

**ДОРАБОТКА ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЕРВОГО
ЭНЕРГОБЛОКА БЕЛОРУССКОЙ АЭС В ЧАСТИ
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПАРОПРОВОДОВ СВЕЖЕГО ПАРА**

Буров А. Л. – старший преподаватель кафедры
«Тепловые электрические станции»,
Герасимова А. Г. – к. т. н., доцент, заместитель декана,
Павловская А. А. – старший преподаватель кафедры
«Тепловые электрические станции»,
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация: эксплуатация АЭС предполагает выполнение периодических расчетов в рамках анализа безопасности, а именно: расчеты в рамках анализа нарушений и отклонений, периодическая переоценка безопасности одного энергоблока раз в 10 лет, анализ безопасности модификаций и другие расчеты по мере необходимости. Таким образом, выполнение расчетов в интересах регулирующего органа является наиболее важной частью национального процесса сопровождения эксплуатации Белорусской АЭС. Экономически более целесообразным, по сравнению с заказами расчетов за границей, является создание на национальном уровне такого состояния: расчетный инструментарий, необходимые компетенции, преемственность и передача знаний, которое позволит оперативно реагировать на любой запрос регулирующего органа в области ядерной и радиационной безопасности.

Ключевые слова: анализ безопасности, теплогидравлический расчет, ВВЭР-1200, паропровод свежего пара, нодализация, теплогидравлический код, ATHLET.

**REFINEMENT OF THE THERMAL-HYDRAULIC MODEL OF THE
FIRST POWER UNIT OF THE BELARUSIAN NPP IN THE PART OF
SIMULATION OF FRESH STEAM PIPELINES**

Abstract: NPP operation involves the performance of periodic calculations as part of the safety analysis, namely: calculations as part of the analysis of violations and deviations, periodic reassessment of the safety of one power unit once every 10 years, safety analysis of modifications and other calculations as necessary. Thus, performing calculations in the interests of the regulatory body is the most important part of the national process of supporting the operation of the Belarusian NPP. It is more economically expedient, in comparison with orders for settlements abroad, to create such a state at the national level: settlement tools, necessary competencies, continuity and transfer of knowledge, which will allow you to quickly respond to any request from the regulatory body in the field nuclear and radiation safety.

Keywords: safety analysis, thermal-hydraulic calculation, VVER-1200, live steam pipeline, nodalization, thermal hydraulic code, ATHLET.

Одну из ключевых задач при оценке безопасности АЭС и иных объектов использования атомной энергии составляет анализ безопасности реакторной установки. Частью этого анализа являются теплогидравлические расчеты при различных условиях эксплуатации. Достоверность таких расчетов обеспечивается применением апробированных программных средств, рекомендованных МАГАТЭ. Независимость такого анализа обеспечивается разработкой моделей собственными силами Государственного регулирующего органа, или с привлечением такой организации, как Государственное научное техническое учреждение «Центр по ядерной и радиационной безопасности» с привлечением им в качестве соисполнителей организаций технической поддержки. В частности, для работы над моделью реакторной установки ВВЭР-1200 первого энергоблока Белорусской АЭС были привлечены специалисты Белорусского национального технического университета. Одним из инструментов анализа безопасности АЭС является детерминистический анализ безопасности, и основным инструментом для этого являются теплогидравлические модели как отдельных систем энергоблока, так и комплексное моделирование систем нормальной эксплуатации, систем безопасности и систем, важных для безопасности. Они позволяют комплексно анализировать максимально широко все аспекты протекания переходных процессов в реакторной установке, совмещая нейтронную кинетику, теплогидравлику и работу систем управления и безопасности. Основой для выполнения настоящей работы является модель созданная ГНУ «ОИЭЯИ – Сосны» «Провести с помощью программного средства ATHLET теплогидравлический анализ процессов, протекающих в условиях аварии с большой и малой течью теплоносителя из первого контура внутри реакторной установки ВВЭР-1200» [1]. В этой работе была создана упрощенная модель реакторной установки ВВЭР-1200. Разработанная модель применима для анализа только двух аварий с большой и малой течью, что явно недостаточно для полноценного детерминистического анализа безопасности Белорусской АЭС. В ходе исследования был сделан вывод о необходимости оптимизации модели, созданной ГНУ «ОИЭЯИ – Сосны». В качестве расчетного кода для дальнейшей разработки модели было выбрано специализированное программное средство ATHLET версии 3.2 [2; 3], лицензия на использование которого имеется у регулирующего органа, у Центра по ядерной и радиационной безопасности, а также у БНТУ. На первом этапе работы была произведена доработка нодализационной схемы главного паропровода свежего пара.

Проведенный анализ показывает, что паропроводы исходной модели не учитывают разделенные функции стопорных и регулирующих клапанов. Таким образом для целей данного исследовательского проекта модели паропроводов стоит дополнить отдельно стопорными и отдельно регули-

рующими клапанами турбины (как в реальном энергоблоке). Необходимо также доработать объем после регулирующих (стопорных) клапанов до цилиндра высокого давления. Для текущей задачи моделирования паропроводов следует ограничить их от точки вреза в парогенератор (время зависимым объемом) и при определенном положении регулирующих клапанов турбины на паропроводе следует получить проектный перепад давления (при заданном расходе). Это основной критерий проверки работоспособности модели паропровода. При этом граничные условия турбины будет оставаться постоянным. Термогидравлическое представление построенной модели представлено на рис. 1. Все модели паропроводов выполнены с соблюдением их геометрических размеров в соответствии с реальной трассировкой трубопроводов на первом энергоблоке Белорусской АЭС [4].

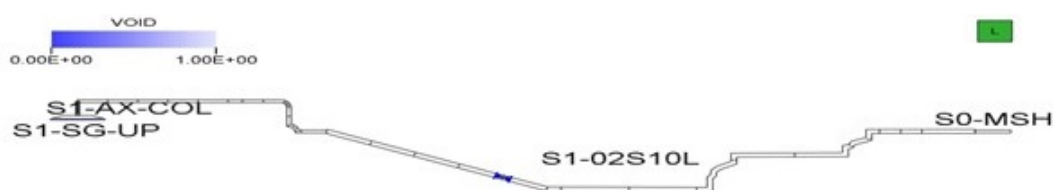


Рисунок 1 – Термогидравлическое представление первой ветки паропровода в коде ATHLET с помощью визуализатора ATLAS

Аналогично строятся модели остальных веток паропроводов.

Таким образом, наиболее оптимальным с точки зрения разработки теплогидравлической модели является подход, когда число расчетных узлов выбирается минимально возможным, однако обеспечивающим математическую реализацию и расчет основных особенностей протекания физических процессов, необходимых для корректного моделирования системы главных паропроводов первого энергоблока Белорусской АЭС.

Список литературы

1. Отчет о научно-исследовательской работе «Провести с помощью программного средства ATHLET теплогидравлический анализ процессов, протекающих в условиях аварии с большой и малой течью теплоносителя из первого контура внутри реакторной установки ВВЭР-1200 (заключительный). Научное учреждение «ОИЭЯИ-СОСНЫ». – 2020. – 254 с.
2. GRS – P – 1 / Vol. 4. ATHLET Mod 2.1 Cycle A. Models and methods. – H. Austregesilo, C. Bals, A. Hora, G. Lerchl, P. Romstedt. – Gesellschaft fur anlagen- und reactor-sicherheit mbH, 2006. – P. 145–160.
3. GRS – P – 1 / Vol. 3. Rev. 1. ATHLET Mod 2.1 Cycle A. Validation. – G. Lerchl, H. Austregesilo, H. Glaeser, M. Hrubisko, W. Luther. – Gesellschaft fur anlagen- und reactor-sicherheit mbH, 2006. – P. 45–144.
4. Белорусская АЭС. Блок 1. ПрООБ. Глава 5. Первый контур и связанные с ним системы. Книга 1. АО ИК «АСЭ». – 2017. – 392 с.