



Акционерное общество
«Всероссийский научно-исследовательский
и проектно-конструкторский институт
атомного энергетического машиностроения»
(АО «ВНИИАМ»)

125171, Москва, ул. Космонавта Волкова, 6А
Телефон: 8 (495) 748-86-54
Факс: 8 (495) 748-79-68
E-mail: mail@vniam.ru
ИНН 7743654609 КПП 774301001

Исх. № 29/436 от 10.04.2017
На № _____ от _____

По списку рассылки

О проведении отраслевого семинара по вопросам прочности и сейсмической безопасности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок

Уважаемые господа!

Специализированные научные семинары по вопросам прочности и сейсмической безопасности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок проводятся в АО «ВНИИАМ» в соответствии с «Планом проведения научных и научно-технических мероприятий Госкорпорации «Росатом» на 2017 год.

Темы семинаров:

- практика обоснования прочности оборудования, трубопроводов, элементов АЭС при различных режимах работы и динамических воздействиях;
- численные методы и программное обеспечение расчетов параметров напряженно-деформированного состояния;
- вопросы аттестации вычислительных программ по прочности;
- нормативно-методическая база, автоматизация расчетов по оценке статической, циклической прочности, сопротивления хрупкому разрушению;
- квалификация оборудования по критерию сейсмостойкости.

Семинары проводятся с приглашением специалистов по проблемам прочности (разработчиков вычислительных программ, расчетчиков, разработчиков нормативных документов, испытателей) предприятий Росатома и смежных организаций.

Очередной семинар состоится 27 апреля 2017 года в малом конференц-зале ГНЦ РФ АО «НПО «ЦНИИТМАШ» (115088, Москва, ул. Шарикоподшипниковская, дом 4). Начало работы семинара - 10⁰⁰.

Программой семинара предусмотрено обсуждение докладов:

1. Куркин А.С. Расчет напряженно-деформированного состояния и оценка прочности сварных соединений трубопроводов. МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва.
2. Лякишева М. Д. Особенности расчета на циклическую и длительную циклическую прочность. АО ОКБ "ГИДРОПРЕСС", г. Подольск.
3. Федоров М.Ю. «Ударное воздействие на элементы конструкции энергетических установок». АО «Красная Звезда», г. Москва.

4. Сахаров А.М. Разработка расчетной модели для обоснования сейсмостойкости активной зоны реактора ВВЭР-1200. АО ОКБ "ГИДРОПРЕСС", г. Подольск.

5. Белостоцкий А.М., Потапенко А.Л., Аул А.А., Островский К.И. Нормативная база, методы, алгоритмы и программы прочностных расчетов трубопроводных систем различных отраслей: достижения и проблемы (на примере программного комплекса АСТРА-НОВА). ЗАО СТАДИО.

6. Чернявский О.Ф., Чернявский А.О. Расчет конструкций в условиях неупругого знакопеременного деформирования и накопления деформаций. ЮУрГУ, г. Челябинск.

Проход на семинар осуществляется по списку при наличии паспорта.

Заявку на участие в семинаре необходимо выслать руководителю семинара, д.т.н. Синицыну Е.Н. по электронному адресу sinitsyn@vniiam.ru.

Направляю Вам информационное сообщение об итогах работы семинара от 10 ноября 2016 г.

Приложение: Информационное сообщение об отраслевом научном семинаре «Прочность и сейсмическая безопасность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок» от 10 ноября 2016 г. на 4 листах.

Генеральный директор

Орлов В.В.

Информационное сообщение

Специализированный научный семинар по вопросам прочности и сейсмической безопасности проведен АО «ВНИИАМ» в соответствии с «Планом проведения научных и научно-технических мероприятий Госкорпорации «Росатом» на 2016 год».

В работе специализированного научного семинара, состоявшегося 10 ноября 2016 г. на площадке АО «НПО «ЦНИИТМАШ»» (г. Москва), приняли участие 55 специалистов из 17 организаций ГК «Росатом», Ростехнадзора, машиностроительной промышленности и ВУЗов Российской Федерации.

На семинаре были заслушаны следующие доклады:

1. Бесчеров Д.Е., Марков А.С., Панов В.А. Расчет циклической прочности конструктивных элементов оборудования РУ с щелевыми концентраторами. АО ОКБМ, г. Н/Новгород. Докладчик - инженер-конструктор 2 категории, аспирант Бесчеров Д.Е.

2. Ереев М.Н., Козин А.В., Овчинников В.Ф., Панов В.А., Скородумова Н.С. Методика обоснования вибропрочности плохообтекаемых конструкций при высоких скоростях потока. АО ОКБМ, г. Н/Новгород. Докладчик - ведущий инженер-конструктор, к.т.н. Ереев М.Н.

3. Панов В.А., Патрушев В.Л., Соловьев С.А., Савчук Д.В., Потамов Д.О. Расчетно-экспериментальное обоснование прочности машин и механизмов при внешних воздействиях. АО ОКБМ, г. Н/Новгород. Докладчик - инженер-конструктор 2 категории, аспирант Савчук Д.В.

4. Европин С.В. Испытания оборудования и трубопроводов пробным давлением. АО «НИКИЭТ», г. Москва. Докладчик - научный руководитель направления целостности конструкций АО «НИКИЭТ», к.т.н. Европин С.В.

5. Балусов Б.А., Деминтиевский В.Н., Синицын Е.Н. Комплексный инженерный анализ системы газовых хлопа. АО «ВНИИАМ», г. Москва. Докладчики - главный специалист к.т.н. Балусов Б.А., начальник лаборатории прочности д.т.н. Синицын Е.Н.

6. Горюнов О.В., Словцов С.В. Обоснование вибропрочности трубопроводов на основе экспериментального исследования. ОАО «НПО ЦКТИ», г. Санкт-Петербург. Докладчик – инженер 2 кат., аспирант Горюнов О.В.

В работе семинара участвовали специалисты по расчетам на прочность, расчетно-экспериментальным методам обоснования прочности оборудования, разработчики программного обеспечения.

После рассмотрения докладов состоялось обсуждение проблем за круглым столом с принятием решения.

Доклады были интересными и полезными, дали представление о проблемах, связанных с расчетами оборудования, путях увеличения автоматизации прочностного расчета, уменьшения сроков выполнения расчетов, повышения достоверности результатов расчета.

В докладе Д.Е. Бесчера представлена инженерная методика расчета циклической прочности конструктивных элементов оборудования РУ с щелевыми концентраторами. При расчетах на прочность теплообменного оборудования РУ одним из наиболее проблемных вопросов является определение напряжений в сварных соединениях с неполным проплавлением. Это обусловлено наличием конструктивного щелевого геометрического концентратора напряжений.

При создании конечно-элементной модели в зонах конструктивных неоднородностей и резкого изменения геометрии (отверстия, галтели, выточки, фаски, вершины щелевых концентраторов), для обеспечения необходимой точности вычисления НДС, требуется проводить сгущение сетки конечных элементов. В то же время, вершина

щелевого концентратора – наиболее напряженная зона конструкции, определяющая ее циклическую прочность – в МКЭ является зоной сингулярности. Сингулярность проявляется в том, что при измельчении в данной зоне сетки конечных элементов, напряжения значительно увеличиваются (при уменьшении размера конечных элементов не происходит стабилизации уровня напряжений). Рекомендации по размеру и форме сетки конечных элементов в зоне сингулярности, а также по определению напряжений в данной зоне, отсутствуют. Наиболее распространенным в инженерных расчетах циклической прочности сварных соединений с неполным проплавлением (с щелевыми концентраторами) является метод с использованием эффективного коэффициента концентрации напряжений. Данный метод позволяет исключить неопределенности, вызванные конечно-элементным разбиением в зоне вершины щелевого концентратора. В докладе представлены методические рекомендации по проведению расчета на циклическую прочность сварного соединения с щелевым концентратором с использованием эффективного коэффициента концентрации Kef.

В докладе Ереева М.Н. указывается, что конструктивные элементы оборудования объектов атомной энергетики в процессе эксплуатации подвергаются интенсивному воздействию потока теплоносителя. Обтекание конструктивных элементов сложной формы при высоких скоростях потока жидкости приводит к возникновению интенсивных вибрационных нагрузок. В этой связи весьма актуальной является проблема обоснования вибропрочности и работоспособности таких элементов. Обоснование работоспособности и ресурса таких конструкций требует решения сложной связанной задачи гидродинамики и механики. В результате проведенного гидродинамического расчета определяются нестационарные гидродинамические силы и моменты, возникающие при обтекании тел. Гидродинамический расчет выполняется с использованием программы трехмерного теплогидравлического расчета. Для решения задачи механики, включающей в себя исследование напряженно-деформированного состояния и поврежденности конструкции в условиях вибрации определена и обоснована методика. Расчет НДС базируется на решении системы дифференциальных уравнений малых деформаций. Анализ НДС осуществляется с использованием разработанного в АО «ОКБМ Африкантов» и аттестованного программного комплекса RANT-1, предназначенного для проведения прочностных расчетов стержневых систем. Решение задачи динамики стержневой системы представляется в виде суммы квазистатической и динамической составляющих, последняя из которых ищется в виде разложения по формам собственных колебаний. Определение поврежденности конструкции в результате циклического нагружения проводится с использованием методики расчета усталостного накопления повреждений в материале на основе уравнений Кофина-Мэнсона. В связи со сложностью задачи было проведено сравнение расчетных исследований с экспериментальными данными. Хорошее согласование результатов подтвердило обоснованность использования стержневой модели. Предложенная методика позволяет адекватно осуществлять расчет напряженно-деформированного состояния конструкций, обтекаемых при высоких скоростях потока жидкости.

В докладе Савчук Д.В. дана методика расчетно-экспериментального обоснования прочности машин и механизмов при внешних воздействиях. Указано, что обоснование прочности оборудования РУ от внешних воздействий является отдельным классом задач, в которых проводится многокритериальная оценка прочности, безопасности и работоспособности. В докладе представлены решения и подходы по обоснованию прочности приводов СУЗ и турбомашин с электромагнитным подвесом ротора при внешних динамических воздействиях. Для приводов СУЗ, одних из наиболее чувствительных к динамическим воздействиям, приведены основные результаты расчетно-экспериментального моделирования. По результатам исследований динамики вращения ротора на электромагнитном подвесе сформулирован подход по расчетному обоснованию прочности турбомашин с электромагнитным подвесом.

В сообщения научного руководителя по направлению обеспечения целостности конструкций АО «НИКИЭТ» С.В. Европина указано, что технологическая цепочка обеспечения качества изготовления, монтажа, эксплуатации, контроля состояния металла и управления ресурсными характеристиками приближаются к западным подходам, однако в России сохраняется идеология гидравлических испытаний «времен Котлонадзора». Вместе с тем, в процессе эксплуатации сплошность основного металла оборудования и трубопроводов не контролируется, поэтому сохраняется мнение, что испытания давлением на прочность надо сохранить в прежнем виде. В сообщении представлены отечественные и зарубежные подходы к проведению испытаний избыточным давлением и даны предложения по их сближению. Гармонизация в методологии назначения параметров испытаний оборудования и трубопроводов ядерных установок пробным давлением имеет актуальное значение не только для сооружаемых энергоблоков за рубежом по российским проектам, но и быстрых реакторов с натриевым и свинцовым теплоносителем, рабочая температура которых находится в области ползучести конструкционных материалов.

В докладах Балусова Б.А., Синицына Е.Н. представлена технология комплексного инженерного расчета конструкции системы газохода. Дан расчет во времени газодинамических параметров дымовых газов в тракте и окружающего воздуха, температур теплоизоляции, металла, строительной конструкции. Отработана методика передачи температурных полей из газодинамического кода в программу расчета параметров деформирования конструкций. По результатам расчета полей температур проведен расчет напряженно-деформированного состояния конструкции. В работе представлены рекомендации по компоновке теплозащиты, геометрии, обеспечивающие снижение температурных напряжений в зонах перехода от высокотемпературных частей конструкции к низкотемпературным областям. Рассмотрены меры, обеспечивающие прочность конструкции в режимах пуска, нормальной эксплуатации, а также с учетом внешних динамических воздействий. Использовался конечно-элементный подход. Расчеты выполнены на импортном программном обеспечении.

В докладе Горюнова О.В. представлена методика обоснование вибропрочности трубопроводов на основе экспериментальных исследований, выполненных специалистами ОАО "НПО ЦКТИ". Вопросы вибропрочности напрямую связаны со сверхмногоцикловой усталостью, имеющей ряд особенностей, что вынуждает использовать консервативные подходы в оценке циклической прочности. Значения эквивалентной амплитуды приведенных напряжений при многоосном напряженно-деформируемом состоянии имеют сложную зависимость от средних квадратических значений компонент тензора напряжений и не определяются только величинами СКЗ приведенных напряжений. Значения эквивалентной амплитуды напряжений, СКЗ компонент тензора напряжений и конкретный вид плотности распределения амплитуд напряжений могут быть найдены расчетным путем или экспериментально. Предложен теоретически обоснованный критерий вибропрочности для эквивалентной амплитуды напряжений. Значение допускаемой амплитуды определяется на основе кривой усталости [ПНАЭ Г-7-002-86] и амплитудно-частотных характеристик приведенных напряжений. По АЧХ определяется максимальная частота колебательного процесса, которая может быть использована для расчета коэффициента снижения долговечности при наложении высокочастотных циклов.

Рекомендовано:

1. Инициировать процедуру изменения требований федеральных норм и правил в части исключения понятия испытания избыточным давлением на прочность, сохранив целевую функцию испытаний пробным давлением на плотность. В этом случае значение давления испытаний может быть принято на уровне $1,25 P_{раб}$ не зависимо от температуры нормальной эксплуатации систем, оборудования и трубопроводов. На стадии

изготовления давление испытаний может быть установлено на уровне 1,35 Рраб, исходя из ограничения значений допускаемых напряжений при испытаниях пробным давлением.

2. Обратить внимание на необходимость разработки и внедрения в организации отрасли отечественных кодов по гидрогазодинамике, прочности оборудования и трубопроводов и их апробированию в организациях отрасли (АО «ВНИИАМ», АО ОКБМ и др.).

3. Рассмотреть целесообразность совершенствования методик и разработки программ расчета циклической прочности.

В ходе обсуждения участники отметили содержательный характер докладов, актуальность, практическую направленность тематики проведенного семинара.

Рекомендовано продолжить работу семинара в 2017г.

Обсуждена тематика следующих заседаний семинара. На очередных заседаниях семинара предложено рассмотреть следующие проблемы:

- Деформирование конструкций за пределами упругости с учетом циклического нагружения и накопления односторонней деформации.

- «Категоризация» напряжений при применении численных методов расчета на основе оболочечных и объемных элементов.

- Расчетно-экспериментальное обоснование прочности конструкций с жидкостью при воздействии динамических нагрузок от землетрясения, падения самолета, воздушной ударной волны;

- Разработка отечественных программных средств по прочности;

- Расчет оборудования и трубопроводов высокотемпературных конструкций с учетом релаксации напряжений.

- Использование различных критериев прочности при расчете оборудования и трубопроводов при температурных воздействиях.

- Расчет напряженно-деформированного состояния и оценки статической, циклической прочности сварных соединений оборудования и трубопроводов под давлением, а также металлоконструкций.

Руководитель семинара

 Синицын Е.Н.