

## Список использованных источников

1. Севастьянов Борис Владимирович, Костин Дмитрий Михайлович Нормативные параметры совершенствования системы управления охраной труда // Технические науки – от теории к практике. 2016. №12 (60). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/normativnye-parametry-sovershenstvovaniya-sistemy-upravleniya-ohranoy-truda> (15.10.2025).
2. Шевченко Л.А., Поздняков А.Н. Алгоритм оценки эффективности системы управления охраной труда и промышленной безопасностью на опасных производственных объектах электроэнергетики на примере ОАО «Южно-Кузбасская ГРЭС» // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2014. №1 (101). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/algorimt-otsenki-effektivnosti-sistemy-upravleniya-ohranoy-truda-i-promyshlennoy-bezopasnostyu-na-opasnyh-proizvodstvennyh-obektah> (17.12.2024).

УДК 662.769

**О.Б. Чунгушов, Щ.Д. Тулемедов**

Международный университет Нефти и Газа имени Ягшигельди Какаева,  
Ашхабад, Туркменистан

## НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА ИЗ ПРИРОДНОГО ГАЗА

***Аннотация:** Доступность различных методов производства водорода является одним из главных преимуществ водородной энергетики, поскольку повышает энергетическую безопасность и снижает зависимость от отдельных видов сырья. Существует 4 основных источника производства водорода: природный газ, нефть, уголь и электролиз. 48% мирового производства водорода приходится на природный газ, 30% на нефть, 18% на уголь и 4% на электролиз.*

**O.B. Chungushov, Sh.D. Tulemedov**

International Oil and Gas university named after Yagshygeldi Kakayev,  
Ashgabat, Turkmenistan

## SCIENTIFIC BASIS FOR PRODUCING HYDROGEN FROM NATURAL GAS

***Abstract:** The availability of various methods of hydrogen production is one of the main advantages of hydrogen energy, as it improves energy security and reduces dependence on certain types of raw materials. There are 4 main sources of hydrogen production: natural gas, oil, coal and electrolysis. 48% of the world's hydrogen production comes from natural gas, 30% from oil, 18% from coal, and 4% from electrolysis.*

В настоящее время климатическая повестка становится значимым фактором изменений в мировой экономике и энергетике. В качестве одной из приоритетных целей мировой экономики рассматриваются замедление процесса глобального потепления, а также развитие отраслей экономики при низком уровне выбросов парниковых газов (низкоуглеродная экономика).

Водород может быть использован для накопления, хранения и доставки энергии и рассматривается в качестве перспективного энергоносителя и инструмента для решения задач по развитию низкоуглеродной экономики и снижению антропогенного влияния на климат. Основными преимуществами водорода являются возможность его получения из различных источников и отсутствие выбросов углекислого газа при его использовании в качестве энергоносителя.

В мире в настоящее время наблюдается повышение внимания к развитию водородного направления. Многие страны мира приняли специализированные государственные стратегии и дорожные карты по развитию водородной энергетики. Для Туркменистана развитие отечественной водородной энергетики является естественным ходом развития науки и технологий и продолжением традиционного для страны ресурсосберегающего подхода [1].

В настоящее время глобальный рынок водорода как энергоносителя отсутствует. Развитие технологий и масштабирование водородной энергетики в будущем смогут сформировать достаточно крупный рынок. Характер этого рынка с учетом развития соответствующих технологий может быть как глобальным, с крупнотоннажными перевозками водорода от центров производства к центрам потребления, по аналогии с рынками нефти и сжиженного природного газа, так и локальным, при котором производство и потребление будут сосредоточены в рамках одних и тех же стран или небольших регионов. Туркменистан как потенциальный потребитель водорода заинтересован в формировании как глобального рынка водородных энергоносителей, так и национального рынка на основе отечественных технологий и промышленной продукции, а также в полномочном участии во всех глобальных процессах, связанных с

формированием рынка, на условиях открытого и справедливого международного сотрудничества.

Прогнозы развития мировой водородной энергетики и глобального рынка водорода в настоящее время имеют высокую степень неопределенности и широкий диапазон оценок и обусловлены не только экономическими, но и политическими факторами. С учетом потребности в водороде при реализации национальных программ развития водородной энергетики стран Европы, Азиатско-Тихоокеанского региона дополнительный мировой спрос на водород может составить 40 - 170 млн. тонн в год к 2050 году в зависимости от темпов развития мировой низкоуглеродной экономики и скорости освоения и развития водородных технологий, что, в свою очередь, будет во многом зависеть от реализации механизмов государственной поддержки.

Сегодня в целях предотвращения глобального потепления и выбросов парниковых газов большое внимание уделяется развитию водородной энергетики в мире.

Тот факт, что Туркменистан обладает огромными запасами природного газа, а также наличие развитой инфраструктуры для его экспорта и постоянное его расширение показывают, что в нашей стране имеются большие возможности для производства и экспорта водородной энергетики в будущем [2].

Промышленные способы получения водорода из природного газа:

а) Конверсия с водяным паром :

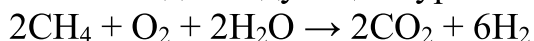


б) Окисление кислородом в присутствии катализатора:



Производство водорода в промышленных условиях предполагает процесс отделения его от природного газа, а точнее, основного компонента метана. Он смешивается с кислородом и водяным паром. Выделение водорода происходит при высоких температурах.

При нагревании смеси этих газов до 800-900  $^{\circ}\text{C}$  в присутствии катализатора протекает реакция, которую схематически можно изобразить в виде следующего уравнения:



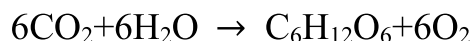
Полученную газовую смесь затем разделяют. При этом выделяющийся водород очищается и используется на производстве или направляется в необходимое место под высоким давлением в стальных баллонах.

Водород можно получить различной чистоты, т.е. до 95-99%. В зависимости от применения водорода производится при разном давлении: от 1,0 до 4,2 МПа. Сырье (природный газ или легкие масляные фракции) нагревается до 350 – 400 °С в конвективной печи или теплообменнике и поступает в установку сероочистки. Отходящие газы охлаждаются в печи-утилизаторе, где вырабатывается пар необходимых параметров. Здесь после высокотемпературной конверсии СО в низкотемпературный газ подвергается адсорбции, а затем метанированию остаточных оксидов. В результате получается 95-98,5% чистого водорода, 1-5 % метана, а также СО и СО<sub>2</sub> газов [3].

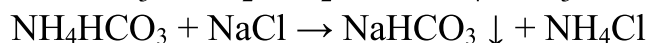
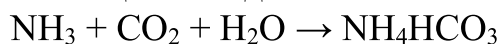
Когда необходимо получить особо чистый водород, устройство оснащается секцией адсорбционного разделения риформинг-газа. В отличие от предыдущей схемы, конверсия СО здесь одностадийная. В системе газовая смесь, содержащая Н<sub>2</sub>, СО<sub>2</sub>, СН<sub>4</sub>, Н<sub>2</sub>О и небольшое количество СО, охлаждается от воды и направляется на адсорбционное оборудование, заполненное цеолитами. Все примеси помещаются за один этап при температуре окружающей среды. В результате получается водород чистотой 99,99 %. Давление получаемого водорода составляет 1,5 – 2 МПа.

При производстве водорода выделяется большое количество углекислого газа. Углекислый газ можно собирать и использовать во многих отраслях промышленности [4]. Например:

1) в качестве парниковых газов:



2) при производстве пищевой соды:



3) в производстве кальцинированной соды:



#### Список использованных источников

1. <https://iogu.edu.tn>
2. Производство водорода, синтез газа и энергетического газа (сборник научных трудов). Москва. 1981.
3. Диоксид углерода: новые разработки методов сокращения его выбросов в окружающую среду. Способы сжижения газообразного СО<sub>2</sub> и получения сухого льда. *Аналитический обзор*. Разработан на основе информационных материалов, поступивших в СИФ НИИТЭХИМа за период 2005-2008 (июль) гг. и баз сети Internet. WebSite: <http://niitehim.ck.ua>. Черкассы, 2008.

4. Водородные энергетические технологии. Материалы семинара лаборатории ВЭТ ОИВТ РАН. Выпуск 1. Москва. 2017.

УДК 621.311; 004.8

**К.Д. Рубцов**  
ФИЦ КНЦ СО РАН,  
г. Красноярск, Российская Федерация

## **МЕТОДОЛОГИЯ ФИЗИКО-ИНФОРМИРОВАННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ЗАДАЧ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

***Аннотация.** В статье представлена методология построения гибридных моделей для решения задач прогнозирования технического состояния электротехнического оборудования в электроэнергетических системах. Методология позволит повысить точность, надёжность прогнозов, обеспечивает физическую интерпретируемость результатов и снижает требования к объёму обучающей выборки.*

**K.D. Rubtsov**  
FRC KSC SB RAS,  
Krasnoyarsk, Russian Federation

## **METHODOLOGY OF PHYSICS-INFORMED MODELING FOR TECHNICAL CONDITION FORECASTING OF ELECTRICAL EQUIPMENT**

***Abstract.** The article presents a methodology for building hybrid models to solve the problems of predicting the technical condition of electrical equipment in electric power systems. The methodology will increase the accuracy, reliability of forecasts, provides physical interpretability of the results and reduces the requirements for the volume of the training sample.*

Эффективность и надёжность функционирования современных электроэнергетических систем (ЭЭС) напрямую зависят от технического состояния ключевого оборудования (например, силовые трансформаторы, высоковольтные выключатели, кабельные линии). Внезапные отказы этого оборудования приводят к значительным экономическим убыткам и нарушению электроснабжения потребителей. В связи с этим развитие систем мониторинга и прогнозирования остаточного ресурса является приоритетной задачей [1].

Традиционные подходы к диагностике и прогнозированию можно разделить на 2 группы. Первая основана на использовании