

РАЗРАБОТКА ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ ТЕВЕРДОГО УГЛЕРОДА КАК ПОБОЧНОГО ПРОДУКТА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БИРЮЗОВОГО ВОДОРОДА

Игумнов М.А (Университет ИТМО) **Ким А. А.** (Университет ИТМО) **Волков А. Р.**
(Университет ИТМО)

Научный руководитель – к.э.н., доцент Павлова Е. А.
(Университет ИТМО)

Введение. В данной работе рассматриваются ряд важнейших вопросов о климатической повестке мира, которые были вызваны из-за нерационального использования и захоронения углеродных остатков. Рассмотрены технологии и экономические затраты на производство водорода. Произведен анализ существующих трендов для поиска инновационного решения по полезному использованию сажи, которое образуется после производства водорода. Предложен инновационный продукт для вторичного использования.

Основная часть. Климатическая повестка объединила большую часть мира в стремлении разработать и внедрить действующие меры по борьбе с глобальным потеплением. И переход к безуглеродной экономике - ключевой вектор этого движения. В декарбонизационной борьбе большие надежды возлагаются на водородное топливо [1-3].

- 1) Объемы производства водорода растут. В том числе и в России. Так в 2022 году «Роснефть» произвела более 650 тысяч тонн водорода, планируя увеличить выработку до 1,32 миллиона тонн в год в этом году. Бирюзовый водород может позволить быстро нарастить размеры водородной экономики, отработать технологии по всей цепочке и обеспечить быстрое — уже к 2025 г. сокращение выбросов парниковых газов.
- 2) При пиролизе метана, в процессе образуется в 3 раза больше углерода, чем водорода. Это примерно 345 млн тонн твердого углерода в год. Учитывая, что объем производства H₂ стремительно растет, пропорционально будет увеличиваться объем твердого углерода [4].
- 3) При производстве водорода методом пиролиза из природного газа образуется углекислый газ или твердый углерод разной степени чистоты. Если CO₂ можно уловить и захоронить, то для углерода необходимо найти способ практического применения или коммерческого сбыта, с целью повышения экономической эффективности. Таким образом получаем 2 продукта, имеющих материальную ценность на выходе.
- 4) Доказано, пиролиз метана в 7,5 раз более энергоэффективный способ водорода, чем электролиз. Для получения водорода через электролиз необходимо 286 КДж на моль H₂, а при пиролизе всего 37,5 КДж на моль. При производстве бирюзового водорода образуется сажа, которую легко и дешево улавливать и транспортировать, например, в бигбэгах.
- 5) Бирюзовый водород имеет все шансы прийти на смену голубому. Углерод как товарный продукт может быть использован в цепочке создания ценности производства водорода, тем самым обеспечив снижение себестоимости производства водорода методом пиролиза метана. Такой углерод нетоксичен и его легко хранить.
- 6) Стоимость производства водорода может быть снижена с 2,8 евро за кг до 0 евро за кг, если весь твердый углерод, оставшийся после пиролиза будет продан по 0,82 евро за килограмм. Что может дать крайне положительно сказаться на доступности водорода и может ускорить выход на крупнотоннажное производство.
- 7) Для поиска инновационного решения по полезному использованию сажи был проведен анализ существующих трендов. В том числе тренд на устойчивое развитие, цифровизацию процессов, бережливое производство и аддитивные технологии.
- 8) Вышеперечисленным параметрам удовлетворяет производство строительных материалов на основе технического углерода для сегмент высокоэтажного массового строительства с

использованием аддитивных технологий (3Д принтинг). На сегодняшний день технология используется мало и в основном для малоэтажной загородной застройки. Был проведен анализ литературных источников и результаты указывают, что в краткосрочной перспективе крупные городские застройщики тоже начнут использование данной технологии [5-6].

9) Инновационным продуктом в данном случае будет являться смесь для 3Д принтинга, содержащая значительное количество твердого углерода. Дополнительными продуктами была рассмотрена черная отделочная плитка и умное покрытие для крыш, обладающее энергосберегающими функциями и предотвращающее образование наледи на крышах и подогрев воды в теплое время года.

Выводы. Результаты анализа перешли в проект «Black Carbon Development», который разрабатывает технологии полезного использования значительных объемов твердого углерода, образующегося в результате производства бирюзового водорода, для снижения стоимости водорода, уменьшения негативного воздействия на окружающую среду, а также для положительного вклада в решение жилищного кризиса в регионах, а также городов, пострадавших от стихийных бедствий.

Список использованных источников:

1. Holladay J.D. Hu J. King D.L Wang Y. An overview of hydrogen production technologies // Catal. Today/ 2009-139.- p. 244-260

2. IEA. The Future of Hydrogen. Report prepared by the IEA for the G20, Japan. – URL: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>

3. Muradov.N Veziroglu.T. “Green path from fossil based to hydrogen economy: An overview of carbon neutral technologies. Int.J. Hydrogen Energy, 2008, 468-477

4. Ishkov A., Romanov K., Teterevlev R., Kuhn M. Cost-effective and clean ways of producing hydrogen from natural gas. International Gas Union. International Gas, 10-2020, Industry expected to rebound in 2021.

5. Аксютин О.Е. и др. Метан, водород, углерод: новые рынки, новые возможности. Нефтегазовая вертикаль, №1-2/2021.

6. Серков А.И. Развитие технологии трехмерной печати в области строительства // Региональное развитие: электронный научно-практический журнал.2017. No 2(20). URL: <https://regrazvitie.ru/razvitie-tehnologii- trehmernoj-pechati-v-oblasti-stroitelstva/>