

УДК 539.4

ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРОЧНОСТИ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ ОБОРУДОВАНИЯ РУ

Лонин К.А., Панов В.А., Патрушев В.Л., Савчук Д.В., Соловьев С.А.

АО «ОКБМ Африкантов», г. Нижний Новгород, Россия, varanov@okbm.nnov.ru

Ключевые слова: вибропрочность, реакторная установка, сейсмостойкость, компьютерное моделирование, цифровая модель.

Механические динамические процессы в конструкциях реакторной установки (РУ): элементах реактора, электронасосов, приводов системы управления и защиты (СУЗ) и др. при их эксплуатации связаны с вибрациями, возникающими как в результате работы основного оборудования, так и обусловленных частотами вращения близко расположенного механического оборудования.

При аварийных ситуациях рассматриваются внешние динамические воздействия природного и техногенного характера.

Обоснование динамической прочности оборудования РУ проводится в обеспечение требований норм расчета на прочность ПНАЭ Г-7-002-86 и норм проектирование сейсмостойких атомных станций НП-031. Расчетный анализ напряженно-деформированного состояния (НДС) проводится с использованием верифицированных программных средств (ПС). Требования по верификации и аттестации ПС обусловлены действующими в РФ федеральными нормами и правилами в области использования атомной энергии.

Целью проведенных работ явилось расчетно-экспериментальное обоснование вибропрочности и ударостойкости (сейсмостойкости) элементов приводов СУЗ, обоснование вибропрочности гидрокамеры (ГК) главного циркуляционного электронасоса (ЦНПК) РУ универсального атомного ледокола (УАЛ).

При анализе динамической прочности решаются следующие задачи:

- разработка концептуального подхода к компьютерному моделированию РУ (например, моделирование в «большом», моделирование в «малом»);
- разработка компьютерных расчетных моделей оборудования и модели РУ, отражающей реальную компоновку. Идентификация параметров расчетной модели по результатам экспериментов;
- выполнение расчетного моделирования в обоснование динамической прочности оборудования с учетом эксплуатационных воздействий;
- анализ напряженно-деформированного состояния и оценка вибропрочности, сейсмостойкости и ударостойкости согласно требованиям норм расчета на прочность.

Несмотря на кажущуюся простоту решения с использованием современных численных методов и использования супер-ЭВМ математические модели объективно не могут точно отразить все условия реализации динамических процессов сложного уникального объекта РУ. Степень совпадения расчетных и экспериментальных результатов зависит от точности измерительной аппаратуры применяемой в эксперименте, характеристик шумов в объекте исследования, а также от того, насколько точно выполняются допущения, на основе которых разработана расчетная модель и насколько точно соответствуют реальным значениям

параметры и исходные условия, задаваемые в расчетной модели. Чтобы исключить хотя бы часть возможных причин различий результатов верификационных расчетов и экспериментов, необходимо предварительно провести технически возможные специальные эксперименты по идентификации параметров расчетной модели.

Такие эксперименты по подтверждению вибрационных характеристик проведены на этапе изготовления и монтажа рассматриваемого оборудования РУ: приводов СУЗ; корпуса парогенерирующего блока (ПГБ); ЦНПК, а определение уровня вибрационного состояния – на этапе швартовых и ходовых испытаний УАЛ.

С применением современных САД и САЕ программ на базе конструкторских моделей разработаны расчетные компьютерные модели приводов СУЗ. Для верификации методики разработки расчетных моделей использованы данные испытаний прототипов приводов СУЗ, проведенные на стендах АО «ОКБМ Африкантов». С использованием разработанных моделей проведен численный эксперимент, по результатам которого обоснована сейсмостойкость приводов СУЗ и определена возможность исключения изготовления опытных образцов приводов СУЗ для испытаний на сейсмическое воздействие.

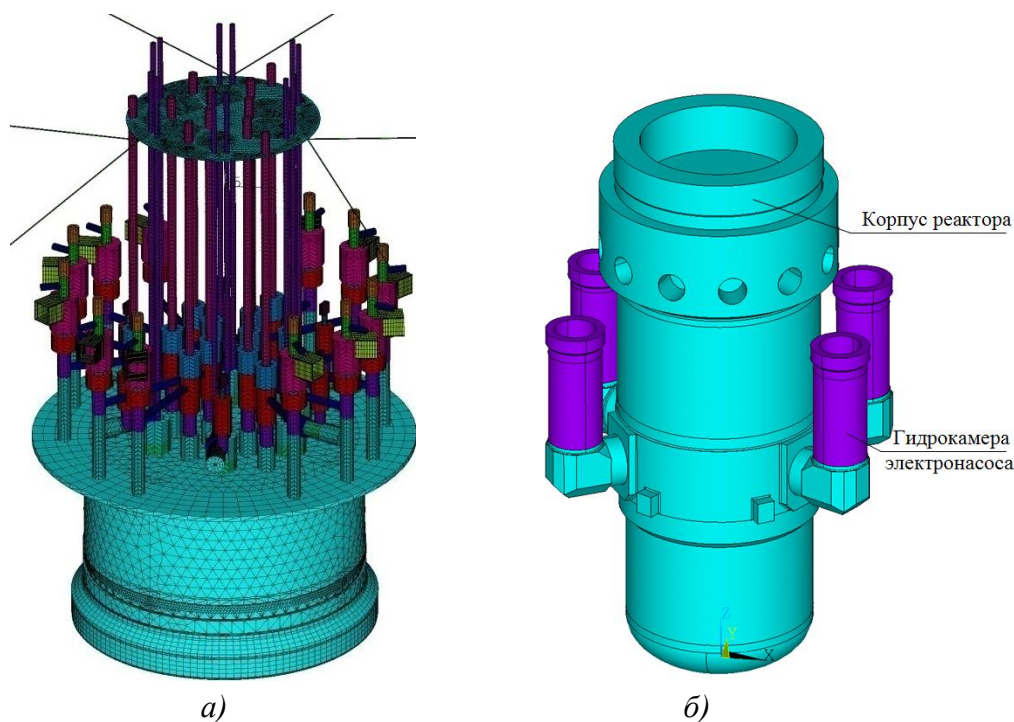


Рис. 1. Расчетные модели приводов:
а – СУЗ; б – ПГБ

Для проведения расчетного исследования вибрационных характеристик ПГБ и ГК с ЦНПК разработана расчетная конечно-элементная модель ПГБ, учитывающая его массовые и инерционные характеристики. Для уточнения вибрационных характеристик на этапе монтажа ПГБ были проведены эксперименты по исследованию его вибрационного состояния с использованием имитатора вибрационного воздействия. По результатам измерений определены собственные частоты колебаний ПГБ и ГК, которые были использованы при верификации расчетной модели ПГБ. На этапе швартовых испытаний проведенные замеры на ЦНПК показали на отсутствие резонансов, не превышение установленных пределов по вибрации и подтвердили результаты численных экспериментов, проведенных в обоснование вибропрочности ПГБ.

Результаты расчетно-экспериментальных работ показали, что использование отработанных методик и верифицированных расчетных моделей оборудования позволяет:

- выявлять на этапе проектирования конструктивные узлы и элементы, определяющие вибрационное состояние и динамическую защищенность оборудования РУ и разрабатывать конструктивные решения и мероприятия по обеспечению их вибропрочности и ударостойкости (сейсмостойкости);
- по результатам численного компьютерного моделирования исключать часть экспериментальных исследований обосновывающих несущую способность оборудования РУ;
- снижать время на проектирование оборудования.

SPECIAL FEATURES OF NUCLEAR PLANT EQUIPMENT STRENGTH ASSESSMENT UNDER DYNAMIC LOADS

Lonin K.A, Panov V.A., Patrushev V.L., Savchuk D.V., Soloviev S.A.
JSC «OKBM Afrikantov», Nizhny Novgorod, Russia, vapanov@okbm.nnov.ru

Key words: computational analysis, digital computational model, nuclear reactor facility, seismic resistance, vibration analysis.

This paper presents marine reactor equipment (for example: pumps, control driven rod mechanisms) vibration analysis and dynamic protection assessment tasks and solutions. The topicality of this work is determined by operation experience in nuclear power industry facilities.

Digital computation models development and computational analysis provides us to exclude experimental validation of control driven rod mechanisms seismic resistance. For dynamic protection and life time validation a digital computational model was developed. This model includes main circulation pump and reactor power unit framework. A digital model vibration analysis was performed by computational and experimental approach.