

УДК 622.271:546.11

КОНЦЕПЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОРОДА КАК ЭЛЕМЕНТА ПОДЪЁМНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЦИКЛА ПРИ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ ГОРНОЙ МАССЫ ИЗ ГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ

Мирошников Н.С., студент гр. НЭБ-251, 1 курс
Научный руководитель: Шаулев А.А., ассистент кафедры ЭПА
Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева, г. Кемерово

Аннотация. В работе рассмотрен подъёмно-энергетический цикл, в котором водород используется при подъёме горной массы и в последующем энергетическом звене. Показана роль металлгидридного хранения, подготовки газа и топливного элемента в общей структуре процесса.

Ключевые слова: водород, подъёмно-энергетический цикл, глубокий карьер, металлгидридное хранение, топливный элемент, аэростатический модуль.

Введение

С увеличением глубины открытых горных работ подъём горной массы на поверхность становится всё более сложной организационной и энергетической задачей. В этих условиях представляет интерес поиск решений, позволяющих рассматривать подъём не как отдельную операцию, а как часть единой технологической системы [7].

Актуальность темы связана с тем, что при увеличении глубины карьеров подъём горной массы требует всё больших энергетических затрат. В этих условиях поиск новых решений, связанных с использованием водорода в составе подъёмно-энергетического цикла, представляет практический интерес.

Одним из возможных направлений решения проблемы является использование водорода. В данной работе он рассматривается как элемент подъёмно-энергетического цикла, связанного с подъёмом груза и последующим возвратом части энергии в систему [1, 8].

Сущность подъёмно-энергетического цикла

Предлагаемая схема представляет собой подъёмно-энергетический цикл, в котором водород выполняет две функции: используется как средство подъёма и участвует в последующем энергетическом звене. Сначала водород получают электролизом [2], затем накапливают в металлгидридной системе хранения [4]. После этого он выделяется из накопителя и подаётся в аэростатический подъёмный модуль.

После завершения подъёма водород выводится из модуля, проходит подготовку и направляется в топливный элемент. В нём химическая энергии водорода преобразуется в электрическую. Таким образом, схема объединяет стадии получения, хранения, использования и энергетического возврата в один функциональный контур.

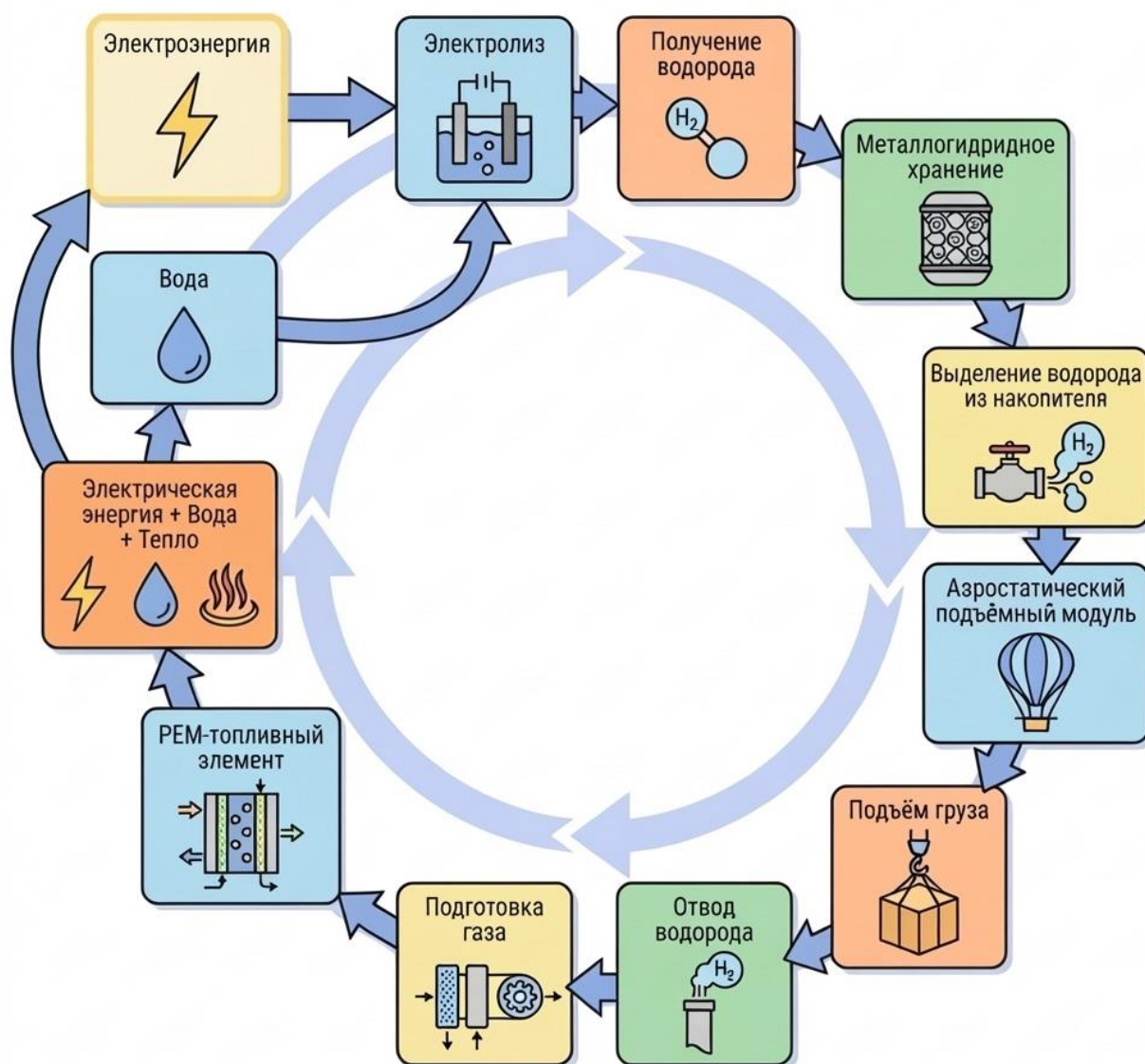


Рисунок 1 – Логическая схема подъёмно-энергетического цикла

Подъем груза как основная рабочая стадия

Ключевой стадией цикла является подъем груза. Именно здесь водород используется как подъемный газ аэростатического модуля и обеспечивает перемещение горной массы.

Практическое значение этого этапа состоит в том, что водород выполняет не только энергетическую, но и транспортную функцию. За счёт этого он становится центральным элементом всей схемы.

Для наглядного представления рабочей стадии на рисунке 2 показан вариант компоновки системы подъёма груза из карьера с использованием привязного аэростатического модуля и системы хранения и подачи H_2 .

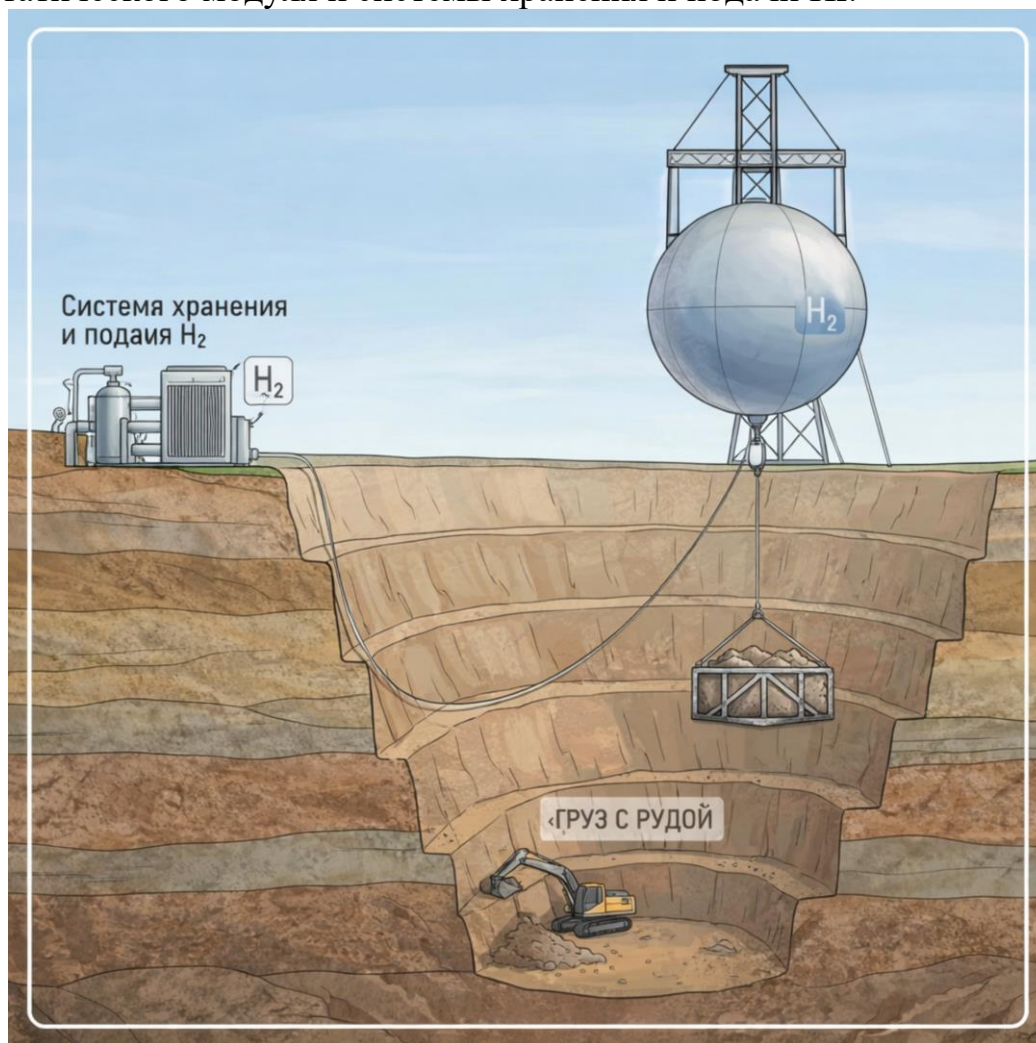


Рисунок 2 – Вариант компоновки системы подъёма груза из карьера с использованием привязного аэростатического модуля и системы хранения и подачи H_2

Отвод и подготовка водорода после стадии подъёма

После выполнения подъёмной функции водород не может сразу поступать в топливный элемент. Для этого требуется промежуточный этап, обеспечивающий его организованный отвод из аэростатического модуля и подготовку к дальнейшему использованию.

Такая подготовка может включать очистку газа, осушку, выравнивание давления и временное буферное накопление [6]. Этот участок связывает подъёмную и энергетическую части схемы и делает переход между ними последовательным.

Топливный элемент

После подготовки водород подаётся в РЕМ-топливный элемент. В нём он вступает в реакцию с кислородом, в результате чего вырабатываются электрическая энергия, вода и тепло. После транспортной стадии система получает энергетическое продолжение. В общий контур возвращается не сам водород, а часть энергии в электрической форме. Вода, образующаяся в результате работы топливного элемента, может в дальнейшем рассматриваться как исходное вещество для повторного электролиза [3].

Вывод

В работе рассмотрена концепция подъёмно-энергетического цикла, в котором водород используется и в подъёмном модуле, и в энергетическом звене. Основу схемы составляют получение водорода, его хранение, использование при подъёме груза, последующий отвод, подготовка и подача в топливный элемент.

Особое значение в этой системе имеют две стадии: хранение водорода и его подготовка после подъёма. Первая обеспечивает запас рабочего вещества, вторая — переход к возврату энергии. В результате предложенная схема может рассматриваться как основа для дальнейшей инженерной проработки применительно к глубоким карьерам [4-6].

Список литературы:

1. International Energy Agency. Global Hydrogen Review 2024 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2024> (дата обращения: 30.03.2026).
2. U.S. Department of Energy. Hydrogen Production: Electrolysis [Электронный ресурс]. URL: <https://www.energy.gov/cmei/fuels/hydrogen-production-electrolysis> (дата обращения: 30.03.2026).
3. U.S. Department of Energy. Fuel Cell Basics [Электронный ресурс]. URL: <https://www.energy.gov/cmei/fuels/fuel-cell-basics> (дата обращения: 30.03.2026).
4. Zuttel A. Materials for hydrogen storage // Materials Today. 2003. Vol. 6, no. 9. P. 24-33. DOI: 10.1016/S1369-7021(03)00922-2.
5. Klopčič N., Grimmer I., Winkler F., Sartory M., Trattner A. A review on metal hydride materials for hydrogen storage // Journal of Energy Storage. 2023. Art. 108456. DOI: 10.1016/j.est.2023.108456.
6. Yang M., Hunger R., Berrettoni S., Sprecher B., Wang B. A review of hydrogen storage and transport technologies // Clean Energy. 2023. Vol. 7, no. 1. P. 190-216. DOI: 10.1093/ce/zkad021.

7. Bao H., Knights P., Kizil M., Nehring M. Electrification Alternatives for Open Pit Mine Haulage // Mining. 2023. Vol. 3, no. 1. P. 1-25. DOI: 10.3390/mining3010001.
8. Lokar N., Munoz Ortiz M., Rachah A., Ahmed T., Fanavoll E. V., Ma X., Likozar B. The role of hydrogen in mining decarbonisation // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2026. Vol. 226. Art. 116447. DOI: 10.1016/j.rser.2025.116447.