на защиту окружающей среды, устойчивое развитие и ресурсосбережение. Его внедрение

позволит сократить количество отходов, сократить выбросы парниковых газов и обеспечит повторное использование ценных компонентов. В контексте роста солнечной энергетики этот подход может стать основой новой парадигмы утилизации отходов, сочетающей биологические процессы и технологическую эффективность [2]. Дальнейшее развитие метода требует междисциплинарного сотрудничества, поддержки научных исследований и создания нормативной базы, которая позволит внедрять экологически чистую переработку солнечных панелей в промышленных масштабах.

Список литературы:

1. Старостенков Я. Н. Влияние утилизации солнечных панелей на окружающую среду / Я. Н. Старостенков // Сборник материалов участников международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых в рамках XXI Большого географического фестиваля, посвящённого 100-летию вхождения Географического института в состав СПбГУ. — Санкт-Петербург : Свое издательство, 2025. — С. 532–535. — Электрон. изд. — URL: https://psv4.userapi.com/s/v1/d2/0RjEifFgtUpqFUhics2eabnQxPLVmRxfk5gxGzPv9IYC0emGR-J4ic5ChEHfv73yv1a98M3Hd1TCFh8o2LEk5SqxsSC_E8UqF2FeqN99z7UxojV4pw2WIEYoD06oCmqDWRsF6FrH4knP/Sbornik_BGF_2025_ISBN.pdf (дата обращения: 03.11.2025).
2. Старостенков Я. Н. Влияние условий окружающей среды на работоспособность солнечной панели / Я. Н. Старостенков ; науч. рук. Т. А. Петровская // Актуальные проблемы энергетики 2024 : материалы студенческой научно-технической конференции / сост. И. Н. Прокопеня, Т. А. Петровская. — Минск : БНТУ, 2024. — С. 146–151.
3. Бессель В. В., Кучеров В. Г., Мингалеева Р. Д. Изучение солнечных фотоэлектрических элементов. — М. : Изд. центр РГУ нефти и газа (НИУ) им. И. М. Губкина, 2016. — 90 с.
4. Кирпичникова И. М., Махсумов И. Б. Построение энергетических характеристик солнечных модулей с учетом условий окружающей среды // Вестник Пермского государственного технического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. — 2020. — № 34. — С. 56–74.
5. Савенко А. Е., Савенко П. С. Использование и совершенствование автоматических систем для управления рассредоточенными источниками электроэнергии в локальных электрических системах // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. — 2022. — Т. 24, № 4. — С. 105–115. — DOI: 10.30724/1998-9903-2022-24-4-105-115.
6. Карандей В. Ю., Карандей Ю. Ю., Афанасьев В. Л. Подход к определению магнитных параметров управляемого асинхронного каскадного электрического привода с уточненной геометрией // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного

университета. — 2016. — № 06 (120). — С. 575–586. — URL: <http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/40.pdf> (дата обращения: 11.11.2025).

7. Сайфудинова Н. З., Мамалимов К. М., Сабирзянов А. И., Байгутлин А. И., Петунин Е. И. Влияние альтернативной энергетики на развитие экономики государства и окружающую среду // Московский экономический журнал. — 2020. — № 6. — С. 183–194.

Информация об авторах:

Старостенков Ярослав Николаевич, студент гр. 10608125 Энергетического факультета БНТУ, пр-т Независимости, 65, 220013, Республика Беларусь, yarstar2007@mail.ru.

Петровская Татьяна Александровна, старший преподаватель, Энергетический факультет БНТУ, пр-т Независимости, 65, 220013, Республика Беларусь, pta-2013@mail.ru.