

**ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ  
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА**

---

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ  
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА  
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 1680-9165

№ 4 (2020)

---

**ПАВЛОДАР**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**  
выходит 1 раз в квартал

---

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о постановке на переучет периодического печатного издания,  
информационного агентства и сетевого издания  
№ KZ63VPY00028965

выдано  
Министерством информации и общественного развития  
Республики Казахстан

**Тематическая направленность**

публикация результатов фундаментальных и прикладных научных исследований  
по широкому спектру проблем в области металлургии, машиностроения, транспорта,  
строительства и естественных наук

**Подписной индекс – 76129**

**Импакт-фактор РИНЦ – 0,344**

---

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);  
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);  
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);  
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

**Члены редакционной коллегии:**

Гумаров Гали Сагингалиевич – д.т.н., профессор (Уральск, Казахстан);  
Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);  
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);  
Украинец Виталий Николаевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);  
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);  
Богомоллов Алексей Витальевич - к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);  
Жажибаева Галия Тулеуевна - к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);

**Зарубежные члены редакционной коллегии:**

Baigang Sun – профессор (Пекин, Китай);  
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);  
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);  
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);  
Magin Lapuerta – д.т.н., профессор (СьюДад Исаева КуралайСметкановна Реал, Испания);  
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);  
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);  
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);  
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);  
Бочкарев Петр Юрьевич – д.т.н., профессор (Саратов, Россия);  
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);  
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);  
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);  
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);  
Чайкин Владимир Андреевич – д.т.н., профессор (Магнитогорск, Россия);  
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);  
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

---

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели  
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов  
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

**Е. Е. Боранбаев<sup>1</sup>, Б. К. Боранбаева<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ТОО «КАР Technology», г. Павлодар, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>ТОО «KLPE», г. Павлодар, Республика Казахстан

## **ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ ИСПЫТАНИЕ СОЕДИНЕНИЯ ТРУБА-ТРУБНАЯ РЕШЕТКА**

*Рассмотрены классические методы проведения гидравлических испытаний соединения труба-трубная решетка. Выявлены и рассмотрены достоинства и недостатки этих методов. Предложены способы ускоренных испытаний плотности и прочности, позволяющих прогнозировать работу новых неразъемных соединений при их эксплуатации. Проведение гидравлических испытаний – это необходимая мера, позволяющая судить о качестве и надежности работы оборудования в дальнейшем для принятия соответствующих мер. В процессе проверки оборудование тестируется на прочность проверочным давлением, которое обычно устанавливается больше рабочего на 15–20 %. Проверочное давление рассчитывается отдельно и используется при проверке как после изготовления, так и во время регулярных плановых проверок. Таким образом проверяется надежность соединения труба-трубная решетка, а также расширение труб под воздействием давления.*

*Ключевые слова: гидравлические испытания, коррозия, теплообменный аппарат, труба.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Герметичность, особенно при работе с горючими, взрывоопасными, токсичными средами при высоких температурах и давлениях, является одной из важнейших эксплуатационных характеристик теплообменного аппарата.

Отсутствие информации о сроке межремонтного пробега влечет за собой появление внештатных ситуаций, приводящих к дополнительному количеству дорогостоящих операций. Устранение протечек сопровождается глушением изношенных труб с обеих сторон металлическими пробками (не более 15% от общего числа закрепленных труб) [2].

Допустим, если пучок содержит 500 труб возможное количество забитых труб составляет 75 штук. При сроке межремонтного пробега аппарата в 24 месяца возможны его остановки каждые 9 дней, сопровождающиеся дополнительными операциями и сопутствующими расходами на материалы, транспорт, заработную плату, монтаж-демонтаж, энергетику и так далее [3].

Все это говорит о том, что избежать употребления большого количества дорогостоящих операций при устранении каждой протечки можно только на

стадии закрепления труб в отверстиях трубных решеток на заводе-изготовителе. В реальных условиях это возможно только при переходе от применяемой технологии закрепления труб к новой, основанной технологии продольно-прессового локализованного закрепления.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Унифицированные размеры, как труб, так и отверстий трубных решеток на участке закрепления, а также использование только двух инструментов (вальцовки и дорна) на стадиях закрепления позволяет говорить об одинаковых внутренних диаметрах развальцованных труб и, следовательно, относительно одинаковых прочностных характеристиках всех соединений, полученных по предложенной технологии [4].

Соединение труб с трубными решетками по новой технологии осуществляется общепринятой механической вальцовкой и дерном. Использование унифицированных труб с законцовками строго определенного размера, а также особого профиля законцовок труб и отверстий трубных решеток позволяет производить закрепление локализованной деформацией. Эксперименты, имитирующие закрепление труб в трубных отверстиях по предложенной технологии, показали полное заполнение предусмотренных канавок, отсутствие течения материала в осевом направлении, наличие сдвиговой деформации. Все эти явления предполагают высокую гарантированную плотность полученного неразъемного соединения.

При испытаниях герметичности теплообменных аппаратов в настоящее время применяют различные методы и средства контроля, позволяющие выявить утечки: гидравлические, пневматические, вакуумные испытания, массо-спектрометрический метод контроля гелиевыми течеискателями.

Область применения методов контроля герметичности определяется их чувствительностью, производительностью, себестоимостью, безопасностью [5]. Чувствительность метода контроля - это наименьшая утечка контрольного вещества (жидкости или газа), надежно регистрируемая средствами контроля, которые применяют при данном методе. Если чувствительность выбранного метода ниже заданной степени герметичности теплообменника, то в процессе контроля ряд течей не выявляют, что приводит к снижению работоспособности аппарата. Необоснованное завышение чувствительности метода резко увеличивает трудоемкость и себестоимость изготовления теплообменника. Чувствительность метода должна не менее чем в 2 раза превышать заданную степень герметичности теплообменника.

При испытаниях герметичности теплообменников в настоящее время применяют разнообразные методы и средства контроля, позволяющие выявлять утечки от 1 см<sup>3</sup> за сутки (гидроиспытания) до 0,02 см<sup>3</sup> за год (масс-спектрометрический метод контроля гелиевыми течеискателями) [6].

Технология гидравлических испытаний заключается в создании пробного давления внутри аппарата рабочей средой (водой). Выдержки его под этим давлением в течение 5 мин, снижении давления до рабочего и осмотра, по результатам которого дают оценку испытанию.

Таблица 1 – Значения пробного гидравлического давления по нормативной документации

|                       |            |                |
|-----------------------|------------|----------------|
| Рабочее давление, МПа | 0,07÷0,5   | 0,5 и более    |
| Пробное давление, МПа | 0,2<1,5 pp | 0,3+pp<1,25 pp |

Выдержка более 5 мин, а также более высоким давлением не допускается во избежание возникновения дефектов, которые впоследствии могут развиваться до опасных размеров и привести к снижению качества аппарата.

Аппарат считается герметичным, если при испытании утечка из него не обнаружена.

Чувствительность метода гидроиспытаний довольно низкая. При измерении падения давления манометром, подключенным непосредственно к испытываемому аппарату, прибор, регистрирующий полное давление в аппарате, практически не чувствителен к его малым колебаниям и на измерение утечек для повышения чувствительности затрачивается много времени. При длительном измерении на точность результатов влияют колебания температуры окружающей среды. При малых сквозных дефектах скорость испарения воды с поверхности аппарата превышает скорость её истечения через имеющиеся в аппарате неплотности [7].

Чувствительность метода гидроиспытаний можно существенно повысить добавлением в воду люминофора, который при выходе воды через сквозные дефекты остается на поверхности аппарата и под действием ультрафиолетового облучения создается светящийся ореол вокруг дефекта. При испарении воды для обнаружения дефектов достаточно увлажнить поверхность контролируемого изделия. Для повышения чувствительности метода в контрольное вещество (воду) добавляют специальные присадки, снижающие поверхностное натяжение воды и увеличивающие её проникающую способность; при этом по смачивающим свойствам вода приближается к бензину. Чувствительность этого метода довольно высока.

Гидравлическим испытаниям подвергают отдельно трубное (распределительную камеру и крышки кожуха или плавающую головку) и межтрубное (корпус и трубный пучок) пространства. При этом трубный пучок подвергается испытаниям дважды. Герметичность узлов крепления труб в решетке обычно контролируют при испытаниях межтрубного пространства, так как в этом случае указанные узлы находятся в наиболее неблагоприятных условиях нагрузки и доступны для осмотра.

После испытания межтрубного пространства и устранения, обнаруженных дефектов (подвальцовки соединений, давших течь, замены дефектных труб т.д.) устанавливают распределительные камеры и крышки и подвергают испытанию трубное пространство. Для теплообменных аппаратов с плавающей головкой повторно испытывают межтрубное пространство после установки крышки кожуха.

Довольно сложная проблема – испытание герметичности вальцовочных соединений внутренней трубной решетки в теплообменных аппаратах со сдвоенными трубными решетками. Для этой цели после развальцовки труб в обеих решетках создают давление воды в дренажной полости между сдвоенными решетками и фиксируют течь по появлению капель на бумажном экране, установленном у открытого люка в нижней части корпуса аппарата. Если размеры штуцера (люка) обеспечивают доступ внутрь

корпуса, то район расположения дефектного соединения обнаруживают визуальным осмотром с помощью переносной лампы. При устранении течи приходится повторно развальцовывать либо все трубы, либо довольно значительное их число, так как точное определение района течи весьма затруднительно. Чувствительность такого метода контроля герметичности весьма низкая.

Известен качественный способ испытаний вальцовочных соединений на плотность с использованием керосина. Основными проблемами известного способа испытаний являются установление только качественной стороны контакта между соединенными поверхностями, необходимость удаления смазки с лицевой поверхности решетки, сложности с нанесением керосина на её тыльную поверхность. Все эти проблемы наряду с дороговизной операций существенно ограничивают масштабы применимости данного способа испытаний [8].

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Перечисленные способы испытаний не дают информации о добротности вальцовочного соединения при работе на заданных эксплуатационных параметрах теплообменного аппарата, определяемой сроком гарантированного межремонтного пробега, зависящего от скорости коррозии металла трубы в большей степени на её внутренней поверхности, величинами осевых нагрузок, рабочей температурой и так далее. Также при данных испытаниях не учитывается влияние коррозии – основного нарушителя герметичности неразъёмных соединений, приводящие к выходам из строя всей технологической установки. Испытания проводятся на отдельных образцах, имитирующих реальное соединение, что не дает информации, что не дает информации о долговечности всего трубного пучка. Главным фактором неприменимости существующих испытаний плотности неразъёмных соединений с повышенными прочностными характеристиками является невозможность оценить ресурс их надежной работы.

На основании техпроцесса локализованного продольно-прессового образования неразъёмного соединения и закона распределения остаточных напряжений по объёму закреплённой трубы весьма необходима разработка способов ускоренных испытаний плотности и прочности, позволяющих прогнозировать работу новых неразъёмных соединений при их эксплуатации.

Данные испытания основываются на способе гидравлических испытаний неразъёмных соединений на плотность, который учитывает влияние таких параметров, как: величина осевого усилия на плавающей трубной решетке, давление рабочей жидкости, температура, достигающаяся при работе аппарата 400 °С и ведущая к изменению размеров, вибраций, приводящие к локальной деформации по поверхности соединения элементов знакопеременной нагрузки, вызывающие выдергивание трубы [9]. Существующая технология этого не предусматривает. Коррозия в отдельных соединениях вызывает перераспределение напряжений, поэтому нужно иметь информацию о долговременных характеристиках полученных соединений. Используя полученные результаты, предлагается дополнить базовый способ гидроиспытаний постадийным снятием внутренних слоев трубы, имитируя, таким образом, действие

коррозии, при условии, что коррозия не всегда распространяется сплошной поверхностью, часто проявляясь пятнами, равномерное срезание толщины стенки трубы в данном случае только усугубляет её воздействие.

### ВЫВОДЫ

Основной целью применения новых методов гидроиспытаний стала возможность определения срока надежной работы теплообменного аппарата. Зная максимальную величину срезаемой толщины стенки  $t$ , до которой не выявляются протечки, и скорость коррозии  $V_{\text{корр}}$  металла трубы при относительно малых рабочих температурах, можно определить срок гарантированного межремонтного пробега.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Краснов, В. И., Максименко, М. З.** Ремонт теплообменников. – М. : «Химия», 1990. – 104 с.
- 2 **Каспарьянс, К. С. и др.** Процессы и аппараты для объектов промышленной подготовки нефти и газа. – М. : Недра, 1997. – 254 с.
- 3 **Криворот, А. С.** Конструкции и основы проектирования машин и аппаратов химической промышленности. – М. : Машиностроение, 1992. – 400 с.
- 4 Отраслевой стандарт 26-02-1015-85. Крепление труб в трубных решетках. – М. : Министерство химического и нефтяного машиностроения, 1985. – 27 с.
- 5 **Юзык, С. И.** Развальцовка труб в судовых теплообменных аппаратах. – Л. : Судостроение, 1978. – 144 с.
- 6 **Ткаченко, Г. П., Бриф, В. М.** Изготовление и ремонт кожухотрубчатой теплообменной аппаратуры. – М. : Машиностроение, 1980. – 160 с.
- 7 **Дорошенко, П. А.** Технология производства судовых парогенераторов и теплообменных аппаратов. – Л. : Судостроение, 1972. – 360 с.
- 8 ОСТ 26-17-01-83. Аппараты теплообменные и аппараты воздушного охлаждения. Стандартные технические требования к развальцовке труб с ограничением крутящего момента. – М. : Издательство стандартов, 1984, 36 с.
- 9 Патент RU № 2195638 С2, кл. В 21 D 39/06, 53/08. Способ гидравлических испытаний на плотность вальцовочных соединений 137 НИИ. /Батраев Г. А., Козий С. И., Козий С. С/ по заявке 2001104053, бюл. №36 от 27.12.02.
- 10 Патент RU № 2195639 С2, кл. В 21 D 39/06, 53/08. Способ гидравлических испытаний на плотность вальцовочных соединений. / Батраев Г. А., Козий С. И., Козий С. С/ по заявке 2001104059, бюл. №36 от 27.12.02.
- 11 Патент RU № 2195640 С2, кл. В 21 D 39/06, 53/08. Способ гидравлических испытаний на плотность вальцовочных соединений. / Батраев Г. А., Козий С. И., Козий С. С/ по заявке 2001104797, бюл. №36 от 27.12.02.

Материал поступил в редакцию 29.12.20.

**Е. Е. Боранбаев<sup>1</sup>, Б. Қ. Боранбаева<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>«КАР Technology» ЖШС,  
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.;  
<sup>2</sup>«КАР Technology» ЖШС»,  
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.  
Материал 29.12.20 баспаға түсті.

## **ҚҰБЫР ТОРЫ – ҚҰБЫР ҚОСЫЛЫСЫН ГИДРАВЛИКАЛЫҚ СЫНАУ**

*Құбыр торына-құбыр қосылысына гидравликалық сынақтар жүргізудің классикалық әдістері қаралды. Осы әдістердің артықшылықтары мен кемшіліктері анықталды және қаралды. Оларды пайдалану кезінде жаңа ажыратылмайтын қосылыстарының жұмысын болжауға мүмкіндік беретін тығыздық пен беріктікті жедел сынау тәсілдері ұсынылды. Гидравликалық сынақтарды жүргізу – бұл алдағы уақытта тиісті шаралар қабылдау үшін жабдық жұмысының сапасы мен сенімділігі туралы айтуға мүмкіндік беретін қажетті шара. Тексеру барысында жабдық әдетте жұмыс қысымынан 15–20 %-ке көп орнатылатын тексеру қысымымен беріктікке тестіден өтеді. Тексеру қысымы бөлек есептеледі және тексеру кезінде дайындағаннан кейін де, тұрақты жоспарлы тексеріс кезінде де пайдаланылады. Осылайша, құбыр торы-құбыр қосылысының сенімділігі, сондай-ақ қысым әсерінен құбырларды кеңейту тексеріледі.*

*Кілтті сөздер: гидравликалық сынақтар, коррозия, жылу алмасу аппараты, құбыр.*

**Ye. Ye. Boranbayev<sup>1</sup>, B. K. Boranbayeva<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>LLP «КАР Technology»,  
Republic of Kazakhstan, Pavlodar;  
<sup>2</sup>LLP «KLPE»,  
Republic of Kazakhstan, Pavlodar.  
Material received on 29.12.20.

## **HYDRO-TEST OF TUBE-TUBE PLATE JOINT**

*Classic hydro-test methods for tube-tube plate joint performance test are reviewed. Advantages and disadvantages of these methods are identified and reviewed. There are methods proposed to accelerate tightness and strength tests to forecast the operation of new fixed joints in their operation. Carrying out of hydraulic tests is a necessary measure to assess quality and reliability of equipment operation in future for taking appropriate measures. In the process of testing the equipment is tested for strength by test pressure, which is usually set at the level exceeding operating pressure for 15–20 %. The test pressure is estimated separately and is used both after manufacturing and during regular scheduled inspections. In this way, the reliability of the tube-tube plate joint is tested, as well as the expansion of the tube under pressure.*

*Keywords: hydraulic tests, corrosion, heat exchanger, tube.*

Теруге 29.12.20. ж. жіберілді. Басуға 10.01.21. ж. қол қойылды.  
Форматы 297\*420/2. Кітап-журнал қағазы.  
Шартты баспа табағы 6,04. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.  
Компьютерде беттеген З. С. Исакова  
Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3721

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған  
Торайғыров университеті  
140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы  
Торайғыров университеті  
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.  
67-36-69

e-mail: [kereku@psu.kz](mailto:kereku@psu.kz)  
[www.vestnik.psu.kz](http://www.vestnik.psu.kz)  
[www.nitk.psu.kz](http://www.nitk.psu.kz)