

3. Барыбина Ю. Г. и др. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования. – М: Энергоатомиздат, 1991 г. – 464 с.
4. DEHN + SÖHNE: Protection Guide 3rd updated edition, DEHN + SÖHNE GmbH, 2014 – 489 p.
5. Etap powering success, User Guide, Operation technology, Inc. Registered to ISO 9001:2008, October 2016 – 5447 p.

## ВНЕДРЕНИЕ ЩЕЛОЧНЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ НА АЭС

О.Р. Крашенко

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: ork1@tpu.ru

## INTRODUCTION OF ALKALINE ELECTROLYZERS AT NUCLEAR POWER PLANTS

O.R. Krashenko

National Research Tomsk Polytechnic University

*Annotation. The purpose of the study is to determine the optimal technology for hydrogen production. The report discusses the problems of hydrogen production. The main focus is on hydrogen production using alkaline electrolyzers. The scientific novelty of the research is to develop a technology for the production of hydrogen on an industrial scale, while minimizing the cost price of products.*

В настоящее время остро встал вопрос, связанный с водородной энергетикой. Водородные технологии становятся одним из актуальных направлений трансформации энергетики мира. На данный момент около 80% водорода получают из природного газа и нефтепродуктов путем паровой конверсии. В эндотермическом процессе паровой конверсии сжигается около половины природного газа с выбросом продуктов сгорания в атмосферу, что наносит вред экологии [1].

Щелочные электролизеры являются ключевой разработкой для получения водорода на атомных станциях при использовании расплавов солей и щелочей. Они обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными методами электролиза и являются наиболее экологичными в сравнении с другими видами производств.

На данный момент, технология наработки водорода путем электролиза реализована на многих АЭС в РФ, но не переведена в промышленные масштабы. Щелочные электролизеры могут улучшить и наладить процесс наработки водорода [2].

К примеру, реализованный проект получения водорода путем адиабатической конверсии метана требует затрат на [3]:

- первоначальное строительство 230млрд. руб.;
- природный газ (в расчете на одну установку) – 11400 млн руб./год;

Решением проблемы является внедрение электролизеров, способных нарабатывать водород в промышленных масштабах, при минимизации себестоимости продукции на АЭС. Предлагаемая технология состоит из двух ступеней (рис.3): в первой ступени исходным сырьем является галит из которого методом электролиза нарабатывается щелочь с побочным получением водорода. На второй ступени используется щелочной электролизер, главным продуктом которого является водород [4].

Отбор воды для установки производится из химического цеха, а точнее – из системы водоподготовки. Через сеть трубопроводов вода поступает в отдельный цех по наработке водорода и производству сопутствующих продуктов. Далее в смесителе происходит образование раствора хлорида натрия, который через распределительные трубопроводы соединяется электролизерами первой ступени.

На первой ступени каскада происходит следующая реакция:  $NaCl \rightarrow Na^+ + Cl^-$  на катоде:  $2H_2O + 2e = H_2 + 2OH^-$ ; на аноде:  $2Cl^- - 2e = Cl_2$ ; в сумме:  $2NaCl + 2H_2O \xrightarrow{2e} H_2 + Cl_2 + 2NaOH$

Схема электролизеров представлена на рис.1 [5].

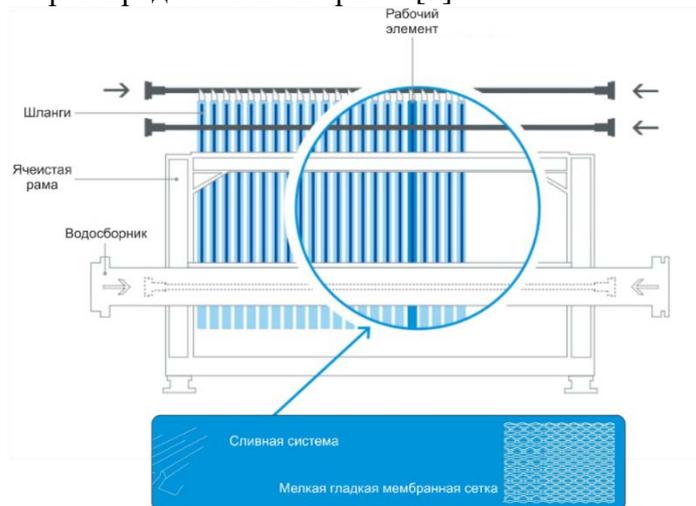
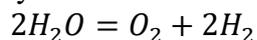


Рис.1. Схема электролизёра первой ступени

Из первой ступени электролизёра отводятся  $H_2$  в баки хранения водорода и  $Cl_2$  в систему обращения с хлором (рис.2). Получившийся раствор  $NaOH$  также можно использовать для дальнейшей наработки водорода путем электролиза во второй ступени по схеме: на катоде:  $2H_2O + 2e = H_2 + 2OH^-$ ; на аноде:  $4OH^- = O_2 + 2H_2O + 4e$ ; в сумме:



Преимущества: Уникальная система уплотнений и шлангов обеспечивает 100% герметичность до 4,7 бар (рабочее давление: ниже 0,5 бар). Роликовая подвеска каждого отдельного элемента обеспечивает точную регулировку контактного давления. Прочные, износостойкие прокладки из ПТФЭ (политетрафторэтилена). Собранные элементы могут храниться в течение многих месяцев. Быстрая и простая замена элементов. Только один тип элемента в одном электролизере (специальные концевые элементы не требуются). За счет специальной ионной мембраны достигается эффект «нулевого зазора», чем обеспечивается герметичной, а следовательно, и безопасность установки.

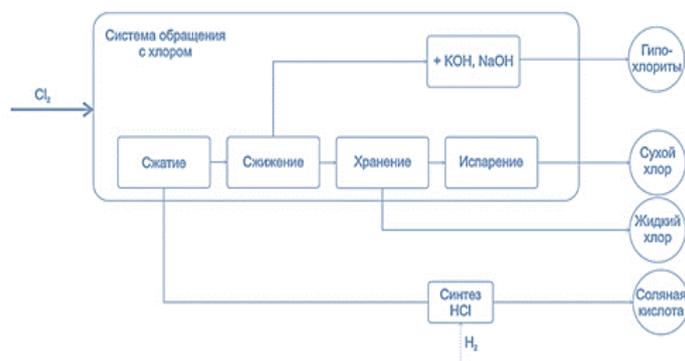


Рис.2. Схема системы обращения с хлором

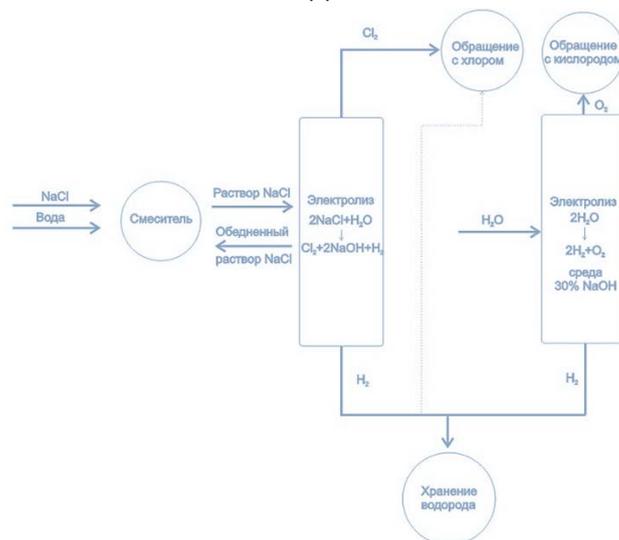


Рис.3. Принципиальная схема процесса

Итоговыми продуктами являются водород, хлор в жидкой и сухой форме, гипохлориты натрия, соляная кислота и кислород.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пономарев-Степной Н.Н. и др. Атомный энерготехнологический комплекс с высокотемпературными газоохлаждаемыми реакторами для масштабного экологически чистого производства водорода из воды и природного газа // Газовая промышленность. – 2018. – № 11 – С. 94–102.
2. Aminov R.Z., Bairamov A.N. Performance evaluation of hydrogen production based on off-peak electric energy of the nuclear power plant // International Journal of Hydrogen Energy. – 2017. – vol. 42(34). – P. 21617–21625.
3. Пономарев-Степной Н.Н. Перспективы атомно-водородной энергетики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.eriras.ru/files/5\\_ponomarev-st-prezentatsiyaa\\_25\\_10\\_18-.pdf](https://www.eriras.ru/files/5_ponomarev-st-prezentatsiyaa_25_10_18-.pdf) (дата обращения 11.10.2020).
4. Холлиншид Г., Икард М., Надоленко В. Щелочной электролиз – альтернатива электролизу с ионно-обменными мембранами // Наноиндустрия. – 2011. – № 5(29). – P. 32–34.
5. Karl Verfondern Nuclear Energy for Hydrogen Production. – Germany: Forschungszentrum Jülich GmbH, 2007. –199 p..

### АВТОМАТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ОПТИМИЗАЦИИ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

П.А. Малофеева, Д.В. Купцова, Р.Б. Абеуов  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
E-mail: malofeeva\_polina\_a@mail.ru

### AUTOMATIC DEVICE FOR OPTIMIZING ELECTRICAL ENERGY LOSSES IN THE ELECTRICAL NETWORK OF THE POWER SYSTEM

P.A. Malofeeva, D. V. Kuptsova, R.B. Abeuov  
National Research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** To this day, minimizing the losses of eclectic energy during its transport through the electric grids of the power system remains an urgent task. The purpose of this work was to develop general principles for constructing an automatic device for optimizing electrical