

СОГЛАСОВАНО:

Генеральный конструктор

ПАО «Силовые машины»

к.т.н.

УТВЕРЖДАЮ:

Генеральный директор

ПАО «Силовые машины»

д.ф.-м.н., член-корреспондент РАН

111  
\_\_\_\_\_ А.А. Ивановский

«25» мая 2018 г.



\_\_\_\_\_ Ю.К. Петреня

2018 г.

### ОТЗЫВ

#### ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

публичного акционерного общества «Силовые машины-ЗТЛ, ЛМЗ, Электросила, Энергомашэкспорт» (ПАО «Силовые машины») на диссертационную работу 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 работы**

Решение задач по созданию нового и совершенствованию существующего оборудования паротурбинных установок требует совершенствования методов расчета, в том числе применения методов численного моделирования.

Рецензируемая работа охватывает аспекты, связанные с исследованием прочности и вибрационной надежности сетевых подогревателей теплофикационных турбин. Особое внимание в работе уделяется исследованию прочности трубной системы, как наиболее подверженному повреждениям элементу горизонтальных сетевых подогревателей (ПСГ).

В связи с этим методика расчета трубных систем сетевых подогревателей, и полученные с помощью ее применения результаты, опирающиеся на широкий круг экспериментальных данных, представляют практический интерес.

#### **Содержание работы**

Во введении автором рассмотрена актуальность работы, научная новизна, цели и задачи исследования, практическая значимость работы.

В **первой главе** рассматривается состояние вопроса и определяются задачи исследования. Автор подробно анализирует существующие подходы к расчету конструкций трубных систем сетевых подогревателей на прочность.

Показано, что существующая практика расчетов трубных систем не позволяет рассчитать усилия сжатия-растяжения, действующие на трубки с учетом их расположения в трубном пучке.

На основании проведенного анализа показана целесообразность выполнения расчетов ПСГ в трехмерной постановке.

Во **второй главе** представлены результаты разработки методики прочностного расчета сетевого подогревателя с применением метода МКЭ.

Проведены уточняющие расчеты в комплексе ANSYS с использованием трехмерной модели, выполнено тестирование программы и проведены экспериментальные измерения напряжений. Получено соответствие расчетных и экспериментальных данных по максимальным напряжениям (отклонение не превышает 10%).

В **третьей главе** представлены результаты разработки методики определения собственных частот колебаний трубок с учетом продольных сил растяжения-сжатия.

Показано существенное влияние сил растяжения-сжатия на значения собственных частот колебаний теплообменных труб, получен практически непрерывный спектр собственных частот.

В **четвертой главе** описан алгоритм автоматизированного проектирования горизонтального сетевого подогревателя и дальнейшая передача трехмерной модели в ANSYS для выполнения прочностных расчетов. Приведены результаты поверочного расчета ПСГ, даны рекомендации по модернизации сетевого подогревателя.

Выводы, сделанные в **заключении** этой работы, выглядят убедительно и имеют практическую ценность.

**Научная новизна** диссертационной работы состоит в том, что

1. Разработана уточненная методика расчета на прочность ПСГ как взаимосвязанной системы основных элементов с применением МКЭ, что позволяет получить более точный результат напряженно-деформированного состояния подогревателя.
2. Разработана методика расчета собственных частот трубного пучка ПСГ с учетом напряжений растяжения-сжатия в трубках.

3. Автоматизированным способом создана трехмерная модель ПСГ для передачи в программный комплекс ANSYS с целью выполнения прочностных расчетов.
4. Приведены диапазоны температуры пара и давлений сетевой воды для определения возможности применения бескомпенсаторной конструкции ПСГ.

**Практическая ценность работы** заключается в следующем:

- Предложена и апробирована методика определения напряженно-деформированного состояния ПСГ теплофикационной турбины с учетом взаимного влияния основных конструктивных элементов подогревателя.
- Комплекс программ и полученные результаты исследований используются на заводе-изготовителе сетевых подогревателей (в АО «УТЗ»).
- Повышение точности расчетов при проектировании горизонтальных сетевых подогревателей позволяют повысить надежность и эффективность их работы.

**Реализация результатов работы**

Полученные в диссертационной работе результаты и рекомендации могут быть использованы при проектировании горизонтальных сетевых подогревателей паровых турбин.

**Достоверность и обоснованность полученных автором результатов**

Использование автором апробированных методов расчета на прочность, проведение тестовых расчетов по известным решениям задач прочности дает основание считать достоверной предложенную методику.

**Личный вклад автора** состоит: в постановке задач исследования, в разработке расчетных моделей и проведении расчетов теплообменного оборудования, обработке и анализе полученных результатов.

**Апробация работы и публикации**

Результаты диссертации изложены в 14 печатных работах, в том числе 3 работы опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК, получены два патента на изобретение, три патента на полезную модель. Основные результаты представлены докладами на международных и российских конференциях.

**Содержание автореферата** соответствует содержанию диссертации. В работе получены результаты, обладающие научной новизной.

**Замечания по содержанию диссертации**

В качестве замечаний к рассматриваемой работе можно отметить следующее:

1. На странице 4 указано, что существующие методики расчета не учитывают напряжения растяжения-сжатия трубок в зависимости от их расположения в трубном пучке. Следует отметить, что существуют методики, например EN 13445 (EN 13445-3:2009, п. 13.6.6), в которых рассчитываются осевые напряжения в трубах для наружных и внутренних рядов. В методиках РТМ 108.302.03-86 и в Стандарте для теплообменников электростанций (Heat Exchange Institute, 4<sup>th</sup> edition) в формулах для расчета первой собственной частоты трубы теплообмена учитывается осевое усилие. Кроме того является неверным утверждение на странице 32 о том, что на заводах для определения собственных частот трубок не учитывается продольная сила.
2. В диссертации при рассмотрении ПСГ не приведены схемы, эскизы, поясняющие устройство подогревателей, что затрудняет анализ результатов, приведенных в диссертационной работе.
3. Приведенная в п. 2.1 методика расчета в осесимметричной постановке не позволяет учитывать расположение перегородок в водяной камере, которые оказывают укрепляющее воздействие на трубную доску. Таким образом, осесимметричная постановка справедлива только для ПСГ, имеющих один ход по сетевой воде.
4. В связи с тем, что автором используется ANSYS, неясно какими в этом случае преимуществами обладает разработанная программа на базе пакета MATLAB (стр. 62-63) по сравнению с расчетами, которые могут быть выполнены в ANSYS с помощью специально созданного макроса.
5. Не указано, по какой методике определяется интегральный коэффициент теплопередачи ПСГ в зависимости от компоновки трубного пучка (стр. 80).
6. Необходимо пояснить влияние параметра  $\Delta T_r$  на температуру корпуса  $T_k$ , приведенные на странице 86, формула 4.1 требует дополнительного пояснения.
7. По п. 4.3 считаем, что уменьшая расстояние между перегородками в трубном пучке ПСГ, всегда можно отстроить трубную систему от резонанса на оборотной частоте.

Сделанные замечания не снижают теоретической и практической значимости рассматриваемой диссертации, которая представляет собой законченную научно-исследовательскую работу.

### **Заключение**

В диссертационной работе Билана А.В. содержатся новые научно-обоснованные технические решения и разработки для создания теплообменного оборудования для энергетической отрасли России.

В целом диссертация Билана А.В. является законченной научно-исследовательской работой, выполненной автором самостоятельно на высоком научно-



техническом уровне. Представленные результаты достоверны, сделанные выводы и заключение обоснованы. Диссертация написана грамотно, доступным языком.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Учитывая изложенное, можно считать, что диссертационная работа Билана Андрея Витальевича «Статическая и динамическая прочность трубной системы горизонтальных сетевых подогревателей теплофикационных турбин» удовлетворяет требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Билан Андрей Витальевич заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.04.12 – Турбомашины и комбинированные турбоустановки.

Отзыв ведущей организации был заслушан, обсуждён и утверждён на расширенном заседании конструкторского отдела теплообменного оборудования публичного акционерного общества «Силовые машины-ЗТЛ, ЛМЗ, Электросила, Энергомашэкспорт» с привлечением специалистов отдела расчетов паровых турбин (протокол № 5 от 11.05.2018 г.).

Отзыв составили:

Заместитель главного конструктора  
по научно-техническому развитию, к.т.н.,  
руководитель конструкторского отдела



V.V. Назаров

Начальник сектора расчетов  
теплообменного оборудования, к.т.н.



M.V. Миронова

Владимир Владимирович Назаров, тел. +7(812) 3267255, nazarov\_vv@power-m.ru

Миронова Марина Викторовна, тел. +7(812) 3267407, mironova\_mv@power-m.ru

**Сведения о ведущей организации:**

Полное и сокращенное наименование организации:

Публичное акционерное общество «Силовые машины – ЗТЛ, ЛМЗ, Электросила, Энергомашэкспорт» (ПАО «Силовые машины»).

195009, г. Санкт-Петербург, ул. Ватутина, д. 3., лит. А, тел. +7(812)3467037, тел. +7(812)3467035, e-mail: [mail@power-m.ru](mailto:mail@power-m.ru), [www.power-m.ru](http://www.power-m.ru)

*Подпись Назарова В.В.  
заверено  
Вероятно: специалист  
Ленина Е.В.*

