



НАУКА
И ИННОВАЦИИ
РОСАТОМ

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ТЕМЕ
ПРИОРИТЕТНОГО НАПРАВЛЕНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО
РАЗВИТИЯ ГК «РОСАТОМ» «ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА»



ПРОИЗВОДСТВО
ВОДОРОДА ТЕКУЩИМИ
И ПЕРСПЕКТИВНЫМИ
СПОСОБАМИ

ПРОГНОЗЫ МИРОВОГО
ПОТРЕБЛЕНИЯ ВОДОРОДА

ВАРИАНТЫ РАЗВИТИЯ
АТОМНО-ВОДОРОДНОЙ
ЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ
КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ
ВОДОРОДА, ПОЛУЧАЕМОГО
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

ПРЕДЛОЖЕНИЯ
ПО НАПРАВЛЕНИЯМ
ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ ТЭИ

МЕРЫ ГОСУДАРСТВЕННОЙ
ПОДДЕРЖКИ ВОДОРОДНОЙ
ЭНЕРГЕТИКИ

Государственная корпорация
по атомной энергии «Росатом»
Частное учреждение «Наука и инновации»
Центр аналитических исследований
и разработок

Москва
2021

Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом»
Частное учреждение «Наука и инновации»
Центр аналитических исследований и разработок

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ (ТЭИ) ПО ТЕМЕ
ПРИОРИТЕТНОГО НАПРАВЛЕНИЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ
«ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА»**

Москва
2021

УДК 620.92

ББК 31.15

Т 38

Т 38 Технико-экономические исследования (ТЭИ) по теме приоритетного направления научно-технического развития «Водородная энергетика». / Журавлев И.Б., Залужный А.А., Птицын П.Б.; М.: ЦАИР, частное учреждение «Наука и инновации», 2021. – 150 с.

ISBN 978-5-498-00807-3

© ЦАИР, частное учреждение «Наука и инновации», 2021

Подписано в печать 20.08.2021. Формат 60x84 1/8. Бумага мелованная.

Гарнитура «Rosatom». Печать офсетная. Усл. печ. л. 17,44.

Тираж 150 экз. Заказ № 6301.

Отпечатано в ООО «Элефант»:

610040, г. Киров, ул. Мостовая, д. 32/7,

www.hibox.pro

НАЗВАНИЕ РАБОТЫ:

Технико-экономические исследования (ТЭИ) по теме приоритетного направления развития научно-технического развития «Водородная энергетика».

АВТОРЫ:

Журавлев И.Б., Руководитель группы приоритетных направлений НТР, Центр аналитических исследований и разработок, частное учреждение «Наука и инновации».

Залужный А.А., Аналитик группы приоритетных направлений НТР, Центр аналитических исследований и разработок, частное учреждение «Наука и инновации».

Птицын П.Б., Заместитель директора – директор отраслевого Центра аналитических исследований и разработок, частное учреждение «Наука и инновации».

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Мокрушин А.А., Заместитель генерального директора по науке, АО «НИИ НПО «ЛУЧ».

Фатеев С.А., Начальник бюро, АО «ОКБМ Африкантов».

РЕФЕРАТ:

В документе приведены базовые характеристики и экономические оценки стоимости производства водорода текущими и перспективными способами (конкурентная среда предложения) и прогнозы роста потребления водорода (спрос). Описаны используемые в мировой практике программные методы расчета экономических показателей производства водорода, в том числе с вовлечением атомной генерации. Приведены варианты ближне- и среднесрочного развития атомно-водородной энергетики России и результаты моделирования на основании исходных данных, полученных от АО «РАОС» (ВВЭР+электролиз) и АО «ОКБМ Африкантов» (ВТГР+ХТЧ). Даны предложения по направлениям дальнейшего развития технико-экономических исследований по данной теме.

В приложениях приведены рекомендации по НИОКР технологии ВТГР в области обеспечения топливом и безопасности, описание мер государственной поддержки и другие полезные материалы из предыдущих информационно-аналитических отчетов текущего года.

Аналитический отчет подготовлен по поручению Заместителя генерального директора Госкорпорации «Росатом» по науке и стратегии (Протокол совещания от 4.08.2020).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

Водород, производство водорода, использование водорода, ядерная энергетика.

ЦИТИРОВАНИЕ:

Технико-экономические исследования (ТЭИ) по теме приоритетного направления развития научно-технического развития «Водородная энергетика». / Журавлев И.Б., Залужный А.А., Птицын П.Б.; М.: ЦАИР, частное учреждение «Наука и инновации», 2021. – 163 с. – Рус. – Деп. 21.05.21, № 30-В2021.

TITLE:

Feasibility studies (TEI) on the promising direction of scientific and technological development «Hydrogen energy».

AUTHORS:

Zhuravlev I.B., Zaluzhnyy A.A., Ptitsyn P.B., Centre of Analytical R&D (CARD), Private Enterprise “Science and Innovations”, State Atomic Energy Corporation Rosatom.

REVIEWERS:

Mokrushin A.A., JSC «SRI SIA «LUCH».

Fateev S.A., JSC «Afrikantov OKBM».

ABSTRACT:

The document provides basic characteristics and economic estimates of the cost of hydrogen production by current and prospective methods (competitive supply environment) and forecasts for the growth of hydrogen consumption (demand). The software methods used in world practice for calculating the economic indicators of hydrogen production, including those involving nuclear generation, are described. Variants of the short- and medium-term development of the atomic-hydrogen energy in Russia and the results of modeling based on the initial data obtained from JSC «RAOS» (VVER + electrolysis) and JSC «Afrikantov OKBM» (HTGR + hydrogen generation plant) are presented. Suggestions are given on the directions of further development of technical and economic research on this topic.

The appendixes contain recommendations on R&D of HTGR technology in the field of fuel and safety, a description of governmental support measures and other useful materials from previous analytical reports of the current year.

The analytical report was prepared on behalf of the Deputy General Director of ROSATOM for Science and Strategy (Minutes of the meeting dated 4.08.2020).

KEYWORDS:

hydrogen, hydrogen production, hydrogen utilization, nuclear energy.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| ВВЕДЕНИЕ | 7 |
| 1. ПРОИЗВОДСТВО ВОДОРОДА | 9 |
| 1.1. Физико-химические свойства водорода, определяющие его коммерческую привлекательность..... | 9 |
| 1.2. Существующие способы производства водорода и их экономическая оценка..... | 15 |
| 1.2.1. Получение водорода с использованием природных топлив..... | 15 |
| 1.2.2. Получение водорода методом электролиза..... | 18 |
| 1.2.3. Иные способы получения водорода..... | 22 |
| 1.2.4. Сравнение экономических показателей различных способов получения водорода..... | 26 |
| 2. ПОТРЕБЛЕНИЕ ВОДОРОДА | 31 |
| 2.1. Существующие области применения водорода..... | 31 |
| 2.1.1. Промышленность..... | 33 |
| 2.1.1.1. Нефтепереработка и нефтегазохимия..... | 33 |
| 2.1.1.2. Химическая промышленность..... | 35 |
| 2.1.1.3. Металлургия..... | 36 |
| 2.1.1.4. Высокотемпературное тепло..... | 36 |
| 2.1.2. Транспорт..... | 37 |
| 2.1.3. Энергетика..... | 39 |
| 2.1.4. Коммунальное хозяйство..... | 40 |
| 2.1.5. Прочие применения..... | 41 |
| 2.2. Перспективные области применения водорода..... | 42 |
| 2.2.1. Промышленность..... | 42 |
| 2.2.1.1. Нефтепереработка и нефтегазохимия..... | 42 |
| 2.2.1.2. Химическая промышленность..... | 43 |
| 2.2.1.3. Металлургия..... | 45 |
| 2.2.1.4. Высокотемпературное тепло..... | 46 |
| 2.2.2. Транспорт..... | 47 |
| 2.2.3. Энергетика..... | 49 |
| 2.2.4. Коммунальное хозяйство..... | 49 |
| 2.3. Прогноз рынка коммерческого водорода до 2030 г..... | 50 |
| 3. «АТОМНЫЙ» ВОДОРОД | 55 |
| 3.1. Краткосрочная перспектива..... | 56 |
| 3.2. Средне- и долгосрочная перспектива..... | 58 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.3. Исходные данные для расчета стоимости водорода, произведенного электролизом с использованием энергии ВВЭР | 62 |
| 3.4. Исходные данные для расчета стоимости водорода, произведенного конверсией углеводородов с использованием высокотемпературного тепла ВТГР | 64 |

4. МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА..... 67

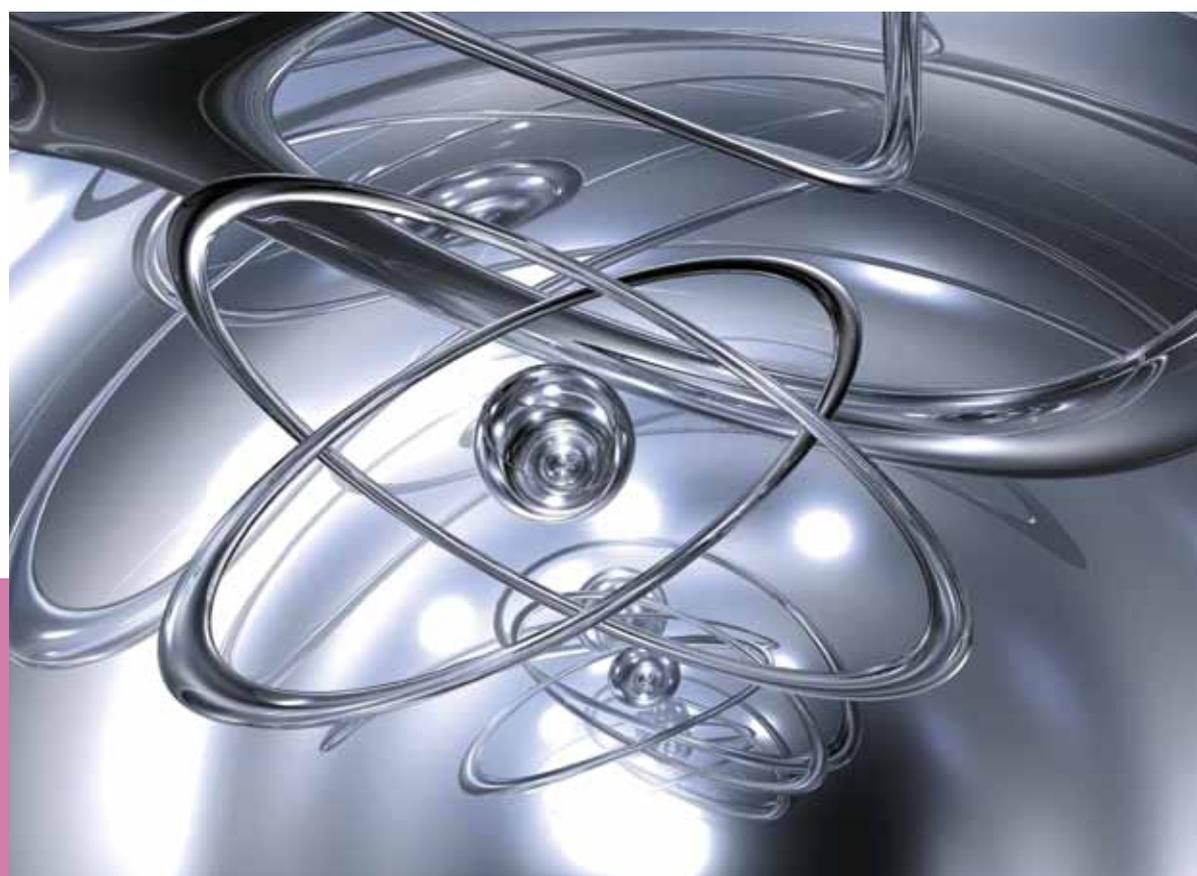
| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.1. Методы экономической оценки стоимости производимого водорода | 67 |
| 4.1.1. Аналитические подходы и программные средства, используемые при технико-экономических исследованиях и обосновании альтернативных вариантов водородных производств | 67 |
| 4.1.2. Себестоимость водорода | 72 |
| 4.1.3. Средневзвешенная стоимость водорода | 73 |
| 4.2. Оценка стоимости водорода, произведенного электролизом с использованием энергии ВВЭР | 74 |
| 4.3. Оценка стоимости водорода, произведенного конверсией углеводородов с использованием высокотемпературного тепла ВТГР | 74 |
| 4.4. Сравнение расчетных оценок с требованиями рынков | 77 |
| 4.5. Оптимизация технологии получения водорода с использованием РУ ВТГР-200 | 79 |
| 4.6. Направления совершенствования технико-экономических исследований | 84 |
| 4.7. Оценка расходов на хранение и транспортировку | 85 |
| 4.7.1. Формы хранения и транспортировки водорода | 86 |
| 4.7.2. Способы хранения водорода | 88 |
| 4.7.2.1. Крупномасштабное геологическое хранение, газообразный водород под давлением | 90 |
| 4.7.2.2. Среднемасштабное хранение, жидкие формы водорода | 95 |
| 4.7.2.3. Мелкомасштабное хранение, сжатый газообразный водород | 99 |
| 4.7.2.4. Альтернативные новые технологии | 99 |
| 4.7.3. Способы транспортировки водорода | 101 |
| 4.8. Меры государственной поддержки производства водорода | 107 |

ЗАКЛЮЧЕНИЕ..... 113

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ..... 118

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ..... 120

| | |
|-------------------------------------------------|-----|
| ПРИЛОЖЕНИЕ А | 122 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Б | 123 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ В | 126 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Г | 127 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Д | 128 |
| Д. 1. Европейский союз..... | 128 |
| Д. 2. Германия..... | 132 |
| Д. 3. Япония..... | 136 |
| Д. 4. Китайская Народная Республика..... | 139 |
| Д. 5. США..... | 142 |
| Д. 6. Республика Корея..... | 145 |





ВВЕДЕНИЕ

В ходе своего развития мировая экономика пережила несколько энергетических переходов, изменяя основные энергоносители. Древесный уголь сменился на каменный, а затем произошла замена угля на нефть и природный газ. Содержание углекислого газа в атмосфере, образующегося в результате их сгорания, резко увеличилось с началом индустриальной революции. Повышенная концентрация углекислого газа повлекла за собой парниковый эффект, послуживший одной из основных причин глобального изменения климата. В настоящее время в мировой энергетике происходит обратный процесс глобальной трансформации, направленный на декарбонизацию экономики. Ведущие страны мира, отдельные регионы, крупные корпорации, города устанавливают в своих долгосрочных стратегиях цели по снижению выбросов парниковых газов, направленные на борьбу с глобальным изменением климата. Декарбонизация подразумевает снижение выбросов углекислого газа и является, наряду с ростом потребления энергии, одной из основных движущих сил развития водородной энергетики.

Российская Федерация также разрабатывает собственную водородную стратегию, в которой атомной энергетике отводится значительная роль.

С полными версиями аналитических отчетов отраслевого Центра аналитических исследований и разработок можно ознакомиться на следующих ресурсах:

1. Портал отраслевого Центра аналитических исследований и разработок (доступ осуществляется через внутреннюю сеть КСПД Росатома)



2. Раздел отраслевого Центра аналитических исследований и разработок на портале «Страна Росатом» (доступ осуществляется через внутреннюю сеть КСПД Росатома)

