

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОДОРОДНОЙ НАДСТРОЙКИ НА АЭС С РЕАКТОРОМ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ

В.Е. Губин, А.М. Антонова, В.Ю. Борисов, А.В. Воробьев
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: gubin@tpu.ru

ANALYSIS OF EFFICIENCY OF THE HYDROGEN ADJUSTMENT TO A NPP WITH A FAST NEUTRON REACTOR

V.E. Gubin, A.M. Antonova, V.Yu. Borisov, A.V. Vorobiev
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: gubin@tpu.ru

***Annotation.** The object of the research is hydrogen complex with the BN-1200 power unit. The purpose of the work is to consider the methods of integration hydrogen plant with a fast neutron reactor power unit and to analyze the technical and economic efficiency of the atomic-hydrogen power unit BN-1200. The calculation researches following were out: thermal calculations of the third circuit of the BN-1200 with single and double overheating of steam in hydrogen combustion chambers.*

Водород представляет особый интерес как топливо и энергоноситель ввиду его максимальной удельной энергетической емкости, высокой температуры сгорания и экологичности. Большое число публикаций в последнее время посвящено вопросам повышения КПД атомных станций путем водородной надстройки [1–3]. Исследование для АЭС с реактором на быстрых нейтронах имеет особую актуальность, поскольку в этом случае возможна реализация замкнутого ядерного топливного цикла.

В работе поставлена цель оценки эффективности и возможности практической интеграции водородного комплекса с энергоблоком с быстрым реактором БН-1200, для которого в настоящее время ОАО СПБАЭП разработан проект. Водородная надстройка энергоблока выполняется без внесения изменений в схемы и оборудование первого и второго контуров и заключается в дополнительном подводе теплоты за счет сжигания водорода в третьем контуре; при этом возможно несколько схемных вариантов.

В рассмотренном комплексе перед цилиндром высокого давления (ЦВД) паровой турбины установлена камера сгорания. Водород и кислород для перегрева свежего пара подаются компрессорами из системы хранения через буферные емкости. Анализ эффективности применения водорода на АЭС с реактором БН-1200 проведен на основе вариантных расчётов тепловой схемы. Варьируемой переменной является температура перегретого пара после камеры сгорания, диапазон ее изменения: 510 – 810 градусов с шагом в 100 градусов; результаты расчетов представлены на рисунке 1. За счет высоких значений температуры пара на входе в турбину КПД нетто энергоблока увеличился от исходного значения 0,370 до 0,380 (при 610 °С) и до 41,5% (при 810 °С); электрическая мощность генератора энергоблока возрастает при этом от 1200 МВт до 1360 МВт (при 610 °С) и до 2372 МВт (при 810 °С). Увеличение температуры перегретого пара выше 610°С в настоящее время ограничено материаловедческими и экономическими факторами. Поэтому в реальных условиях максимальный прирост КПД нетто энергоблока составляет 2,7 % (отн.), максимальный прирост мощности – 13,3 %.

В результате анализа существующих методов получения водорода наиболее приемлемым оказался электролиз воды. Он протекает при невысоких температурах и

не требует дополнительного сырья. Произведенный водород можно запасать в системе хранения.

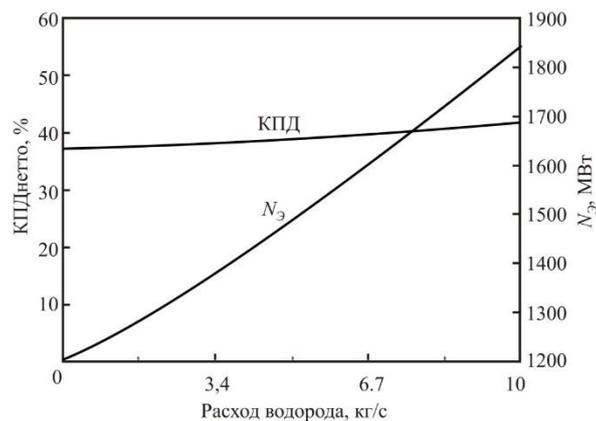


Рис. 1. Зависимости КПД нетто и электрической мощности энергоблока с водородной надстройкой от расхода водорода в камеру сгорания

На рисунке 2 приведены результаты расчетов для энергоблока с водородным перегревом пара до 610 °С за счет подвода водорода в количестве 3,4 кг/с в течение 5 часов (время пиковой нагрузки). Анализ показывает, что требуется установка 75 крупногабаритных электролизеров типа ЭУ-1000/1.6 с габаритами 5 м/6,5 м/2,7 м. Это делает производство водорода для повышения экономичности АЭС технически и экономически невозможным.

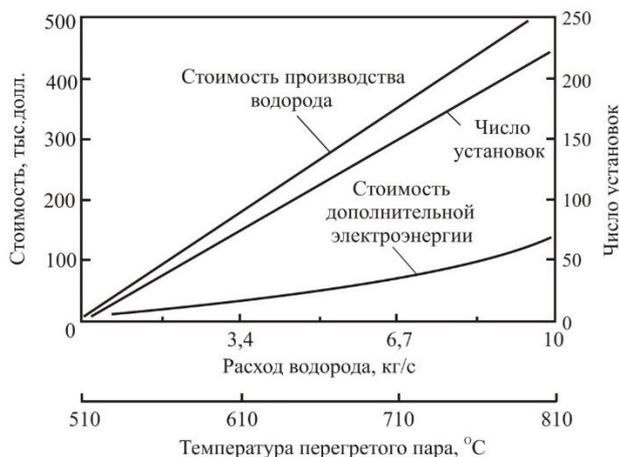


Рис. 2. Число электролизных установок в зависимости от расхода водорода в камеру сгорания и температуры перегретого пара.

При удельной стоимости водорода, производимого методом электролиза 3 долл./кг и удельной стоимости электроэнергии 0,04 долл./(кВт·ч) [4] затраты на получение водорода в рассмотренных условиях в 5 раз превышают стоимость дополнительной электроэнергии, полученной за счет его сжигания (рисунок 2).

Кроме того, производимого на электролизных установках количества кислорода недостаточно для стехиометрического окисления в камерах сгорания (на один кг водорода необходимо подводить 8 кг кислорода), что приводит к необходимости применения дополнительных генераторов кислорода или его масштабной покупки.

Таким образом, повышение тепловой экономичности энергоблоков АЭС и получение пиковой мощности за счет сжигания водорода в камерах сгорания в настоящее время оказалось неэффективным технико-экономически. Это вызвано

высокими капитальными затратами в турбоустановку, связанными с применением высококачественных материалов при высоких температурах пара, огромными габаритами электролизной установки и потреблением ею большого количества электроэнергии, большими затратами на покупку кислорода от внешних производителей или на установку адсорбционных генераторов кислорода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Aminov R.Z., Bairamov A.N., Garievskii M.V. Assessment of the Performance of a Nuclear-Hydrogen Power Generation System// Thermal Engineering. – 2019. – vol. 66. – no. 3. – Pp. 196–209.
2. Аминов Р.З., Байрамов А.Н. Оценка системной эффективности АЭС в комбинировании с водородным энергетическим комплексом // Известия РАН. Энергетика. – 2019. – № 1. – С.70–81.
3. Аминов Р.З., Байрамов А.Н. Комбинирование водородных энергетических циклов с атомными электростанциями. – М.: Наука, 2016. – 254 с.
4. Радченко, Р.В., Мокрушин А.С., Тюльпа В.В. Водород в энергетике. – Екатеринбург : Издательство Урал. ун-та, 2014. – 229 с.