

ОТЗЫВ

официального оппонента Гладкого Ивана Леонидовича на диссертацию **Билана Андрея Витальевича «Статическая и динамическая прочность трубной системы горизонтальных сетевых подогревателей теплофикационных турбин»**, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.04.12 - Турбомашины и комбинированные турбоустановки

Актуальность темы исследования

Горизонтальные сетевые подогреватели входят в состав теплофикационных турбин и играют ключевую роль в процессе выработки тепловой энергии на ТЭЦ.

Трубная система ПСГ включает большое количество труб, через стенки которых и происходит теплообмен между сетевой водой и греющим паром турбины. За счет грамотной компоновки трубного пучка достигается по возможности меньший недогрев. Трубы, работающие в тяжелых условиях под действием агрессивной среды и нескомпенсированных термических напряжений являются самой повреждаемой частью ПСГ. Заглушение вышедших из строя труб приводит к ухудшению экономичности ТЭЦ, а их полная замена приводит к значительному повышению затрат.

Ресурс трубной системы определяется механизмом коррозии под напряжением, скорость которой нелинейно зависит от напряжений в трубах. Вследствие сложности и статической неопределимости трубной системы, как для точного определения напряженно-деформированного состояния (с целью оптимизации конструкции – снижения статических напряжений, а значит и увеличения ресурса), так и для точного определения собственных частот и форм колебаний (с целью отстройки от возможных резонансов для повышения надежности) необходима разработка и применение уточненных методов анализа НДС с применением численных методов. Поэтому, такие направления исследований как разработка новых методов анализа и

применение этих методов для оптимизации конструктивных решений трубных систем ПСГ безусловно являются важными и актуальными.

Научная новизна заключается в следующем:

- Разработана новая методика расчета на прочность ПСГ как взаимосвязанной системы упругих элементов, дающая более точные результаты по сравнению с изолированным расчетом на прочность каждого элемента.

- Определено распределение напряжений в трубках в зависимости от их расположения в пучке; полученные напряжения учтены при определении собственных частот колебания труб; определен спектр собственных частот колебания труб.

- Предложена бескомпенсаторная конструкция ПСГ-2200.

Структуры и содержание работы.

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, библиографического списка из 104 наименований. Весь материал изложен на 135 страницах машинописного текста, содержит 46 рисунков, 18 таблиц, 1 приложение.

Введение включает актуальность темы, степень ее разработанности, формулировку целей и задач исследования. Раскрыты научная новизна, а также теоретическая и практическая значимость работы. Даны положения, выносимые на защиту, реализация результатов.

Первая глава начинается с анализа литературы, относящейся к теме исследования. Выделены основные причины повреждений трубной системы ПСГ, работающих на разных ТЭЦ, а, следовательно, в разных условиях. Характерной причиной повреждений труб является коррозия под напряжением.

Проанализированы существующие методики расчета на прочность. Из-за сложности конструкции ПСГ расчет в них сводится к определению напряженно-деформированного состояния отдельных элементов ПСГ,

напряжения в трубках при этом усредняются, что в свою очередь ведет к погрешностям расчета собственных частот колебаний и вибронапряжений.

Отмечено, что наиболее точные результаты можно получить при расчете ПСГ методом конечных элементов, например, используя пакет ANSYS с созданием модели в 3D постановке. Показано, что такой расчет требует много затрат на построение модели, задание граничных условий. Машинное время вычислений может превышать 30 часов.

Вторая глава описывает новую уточненную методику расчета на прочность ПСГ методом конечных элементов. Эта методика включает определенные допущения и упрощения (не учитывается смещение трубного пучка относительно центра корпуса ПСГ, температура труб принимается постоянной), но она дает достаточно точные результаты, не требует использования большого числа данных, а время ее выполнения минимально (порядка 10 сек.). Таким образом, разработанная методика может использоваться для многовариантных расчетов при выборе конструкции элементов ПСГ.

Приведены результаты расчетов НДС ПСГ-2200 спроектированного без компенсатора, а также результаты статического тензометрирования его элементов при гидроиспытаниях, расхождение между расчетом и экспериментом не превышает 8%.

Третья глава содержит описание разработанной методики расчета собственных частот колебаний трубной системы с использованием МКЭ, которая учитывает напряженное состояние труб. В этой главе показано, что осевые напряжения в трубках могут сильно изменять значения собственных частот свободных колебаний труб.

Проведен расчет собственных частот колебаний труб ПСГ-4900 с учетом предварительного напряженного состояния. Получен спектр собственных частот колебаний.

В главе 4 изложен процесс создания 3D модели ПСГ для расчетов в ANSYS, который автоматизирован. Автоматизация экономит время при

построении модели и снижает вероятность ошибок, обусловленных «человеческим фактором».

Рассчитаны и проанализированы варианты, при которых следует применять бескомпенсаторную конструкцию ПСГ. Для случаев, когда компенсация температурных напряжений необходима - предложены новые конструкции компенсаторов.

Представлены результаты расчета ПСГ-4900 в пакете ANSYS, где температура труб по пучкам задавалась различной. Приведены рекомендации не располагать трубки четвертого хода рядом с трубками первого хода в компоновках трубных пучков из-за разности их температур.

Рассмотрена возможность в качестве анкерных связей использовать перегородки водяных камер. Это приведет к ужесточению водяной камеры и снижению напряжений в ее элементах. Также уменьшатся растягивающие напряжения в периферийных трубках. Появится возможность утонить трубную доску, заменить эллиптическое днище на плоское.

Основные результаты работы в полном объеме присутствуют в публикациях автора по теме диссертации.

Автореферат достаточно полно отражает содержание и выводы диссертации.

Достоверность основных результатов обеспечивается решением множества тестовых задач, а также проверкой результатов расчета НДС по выбранной методике и расчетной схеме путем сравнения с результатами статического тензометрирования натурной конструкции.

Практическая и теоретическая значимость результатов.

Разработанные методики используются в АО «УТЗ».

Запатентованные решения могут быть внедрены в новых конструкциях ПСГ.

Автоматизация построения 3D модели ПСГ сокращает время и ресурсы на проведение расчетов, а также снижает вероятность ошибки при построении моделей.

Реализация результатов.

Расчеты по представленным методикам проводились для ряда ПСГ АО «УТЗ»:

- ПСГ-2200-3-16 на повышенное давление по воде 1,6 МПа без компенсатора для турбины Тп-100/110-90.
- ПСГ-1250-3-18 на повышенное давление по воде 1,8 МПа без компенсатора для турбины Т-95/105-8,8.
- Модернизированного ПСГ-4900-3-11,4.

Рекомендации по использованию результатов диссертации.

Методики, представленные в работе, могут быть использованы конструкторами и расчетчиками турбинных заводов при проработке конструкций ПСГ, а также организациями, занимающимися проектированием и производством теплообменных аппаратов.

По данной работе можно сделать некоторые замечания и предложения

1. Из материала диссертации не понятно, как вычислялась длина крайних пролетов для расчетов труб на собственные частоты в условиях того, что вальцовка осуществляется не на всю толщину трубной доски.
2. В расчетах труб на собственные частоты колебаний не учитывается что перегородки имеют определенную толщину.
3. Немного не к месту в разделе по обоснованию актуальности работы приведен пример с недостатками методики расчета ресурса авиационных подшипников, учитывающей совершенно другие механизмы накопления повреждений и не имеющей никаких видимых связей с ограниченностью упрощенных методик расчета НДС и ресурса ПСГ.
4. В описании работы не уделено внимание той проблеме, что при разработке новых методов расчета НДС, вероятно, необходимо пересматривать и устоявшуюся систему запасов прочности, что может быть целью дальнейших исследований.

Заключение

Диссертация Билана Андрея Витальевича на тему «Статическая и динамическая прочность трубной системы горизонтальных сетевых подогревателей теплофикационных турбин», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.04.12 - «Турбомашины и комбинированные турбоустановки», является завершённой научно-исследовательской работой, имеющей актуальность, научную новизну и практическую значимость. Содержание диссертации полностью соответствует специальности 05.04.12 - «Турбомашины и комбинированные турбоустановки» и отвечает требованиям п. 9 Положения «О порядке присуждения ученых степеней» (утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842) ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Автор диссертационной работы, Билан Андрей Витальевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.04.12 - «Турбомашины и комбинированные турбоустановки».

Официальный оппонент
начальник отдела прочности
силовых схем и перспективных
методов анализа, к.т.н.

Гладкий Иван Леонидович

И
23.05.2018

АО «ОДК-Авиадвигатель»
614 990, г. Пермь, Комсомольский проспект 93
Телефон 8 (342) 240 92 67
Email office@avid.ru

Подпись Гладкого Ивана Леонидовича заверяю

*начальник отдела кадров
АО «ОДК-Авиадвигатель»*



И
Машина Е.Б.