

### **СЕКЦИЯ 3. ПРОИЗВОДСТВО ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТУРБОУСТАНОВКИ В СОСТАВЕ ЭНЕРГОБЛОКА БРЕСТ-ОД-300**

Н.И. Березиков  
Томский политехнический университет  
ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, группа 5061

### **Введение**

По состоянию на 2020 год атомные и тепловые станции составляют 79,9 % от общей доли выработки электроэнергии в России [1]. Таким образом, повышение энергетической эффективности как ТЭС, так и АЭС – одна из приоритетных задач экономики страны.

Совместно с традиционными задачами модернизации АЭС, такими как – повышение эффективности оборудования, снижение расходов на собственные нужды, увеличение глубины выгорания топлива, повышение КИУМ и т.д. – рассматриваются также инновационные проекты, существенно повышающие экономическую, экологическую и энергетическую эффективность атомной энергетики. К таким проектам относятся реакторы на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем (БН-600, БН-800), а также сооружаемый в настоящее время в г. Северск реактор со свинцовым теплоносителем БРЕСТ-ОД-300.

### **Реактор БРЕСТ-ОД-300**

Быстрый реактор со свинцовым теплоносителем и пристанционным топливным циклом БРЕСТ-ОД-300 – концепция инновационного реактора естественной безопасности [2]. Итогом работы является концептуальный проект реакторной установки естественной безопасности.

Благодаря большому запасу до кипения теплоносителя при умеренной энергонапряжённости активной зоны предложена высокая температура острого пара, что позволяет вывести общий коэффициент полезного действия цикла в диапазон с 44 до 47 % [3] при 30-33% у АЭС с реакторами на тепловых нейтронах.

Однако использование в качестве теплоносителя первого контура жидкого свинца накладывает ряд эксплуатационных ограничений, одним из которых является минимальная температура подачи питательной воды в прямоточный парогенератор, которая должна быть не менее 335 °С во всех режимах работы блока [4].

### **Объект исследования**

В настоящее время существуют несколько способов повышения эффективности АЭС с применением как ядерного, так и неядерного перегрева. Известно использование ядерного перегрева пара на реакторах типа АМБ-100 и АМБ-200, но из-за необходимости применения высокотемпературной стали, снижающей эффективность использования уранового топлива, данный вид перегрева не получил дальнейшего развития.

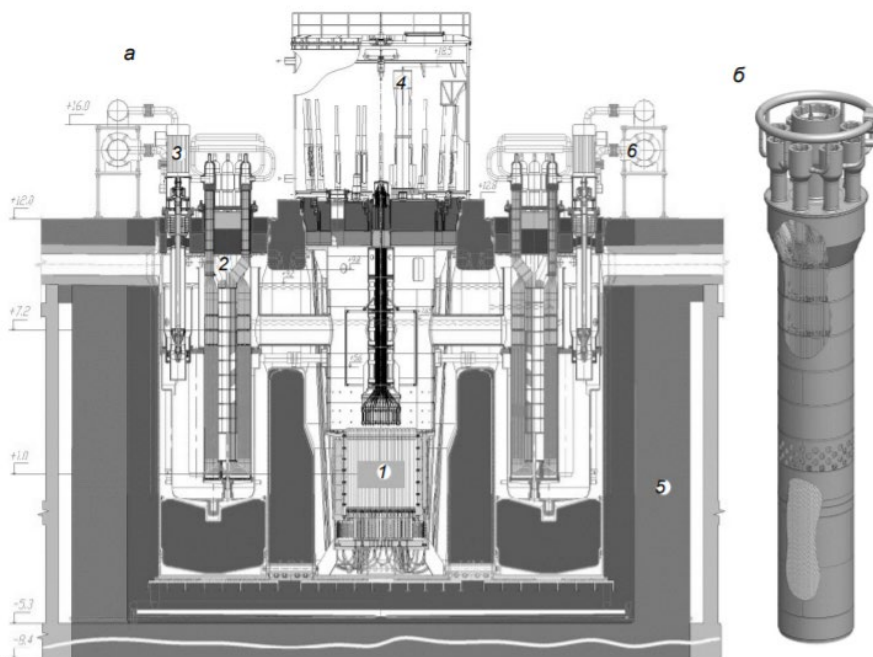


Рис. 1. Реактор БРЕСТ-ОД-300 (а): 1 – активная зона; 2 – парогенератор; 3 – насос; 4 – перегрузочная машина; 5 – шахта реактора; 6 – система расхолаживания. Парогенератор, используемый в реакторе БРЕСТ-ОД-300 (б) [5]

Однако с учётом современных тенденций использования водорода как энергоносителя в энергетике существует возможность значительного перегрева рабочего тела энергетических станций высокотемпературным паром, образующимся в результате его окисления кислородом, что приводит к повышению их мощности и КПД. В этой связи в настоящее время имеются некоторые разработки различных горелочных устройств с целью осуществления окисления водорода кислородом.

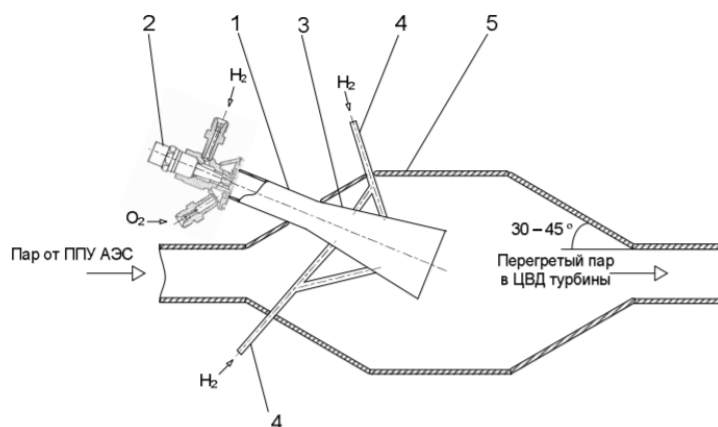


Рис. 2. Система сжигания водорода для перегрева свежего пара в цикле АЭС с паровым охлаждением камеры сгорания: 1 – водород-кислородная камера сгорания первоначального нестехиометрического окисления; 2 – запальное устройство; 3 – дожигающая водород-кислородная камера сгорания стехиометрического окисления; 4 – подводящие магистрали, осуществляющие подачу водорода в дожигающую водород-кислородную камеру сгорания 3; 5 – полость смешения высокотемпературного пара со свежим паром [6].

### Постановка задачи

Перед началом моделирования были заданы следующие начальные параметры: температура острого пара принималась равной  $500,6^{\circ}\text{C}$ , давление –  $15,7$  МПа, расход пара –  $365,4$  кг/с. Затем были построены несколько потенциально возможных вариантов тепловых схем для их дальнейшего расчёта по методике, указанной в [7]. Рассматривались следующие варианты:

- тепловая схема БРЕСТ-ОД-300 со стандартными параметрами;
- тепловая схема БРЕСТ-ОД-300 со стандартными параметрами и водородным подогревателем вместо смешивающего подогревателя питательной воды (СППВ);
- тепловая схема БРЕСТ-ОД-300 с водородным перегревателем свежего пара, который позволяет достичь начальную температуру пара  $800^{\circ}\text{C}$  при неизменном начальном давлении.

### Результаты

На рис. 3 представлены показатели коэффициента полезного действия АЭС нетто, полученные без учёта и с учётом использования водородной камеры сжигания в качестве подогревателя питательной воды и перегревателя свежего пара.

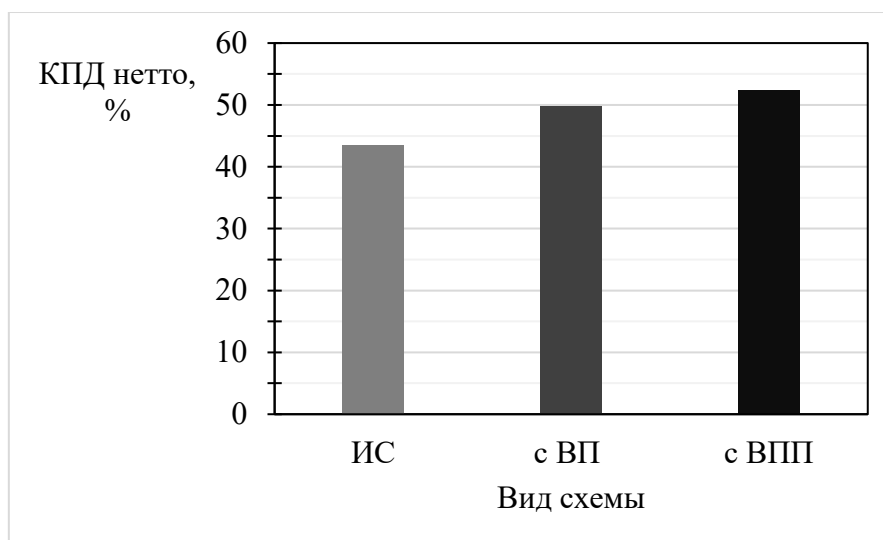


Рис. 3. Коэффициент полезного действия АЭС нетто: ИС – исходная схема; с ВП – схема с водородным подогревателем питательной воды; с ВПП – схема с водородным перегревателем свежего пара

### Заключение

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что применение камеры сгорания водорода в тепловой схеме АЭС с реакторной установкой БРЕСТ-ОД-300 повышает КПД нетто на  $6,4$  и  $2,5\%$ , что приводит к значительному повышению термодинамической эффективности цикла. Данные мероприятия целесообразны, так как позволяют повысить экологические, экономические и энергетические показатели эффективности АЭС в целом.

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Отчёт о функционировании ЕЭС России в 2020 г. / Акционерное общество «Системный оператор Единой энергетической системы». – 2020.
2. Атомная энергетика. Передовые технические решения в области ядерной энергетики и безопасности // 2021. URL: <https://www.ippe.ru/nuclear-power/fast-neutron-reactors/120-brest-300-nuclear-reactor>
3. Драгунов Ю.Г., Лемехов В.В., Смирнов В.С., Чернецов Н.Г. // Атомная энергия. – 2012. – Т. 113. – №1. – С.58-64.
4. Попов А.В., Федорович Е.Д., Кулаков Е.Н., Денисов И.Б. Влияние количества конденсатных насосов на надёжность работы питательных насосов в схеме энергоблока БРЕСТ-ОД-300 // Материаловедение. Энергетика. 2021. Т. 27, №1. С.31-40. DOI: 10.18721/JEST.27103
5. И.А. Ширманов, В.С. Костарев, Д.Н. Литвинов, С.Е. Щелкиен. О применении компрессии и неядерного перегрева пара на реакторах на быстрых нейтронах со свинцовым теплоносителем для повышения термодинамической эффективности цикла турбоустановки // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2021. - Т. 64, №2-2
6. Система сжигания водорода для пароводородного перегрева свежего пара в цикле атомной электрической станции // Патент РФ №2358191, МПК F22B 1/26, опубл. 10.06.2009 / Аминов Р.З., Байрамов А.Н.
7. Атомные электростанции: учебное пособие / А.М. Антонова, А.В. Воробьёв. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 230 с.

Научный руководитель: К.Б. Ларионов, к.т.н., доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ ТПУ.

## ПРОЕКТ АСММ НА БАЗЕ РУ РИТМ-200

А.Э. Букаринов

Томский политехнический университет  
ИШЭ, НОЦ им. И. Н. Бутакова, группа 5061

### Введение

Основные запасы полезных ископаемых Российской Федерации залегают в труднодоступных районах крайнего севера, энергоснабжение которых является автономным. Зачастую на таких территориях используются устаревшие котельные, дизельные и мазутные энергоустановки, эксплуатация которых требует доставки топлива и запасных частей. Еще одной проблемой районов крайнего севера является обильное количество отходов в виде тар для доставляемого топлива.

Строительство атомных станций малой мощности (АСММ) позволяет решить вопрос о постоянной необходимости доставки горючего топлива и связанных с этим трудностей.