Анализ результатов применения динамического метода для расчетного обоснования безопасности испытаний маневренных режимов на РУ ВВЭР

М.А. Увакин, И.В. Махин А.Л. Николаев Е.В. Сотсков









Актуальность задачи:

Современные требования к РУ ВВЭР предусматривают участие энергоблоков в режимах с постоянным изменением внешней нагрузки:

- регулирование частоты тока энергосети (режимы проверены на испытаниях, разработана методика, выполняются анализы безопасности);
- суточное маневрирование (испытания проведены частично, методик проведения анализов безопасности нет).





Основные проблемы:

- 1. Испытания суточного маневрирования мощностью ядерно-опасные работы, сопровождаемые изменением мощности, работой регуляторов и продолжительными пространственными колебаниями поля энерговыделения
- 2. Высокие требования к графику нагрузки энергоблока: скорость не менее 1% N_{ном} на повышение, выход в установившийся режим маневрирования, расширенный диапазон давления в ГПК.



Были поставлены следующие задачи:

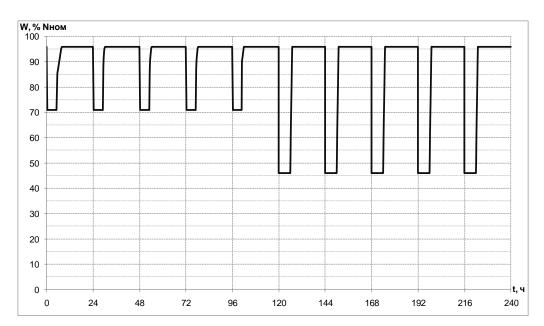
- 1. Подтверждение соблюдения пределов нормальной эксплуатации энергоблока при проведении испытаний, особенно в части локальных параметров энерговыделения;
- 2. Разработка методики расчетного обоснования безопасности испытаний, выбор исходных событий и исходных состояний РУ;
- **3 Проведение** обоснования безопасности, анализ результатов.





Выполнение задачи 1 (проверка соблюдения пределов нормальной эксплуатации) представлено в работе:

- Николаев А.Л., Увакин М.А. «Проведение предтестовых расчетов по ПК КОРСАР/ГП для испытаний режимов работы действующего энергоблока РУ ВВЭР в суточном графике несения маневренной нагрузки» // В сб. трудов 11-й Международной научно-технической конференции «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР», г. Подольск, 2019.



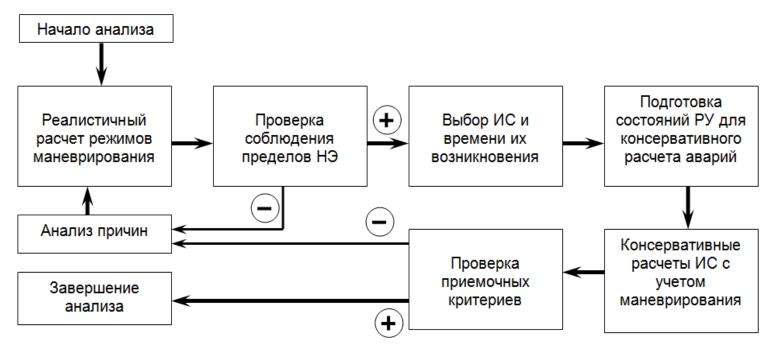
Две серии испытаний по 10 циклов в начале и конце топливной кампании РУ ВВЭР большой мощности





Выполнение задачи 2 (разработка методики и выбор состояний) представлено в работе:

- Увакин М.А., Махин И.В., Николаев А.Л., Сотсков Е.В. «Разработка методики расчетного обоснования безопасности испытаний для действующего энергоблока РУ ВВЭР в маневренных режимах» // В сб. трудов 11-й Международной научно-технической конференции «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР», г. Подольск, 2019.





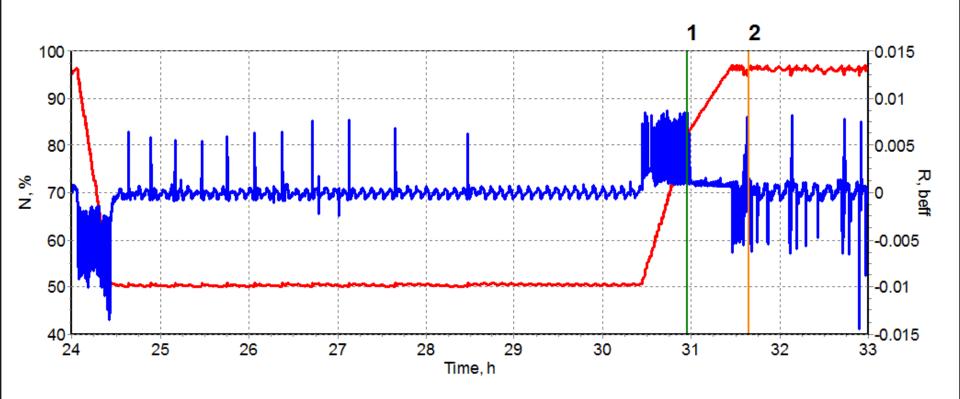
Выполнение задачи 3 (проведение расчетов и анализ результатов) представлено в настоящей работе.

Основные режимы:

- выброс ОР СУЗ;
- нерегулируемое перемещение группы ОР СУЗ;
- непреднамеренное разбавление теплоносителя;
- падение одного ОР СУЗ.



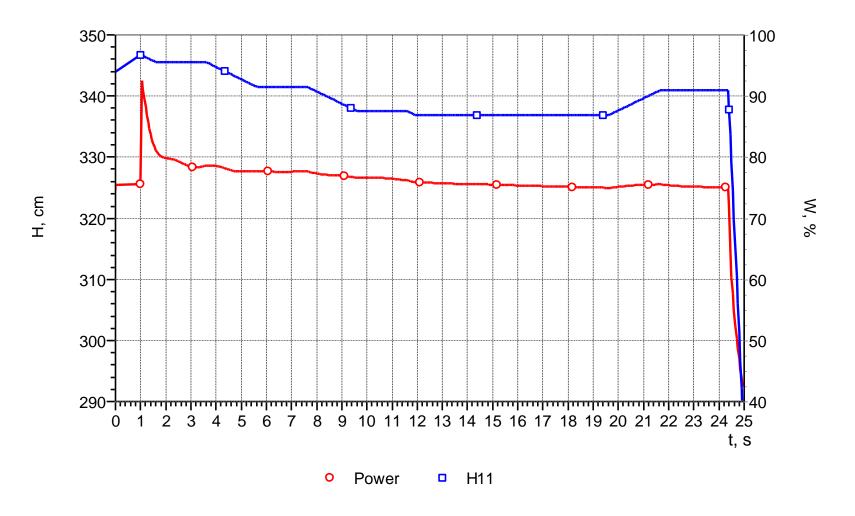




Выбор исходных состояний для аварии «выброс ОР СУЗ», анализируются нейтронная мощность и реактивность



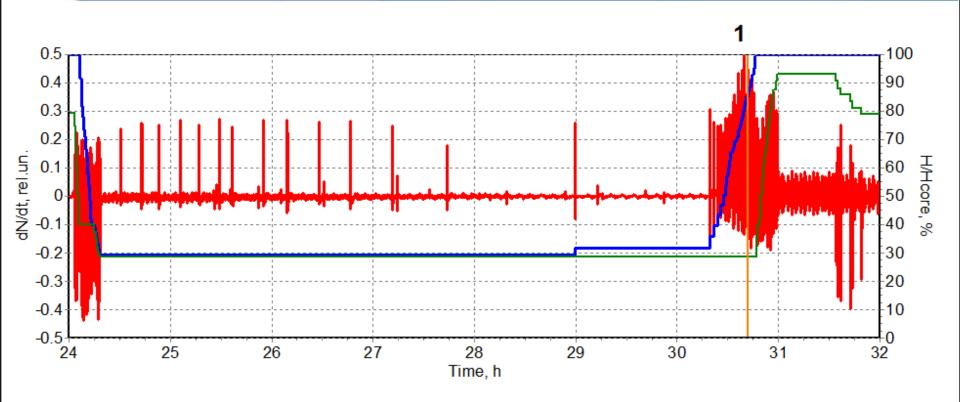




Положение регулирующей группы ОР СУЗ и нейтронная мощность реактора



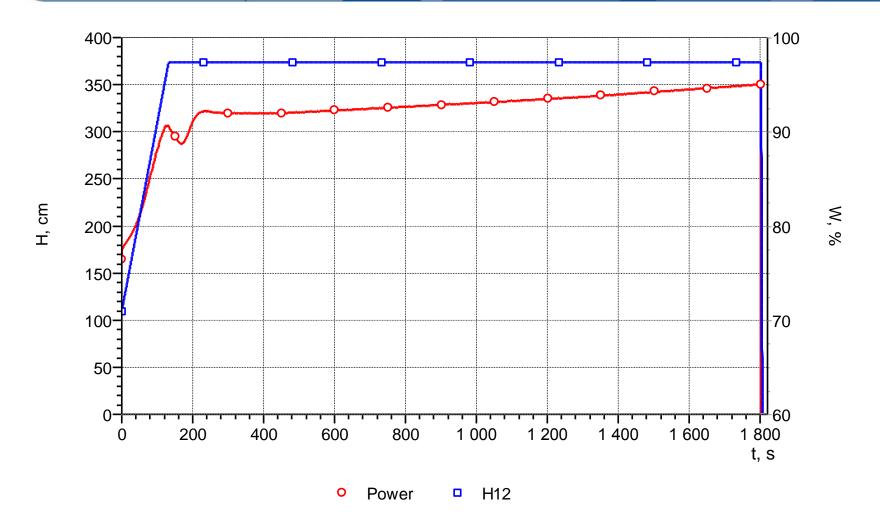




Выбор исходных состояний для аварии «непреднамеренное перемещение группы ОР СУЗ», анализируются мгновенная производная нейтронной мощности и положение групп ОР СУЗ



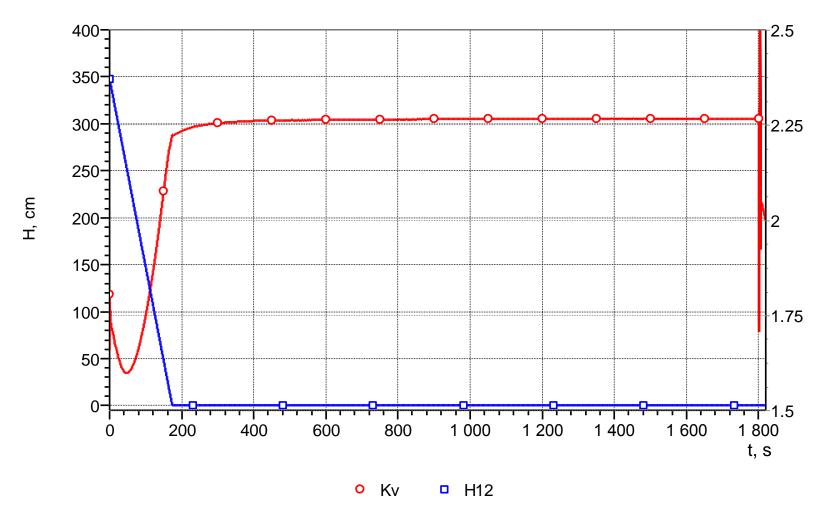




Положение извлекаемой группы ОР СУЗ и нейтронная мощность реактора



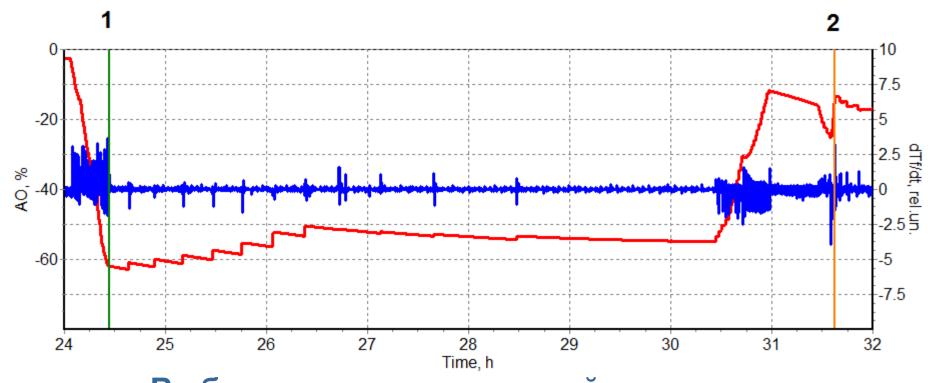




Положение погружаемой группы ОР СУЗ и коэффициент объемной неравномерности энерговыделения



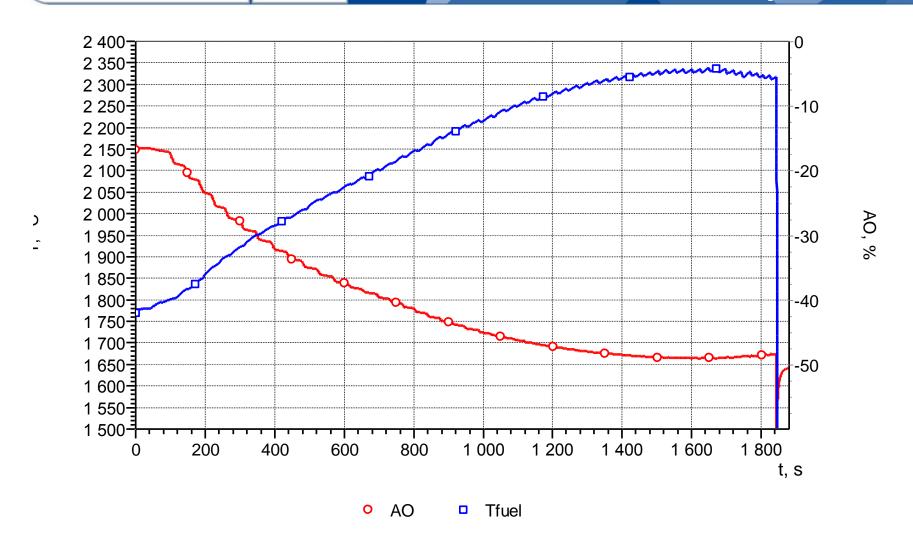




Выбор исходных состояний для аварии «непреднамеренное разбавление теплоносителя», анализируются аксиальный офсет и мгновенная производная максимальной температуры топлива



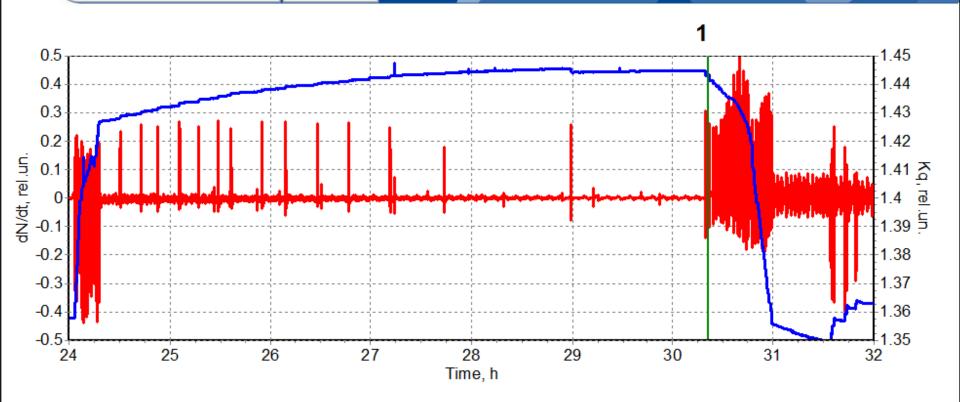




Аксиальный офсет и максимальная температура топлива



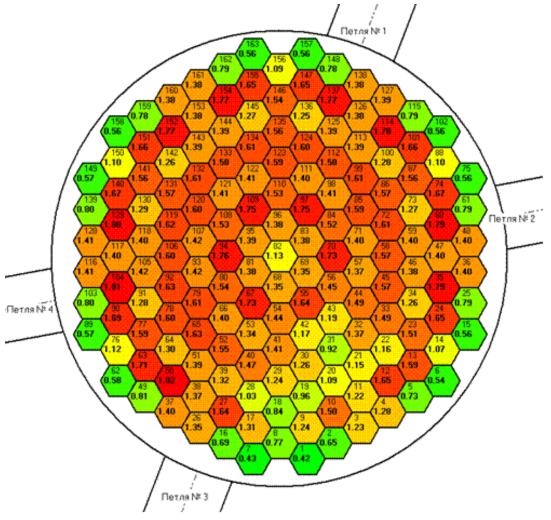




Выбор исходных состояний для аварии «падение одного ОР СУЗ», анализируются мгновенная производная нейтронной мощности и коэффициент неравномерности энерговыделения по ТВС



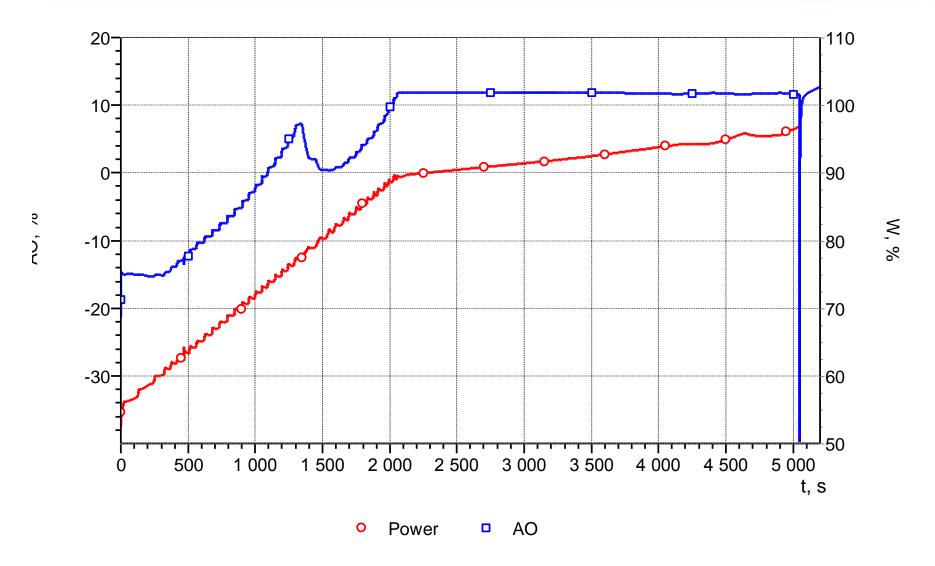




Распределение энерговыделения в момент срабатывания АЗ (нижняя часть активной зоны)







Нейтронная мощность реактора и аксиальный офсет





- 1. Результаты расчетов подтвердили сохранение проектных запасов безопасности по основным параметрам РУ. В ходе выполнения работы был получен ряд практически значимых рекомендаций для оператора при проведении маневрирования.
- 2. Полностью сохранены принципы консервативного подхода, применяемого в АБ РУ ВВЭР, выполняемых с использованием трехмерной модели нейтронной кинетики.
- 3. Учтены важные для безопасности особенности физики и динамики реактора при реализации режима маневрирования мощностью.
- 4. Подтверждено отсутствие неуправляемого роста энерговыделения в активной зоне за счет ОР СУЗ и эффектов реактивности для всех рассмотренных состояний РУ в авариях
- 5. Методика и результаты были приняты эксплуатирующей организацией и надзорными органами, а также представлены на международном уровне среди потенциальных потребителей технологии ВВЭР. Предполагается дальнейшее развитие созданного численного метода при обосновании безопасности РУ ВВЭР с учетом маневренных режимов.





Литература:

- 1. Николаев А.Л., Увакин М.А. «Проведение предтестовых расчетов по ПК КОРСАР/ГП для испытаний режимов работы действующего энергоблока РУ ВВЭР в суточном графике несения маневренной нагрузки» // В сб. трудов 11-й Международной научно-технической конференции «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР», г. Подольск, 2019.
- 2. Увакин М.А., Махин И.В., Николаев А.Л., Сотсков Е.В. «Разработка методики расчетного обоснования безопасности испытаний для действующего энергоблока РУ ВВЭР в маневренных режимах» // В сб. трудов 11-й Международной научно-технической конференции «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР», г. Подольск, 2019.
- 3. И.Г. Петкевич, М.А. Увакин «Применение программы LINQUAD для анализа неопределенностей расчетов режима с разрывом паропровода на установке АЭС-2006 по коду КОРСАР/ГП». ВАНТ, серия Физика ядерных реакторов, вып.2, 2013 г.
- 4. M.A. Uvakin, I.V. Makhin, A.L. Nikolaev, E.V. Sotskov Safety assessment calculation procedure for operating VVER unit in maneuvering regimes experiment // 29th Symposium of AER, Energoland, Mochovce NPP, Slovakia, 2019.
- 5. М.А. Увакин, И.В. Махин, Е.В. Сотсков «Математическая модель для расчетного обоснования безопасности реакторных установок ВВЭР в режимах с регулированием частоты энергосети», Научно-технический сборник Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок, №4 (14), 2018, НИТИ им. А.П.Александрова.