

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный конструктор  
АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС»

В.А.Пиминов

2017



### ОТЗЫВ

Ведущей организации – АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС» на диссертационную работу Кондратенко Леонида Анатольевича «Расчетно-экспериментальные методы исследования технологических напряжений и деформаций в неразъемных, трубных соединениях энергоустановок», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 01.02.06 – «Динамика, прочность машин приборов и аппаратуры»

Диссертация Кондратенко Леонида Анатольевича «Расчетно-экспериментальные методы исследования технологических напряжений и деформаций в неразъемных трубных соединениях энергоустановок» посвящена решению крупной научно-технической проблемы, имеющей важное хозяйственное значение для атомного энергомашиностроения, заключающейся в разработке и внедрении расчетно-экспериментальных методов определения технологических напряжений и деформаций и применении на практике разработанной методологии исследований нестационарных профилирующих процессов при изготовлении неразъемных трубных соединений. Решение данной проблемы позволяет производить перспективное теплообменное оборудование повышенной надежности для АЭС, обеспечить требуемые показатели прочности, герметичности, коррозионной стойкости, снизить импортозависимость оборудования и инструментов при изготовлении.

Актуальность работы. Нарушения целостности коллекторов первого контура парогенераторов АЭС с ВВЭР-1000 в 80-ых годах прошлого века, приведшие к значительным экономическим потерям, а также многочисленные случаи разгерметизации в теплообменных трубах в области крепления к трубной доске парогенераторов PWR, снижающие также ресурс, являются примером важности вопросов разработки технологий крепления теплообменных труб в трубных решетках, в том числе на основе механики деформируемого твердого тела. Исследование факторов и процессов изготовления и эксплуатации, влияющих на герметичность соединения труб и трубных решеток является важным вкладом в понимании причин, которые могут привести к разрушению коллекторов, с одной стороны, и обеспечивают повышение качества и, следовательно, ресурса неразъемного соединения с другой. В этой связи тема диссертации представляется весьма актуальной, так как посвящена комплексному исследованию неразъемных соединений теплообменных труб с трубными решетками и коллекторами, с рассмотрением различных способов вальцевания.

Диссертация оформлена в виде двух томов, основное содержание которой приводится в первом томе на 275 страницах, включающих введение, семь глав и список литературы. Второй том объемом 106 страниц состоит из приложений: технология экспериментов и экспериментальное оборудование, тексты вычислительных программ для ПЭВМ, ориентировочные расчеты трудоемкости операций, акты внедрения полученных результатов. В оба тома включены 16 таблиц и 105 рисунков.

Основное содержание работы. Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы, осуществляется постановка целей, формулируются положения, выносимые на защиту, их научная новизна и достоверность, определяется практическая значимость, приводятся сведения о внедрении результатов, очерчивается личный вклад автора в достижения и результаты. Даются сведения об апробации работы и публикациях.

конструкции деталей и соединении трубо с трубоными решетками/коллекторами. Анализ литературных источников представлен изложением истории развития роликовой и иных способов вальцовки в нашей стране, данных, лежащих в их основе, обзором методов и результатов исследований напряженно-деформированного состояния узла соединения трубы с трубной решеткой, а также критериев оценки качества соединений. На этой основе выбираются главные направления исследований.

Вторая глава содержит анализ механических свойств и остаточных напряжений теплообменных труб в состоянии поставки. Следует особо отметить оригинальную постановку и решение задачи об изгибе профиля трубы при воздействии на ее внутреннюю поверхность роликов и задачи о взаимодействии наружной поверхности трубки со стенкой отверстия трубной решетки. Полученные результаты важны для понимания процесса роликового вальцевания и, соответственно, для оптимизации инструмента и режима.

В третьей главе приводятся различные схемы роликовой вальцовки, области их применения и имеющиеся недостатки. Сформулированы и обсуждаются три критерия вальцевания, соблюдение которых позволяет получить качественное соединение. Предложен метод оценки работоспособности рабочих органов вальцовочного инструмента, который продемонстрирован расчетом, результаты которого подтверждены экспериментом.

Четвертая глава посвящена анализу напряжений в трубной решетке. С использованием балочной модели деформирования перемычки между отверстиями определяются напряжения в ней. Арочная модель используется для анализа напряжений в «охватывающей трубу втулке», часто используемой в экспериментах в качестве однотрубных образцов. Утверждается, что в настоящее время затруднительно аналитически оценить

величину окончательного контактного напряжения в узле крепления трубы в отверстии. Показано, что роlikовое вальцевание обеспечивает более качественное изготовление теплообменников по сравнению с гидрораздачей труб, поскольку в первом случае напряжения в деталях ниже.

В пятой главе дается обзор экспериментальных исследований различных особенностей технологии роlikового вальцевания, выполненных с участием автора диссертации. Они обосновывают выбор механических свойств материалов труб и трубных решеток. Выявлена избыточность требований ОСТ 26-02-1015-82 к соотношению пределов текучести материалов трубы и трубной решетки при роlikовом вальцевании. Изучено изменение свойств теплообменных труб в процессе роlikового вальцевания.

Выявлены колебательные явления, влияющие на стойкость деталей вальцовочного инструмента и качество узла крепления труб, требующие специальных исследований, которые представлены в следующих разделах диссертации и относятся к трубам наружным диаметром 16 мм из сталей различных структурных классов.

Шестая глава посвящена изложению основ динамики системы привод-рабочие органы роlikовой вальцовки, необходимость изучения которой обусловлена переменностью момента сопротивления. Выведены управления движения, учитывающие влияние различных элементов системы, построены переходные и частотные характеристики, определяющие условия работы и ресурс инструмента, а также качество и прочность узлов крепления труб.

В седьмой главе излагается методология, разработанная на основе изложенных в предыдущих главах результатах исследований и позволяющая при разработке новых конструкций и технологий изготовления выполнять комплексные исследования. Сформулированные рекомендации гарантируют качественное и технологичное изготовление узлов крепления теплообменных труб.

Предложен способ крепления труб с коллектором парогенератора для АЭС, защищенный патентом и включающий ряд последовательных этапов.

Дается описание достоинств и недостатков различных способов вальцевания, используемого оборудования и инструмента, определяющих качество, ресурс, безопасность, производительность работ, импортнезависимость.

Во втором томе приведены приложения, содержащие описание отечественного и зарубежного оборудования и инструментов, методы, технологии и оборудование для экспериментов, разработанные автором программ вычислений, акты внедрения полученных результатов.

Научная новизна результатов работы. Следует признать справедливым перечень достижений и научной новизны полученных результатов работы, представленный в диссертации. Особо следует отметить следующее:

- дано теоретическое обоснование закономерностей деформирования теплообменных труб в операциях закрепления, определены условия перехода их в пластическое состояние и получены новые математические модели напряженно-деформированного состояния неразъемного соединения «труба-трубная доска» с учетом особенностей сложного силового взаимодействия профилигибочных процессов;

- разработана механика роликовой вальцовки, получены уравнения кинематики, силовых взаимодействий и динамики работы, выявлено геометрическое проскальзывание роликов относительно трубы, ведущее к относительно высокочастотным колебаниям момента сопротивления;

- разработан новый аналитический метод определения остаточных напряжений, дана количественная оценка напряженного состояния в окрестных узлах крепления теплообменных труб при роликовом вальцевании и гидравлической раздаче;

- впервые проведены экспериментальные исследования динамики роликового вальцевания и установлены закономерности для силовых факторов в работе вальцовок при закреплении труб в отверстиях, получены

экспериментальные зависимости окружных остаточных напряжений в трубах до и после вальцевания с использованием оригинальных методик и стендов;

- получены патенты и внедрены в производство новые способы закрепления теплообменных труб, устройство для настройки вальцовочных машин, разработаны и запатентованы новые стенды для исследований, вальцовочные машины, позволяющие реализовывать перспективные конструкции узлов крепления (с биметаллическими, толстостенными и другими трубами), повысить стабильность требуемого качества изготовления, ресурс, надежность и безопасность АЭУ, обеспечить импортонезависимость, а также улучшить условия труда.

Новизна технических решений подтверждается восьмью патентами.

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием основных законов механики сплошной среды, теории колебаний, корректностью экспериментальных методов определения остаточных напряжений, апробированных методов и программных пакетов математического моделирования. Совпадение теоретических и экспериментальных результатов с приемлемым расхождением дает гарантию обоснованности и достоверности результатов диссертационной работы.

Практическая значимость результатов определяется тем, что они внедрены на ПАО «ЗИО-Подольск», Волгодонском филиале «АЭМ-технологии «Атоммаш» при изготовлении оборудования АЭС, в числе которых: парогенераторы, подогреватели, теплообменники, конденсаторы, бойлеры, изделия нефтегазохимии и т.д., что подтверждено актами внедрения. Результаты представленной работы также могут быть использованы в судостроительной и других отраслях.

#### Замечания:

1. В диссертационной работе рассматриваются роликовое вальцевание и гидравлическая раздача труб. В тоже время для атомной промышленности изготавливают аппараты, где при закреплении труб применяются

взрывчатые вещества. Диссертант данный способ не анализировал. Хотя известно, что в ряде конструкций, например при использовании толстостенных труб гидравлической раздачей невозможно обеспечить требуемое качество соединения.

2. В работе не используются современные расчетные коды, основанные на методе конечных элементов, позволяющие моделировать взаимодействие трубы с вальцовочными роликами и трубной решеткой в трехмерной постановке с учетом упруго-пластического деформирования. При этом утверждается (стр.164), что предложенный упрощенный метод дает приемлемую сходимость с результатами расчетов с использованием МКЭ.

3. Вызывает сомнение физичность результатов для близких к поверхности слоев трубы (таблица 5.4). В связи с этим полезно было бы определить пределы применимости формулы (2-40).

4. Автор не рассматривает вопросы, связанные с приваркой труб к трубной решетке, и напряженно-деформированное состояние в сварном шве, хотя именно сварной шов определяет герметичность и надежность всего узла.

5. В третьей главе на рис. 3.6, приведены графики, характеризующие изменения напряжений в процессе роликового вальцевания. Описание некоторых из них отсутствует.

6. Имеется незначительное число опечаток (см., например, стр.27, 55, 75, 183, 266).

Приведенные замечания не оказывают влияния на результаты работы и на общее положительное впечатление от нее. Материалы диссертации изложены четко и ясно. По каждой главе и работе в целом сделаны конкретные выводы и рекомендации. Вынесенные на защиту положения обоснованы в тексте диссертации. Результаты работы прошли достаточную апробацию на российских и международных конференциях, семинарах и других форумах. По теме диссертации опубликовано 64 работы, 25 из которых в изданиях, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных,

рекомендованных ВАК. Перечень публикаций включает также 3 монографии и 8 патентов.

Новые научные результаты, полученные Л.А.Кондратенко, имеют важное значение для атомного энергомашиностроения. Результаты работы рекомендуются к дальнейшему внедрению в проектно-конструкторские организации и заводы-изготовители теплообменного оборудования нефтегазохимической и судостроительной отраслей.

Содержание автореферата и научных публикаций полностью отражают содержание диссертации. Тема и существо работы соответствуют специальности 01.02.06 – «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

Диссертация Л.А.Кондратенко является завершенной научной работой, выполненной на высоком уровне. В работе решена актуальная научно-техническая проблема, состоящая из комплекса научно-практических задач, имеющих важное хозяйственное значение и отличающихся научной новизной. Внедрение полученных результатов вносит значительный вклад в технологию производства и обеспечение ресурса теплообменного оборудования для различных отраслей народного хозяйства.

Диссертация отвечает требованиям п.9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Кондратенко Леонид Анатольевич, заслуживает присуждения степени доктора технических наук по специальности 01.02.06 – «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».



Отзыв обсужден и одобрен на заседании Научно-технического совета  
АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС». (Протокол № 6/17 от 18.10.2017)

Отзыв подготовили:

Главный специалист,  
доктор технических наук



Шарый Николай Васильевич  
тел.:8(910)400-27-39

Начальник отдела прочности,  
кандидат технических наук



Лякишев Сергей Леонидович  
тел.:8(903)183-64-35  
e-mail:lyakishev@grpress.podolsk.ru

Ученый секретарь НТС, главный эксперт,  
доктор технических наук



Семишкин Валерий Павлович  
тел.:8(910)418-65-15  
e-mail:semishkin@grpress.podolsk.ru

Подписи Шарого Н.В., Лякишева С.Л., Семишкина В.П. заверяю

*специалист по работе с персоналом  
2 категории Савельева Е.С.*

