

УДК 658.562.3: 621.791.05

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА МОНТАЖА СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ РЕАКТОРА ИВГ.1М

Акболатов Е.Ж., Коровиков А.Г., Ермолаев А.А.

*Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан*

В работе представлены результаты анализа сварных соединений трубопровода системы охлаждения теплоносителя реактора ИВГ.1М. Определено, что в системе охлаждения отсутствуют дефекты, оказывающие наибольшее влияние на качество сварных соединений (трещины, несплавления в корне швов). Приведена технология сварки трубопровода.

### ВВЕДЕНИЕ

Необходимость контроля сварных швов при проведении строительно-монтажных работ системы охлаждения теплоносителя исследовательского реактора ИВГ.1М обусловлена высокими международными и государственными требованиями по безопасной эксплуатации ядерных реакторов.

Применение одного метода неразрушающего контроля не дает полной картины качества выполненных сварочных работ. Поэтому возникла необходимость применения комплексных методов контроля.

Данная работа сфокусирована на контроле качества при сварке и анализе отклонений. В ходе работы произведен контроль 100% (356 шт.) сварных соединений, получена полная картина качества.

Выполненная работа это один из шагов по созданию системы охлаждения теплоносителя исследовательского реактора ИВГ.1М в межпусковой период, вводу его в эксплуатацию и последующей безопасной эксплуатации реактора.

### КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМЕ ОХЛАЖДЕНИЯ

Система охлаждения теплоносителя исследовательского реактора ИВГ.1М (СОТР) предназначена для принудительного охлаждения теплоносителя в межпусковой период с целью сокращения времени выполнения серии последовательных пусков реактора.

Рабочий проект СОТР был разработан в 2017 году в рамках программы конверсии исследовательских реакторов НЯЦ РК при поддержке Аргоннской национальной лаборатории США. Применение СОТР позволяет сократить межпусковой интервал с 732 до 96 часов [1].

Монтажные работы были начаты в августе 2018 года и закончены в июле 2019 года. Во время рабочих пусков реактора ИВГ.1М СОТР отключена запорной

арматурой от основного контура системы охлаждения теплоносителя реактора ИВГ.1М и не оказывает на нее влияния.

СОТР состоит из двух рабочих контуров и оборудования заполнения (опорожнения) системы хладагентом. Первый контур (рисунок 1) предназначен для принудительного охлаждения теплоносителя реактора в межпусковой период и состоит из: рекуперативного теплообменника 600ТНГ-1,6-М8/20-Г4-1 и магистрального трубопровода с запорно-регулирующей арматурой. Второй контур в состав которого входят: насосная станция WIL0, группа градирен и магистральный трубопровод с запорно-регулирующей арматурой (рисунок 2), предназначен для охлаждения теплоносителя хладагентом. Основные характеристики рабочих контуров приведены в таблице 1.

### ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА

Магистральный трубопровод СОТР состоит из труб диаметром 159 мм и 108 мм, толщиной стенки 6 мм, изготовленных из стали 12Х18Н10Т по ГОСТ 9941–81 [3]. К особенностям технологии сварки данных труб можно отнести теплофизические свойства, характерные для аустенитной стали 12Х18Н10Т. Так как теплопроводность этих сталей примерно в 4 раза ниже, а коэффициент линейного расширения в 1,5 раза выше, чем у низкоуглеродистых сталей, это приводит к увеличению глубины проплавления основного металла и возрастанию деформаций и напряжений [4]. Поэтому в процессе монтажа трубопровода была использована ручная аргонодуговая сварка неплавящимся электродом, которая обеспечивает наименьшее тепловое воздействие на свариваемый металл по сравнению с ручной дуговой сваркой покрытыми электродами.

Таблица 1. Технические характеристики рабочих контуров СОТР

Технические характеристики	Первый контур	Второй контур
Класс безопасности и назначение элементов по [2]	4н	4н
Расход теплоносителя, м <sup>3</sup> /ч	60	120
Напор, мм вод. ст.	132	60
Температура на входе, °С	55	до 41
Температура на выходе, °С	не более 35	не более 33
Теплоноситель	дистиллированная вода	55% водный раствор этиленгликоля

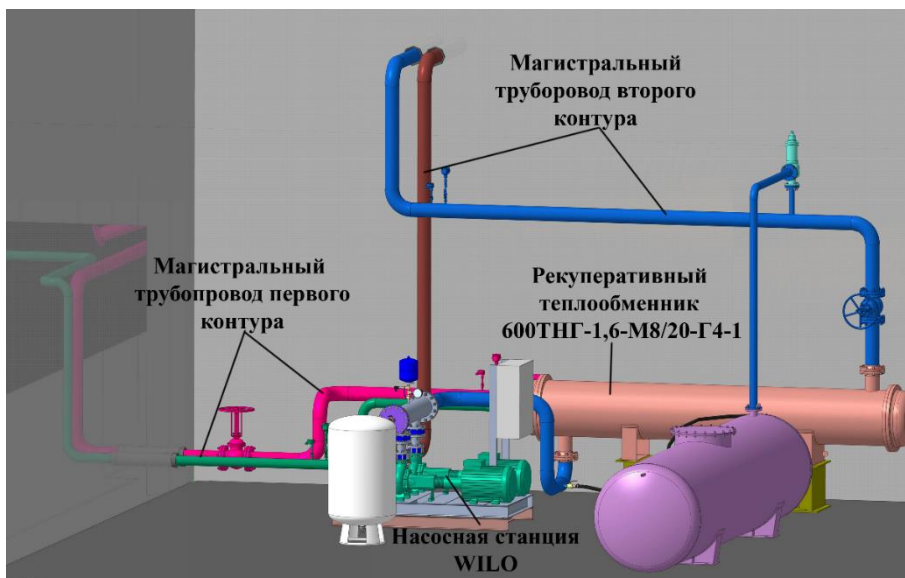


Рисунок 1. Первый контур СОТР

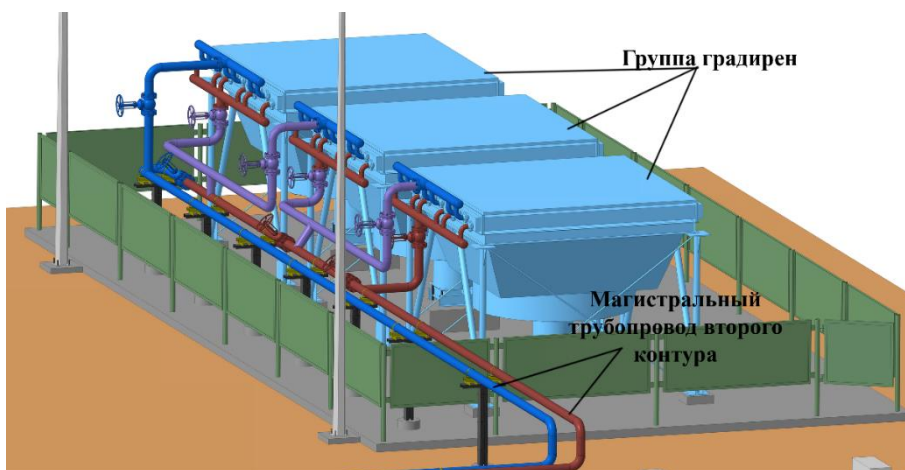


Рисунок 2. Второй контур СОТР

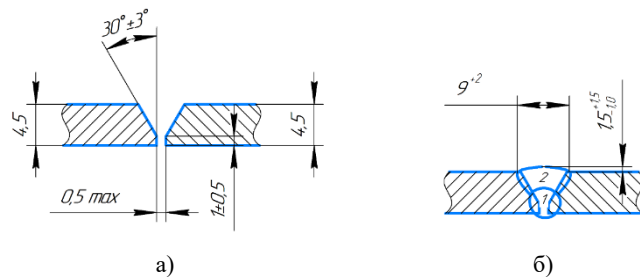


Рисунок 3. Стыковое соединение (С17) трубы  $\varnothing 159 \times 4,5$  мм по ГОСТ 16037-80: конструкция соединения (а) и конструктивные элементы шва (б)

Для обеспечения необходимой прочности и надежности трубопровода конструктивные элементы сварных соединений и разделка кромок под сварку (рисунок 3) выполнялась в соответствии с требованиями ГОСТ 16037 – 8 [5]. Сварку проводили в два

прохода, с первоначальной проваркой корня шва. Основные параметры процесса сварки приведены в таблице 2. Схема сварных стыков представлена на рисунке 4.

Таблица 2. Параметры процесса сварки

Номер слоя	Диаметр вольфрамового электрода (ЭВЛ, ГОСТ 23949-80), мм	Диаметр присадочной проволоки (Св-08Х19Н10Г2Б, ГОСТ 2246-70), мм	Сила тока, А	Расход аргона, л/мин	
				на горелку	на поддув
для соединения труб Ø89 мм					
Прихватки	3,0	2,0	от 45 до 90	от 8 до 10	от 4 до 5
1	3,0	2,0	от 45 до 90	от 8 до 10	от 4 до 5
2	3,0	2,0	от 50 до 70	от 8 до 10	от 4 до 5
для соединения труб Ø159 мм					
Прихватки	3,0	3,0	от 45 до 90	от 8 до 10	от 4 до 5
1	3,0	3,0	от 45 до 90	от 8 до 10	от 4 до 5
2	3,0	3,0	от 90 до 100	от 8 до 10	от 4 до 5

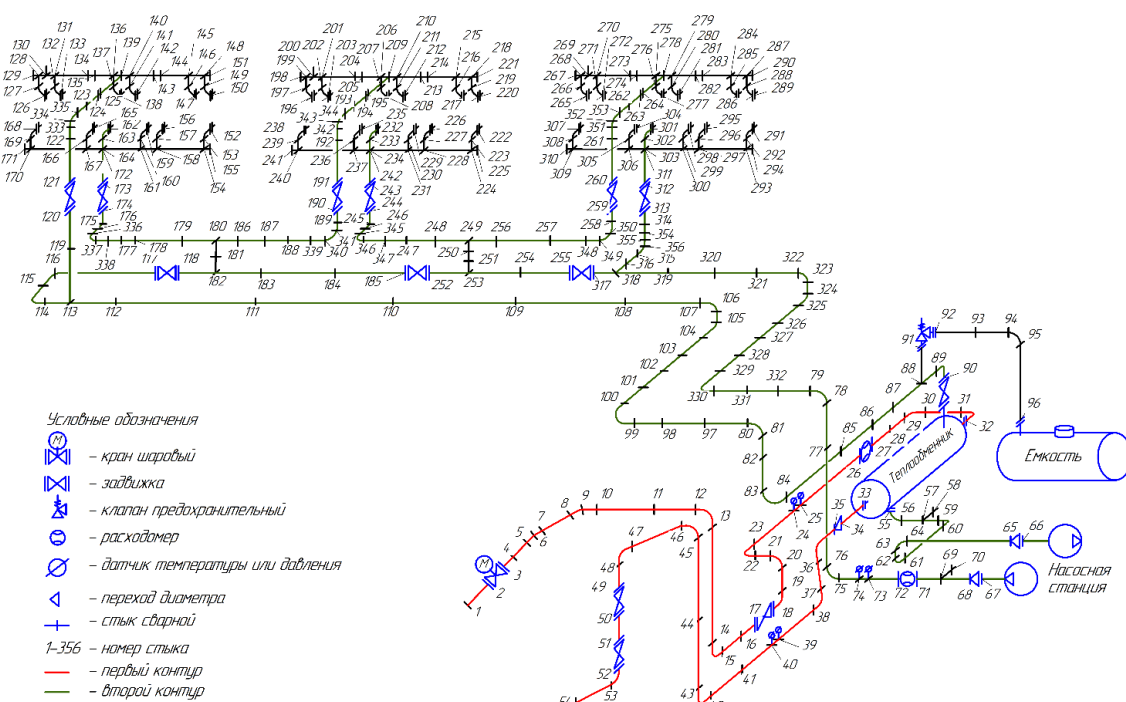


Рисунок 4. Схема сварных стыков СОТР

Все сварочные материалы (сварочная проволока, вольфрамовый электрод, аргон) использовавшиеся в процессе монтажа проходили входной контроль с последующей сваркой контрольного образца. Для оценки технологических свойств сварочных материалов, контрольный образец проверяли радиографическим методом неразрушающего контроля. К производству сварочных работ допущены аттестованные сварщики, имеющие квалификационное удостоверение с отметкой группы и категории сварных соединений.

**Мероприятия по оценке качества**

Неразрушающий контроль (НК) качества сварных соединений – важнейшая технологическая операция, выполняющая функцию подтверждения соответствия качества сварочных работ требованиям нормативной документации. В соответствии с «Требованиями промышленной безопасности при эксплуатации технологических трубопроводов» [6] и в связи со степенью ответственности первого контура СОТР,

согласно рабочему проекту, был установлен неразрушающий контроль: радиографический метод контроля (РГК) [7], визуальный и измерительный контроль (ВИК) [8] и капиллярный метод контроля (КК) [9]. Современный уровень развития средств НК и их многообразие также требуют рационального выбора способов, в зависимости от примененной технологии сварки и, в целом, от организации сварочно-монтажных работ на объекте.

Классификация видов НК установлена государственным стандартом ГОСТ 18353-79 «Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов» [10]. Методы каждого вида неразрушающего контроля классифицируются по следующим признакам:

- характер взаимодействия физических полей или веществ с контролируемым объектом;
- первичные информативные параметры;
- способ получения первичной информации.

Основные методы НК, примененные при контроле СОТР, рассмотрены в таблице 3.

Таблица 3. Применение методов НК

Вид НК	Обнаруживаемые дефекты	Сложность применения	Достоинства	Недостатки
ВИК	наружные, видимые	низкая	низкая стоимость и сложность	обнаружение только наружных дефектов
КК	наружные, выходящие на поверхность	средняя	невысокая стоимость, возможность выявления трещиноподобных дефектов с малым раскрытием	обнаружение только дефектов, выходящих на поверхность
РГК	внутренние и наружные	средняя	невысокая сложность, возможность обнаружения внутренних и наружных дефектов, простота идентификации	невозможность выявления трещиноподобных дефектов с малым раскрытием

Общие сведения о возможных дефектах сварки плавлением приведены в ГОСТ 2601-84 [11].

На основе результатов работы по проведению НК сварных соединений СОТР и на основании заключений по НК была проведена выборка наиболее часто встречающихся отклонений от норм сварных стыков, которая представлена на рисунке 5. Из диаграммы видно, что чуть больше половины (56%) отклонений от норм обнаружено в корне сварного шва, из которых около 21% (37% от общего числа отклонений от норм) превышение проплава (провис) и около 10% (18% от общего числа отклонений от норм) – утяжины (вогнутость корня шва). Такие отклонения от норм не являются особо опасными и допускаются, так как не превышают установленных размеров [12]. Всего в процессе НК выявлено 65 отклонений от норм в сварных стыках, из них 7 забракованных сварных стыков были вырезаны путем механической вырезки дефектного участка с последующей заваркой без образования натяга и исправлены, 28 отклонений от норм исправлены подваркой, остальные не превышают установленных размеров.



Рисунок 5. Диаграмма распределения отклонений от норм сварных соединений СОТР

## ЛИТЕРАТУРА

1. Система охлаждения теплоносителя реактора ИВГ.1М: АК.80254.00-ПЗ. – том 2. – Курчатов, 2017. – 49 с. – Инв. № К-1067.
2. Требования промышленной безопасности при эксплуатации технологических трубопроводов. Утв. приказом Министра по чрезвычайным ситуациям РК от 27 июля 2009 года № 176.
3. ГОСТ 9941–81. Трубы бесшовные холодно- и тепलोдеформированные из коррозионностойкой стали. – Введ. 1983–01–01. – М.: Стандартинформ, 2010. – 8 с.
4. Дедюх Р.И. Материаловедение и технологии конструкционных материалов. Технология сварки плавлением / учебное пособие для прикладного бакалавриата. – М.: Изд-во «Юрайт», 2016. – 169 с.
5. ГОСТ 16037–80. Соединения сварные стальных трубопроводов. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. – Взамен ГОСТ 16037–70; введ. 1981–06–30. – М.: Издательство стандартов, 1999. – 23 с.

При проведении контроля конечный продукт – заключение, в котором указываются все обнаруженные дефекты, их размеры, местоположение, и допустимость по нормативно-технической документации (НТД).

Конечным этапом монтажа было проведение испытания гидравлическим способом на прочность и плотность в соответствии с требованиями НТД и рабочей программы проведения индивидуальных испытаний трубопроводов СОТР. Результаты гидравлического испытания на прочность и плотность считаются удовлетворительными, так как во время испытания не произошло падения давления по манометру, а в сварных швах, фланцевых соединениях и сальниках не обнаружены течь и отпотевание, что отражено в акте о проведении индивидуальных испытаний трубопроводов СОТР.

## Выводы

Специалистами филиала «Институт атомной энергии» проведен большой объем работ по монтажу трубопроводов СОТР, НК и подготовке прямо-сдаточной документации. Контроль качества сварных работ показал, что дефектов, оказывающих наибольшее влияние на качество сварного шва (трещина в корне, непровар, несплавление в корне) не зарегистрировано. Это свидетельствует о высоком качестве проведения сварочных работ при монтаже СОТР. Надежность и эффективность качества монтажа СОТР подтверждена проверками, выполненными в рамках пуско-наладочных работ. Качество работ соответствует требованиям СП РК 3.05-103-2014. СОТР введен в эксплуатацию, а его последующая эксплуатация позволила сократить межпусковые интервалы и достичь заявленных параметров.

6. Требования промышленной безопасности при эксплуатации технологических трубопроводов. Утв. приказом Министра по чрезвычайным ситуациям РК от 27 июля 2009 года № 176.
7. ГОСТ 7512–82. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод. – Взамен ГОСТ 7512–75. введ. 1984–01–01. – М: Издательство стандартов, 2008. – 32 с.
8. РД 03-606-03. Инструкция по визуальному и измерительному контролю. – Введ. 2003–07–17. – Екатеринбург: Урализдат, 2004. – 88 с.
9. ГОСТ 18442–80. Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования. – Взамен ГОСТ 18442–73. введ. 1981–06–30. – М: Издательство стандартов, 2004. – 16 с.
10. ГОСТ 18353–79. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. – Введ. 1980–06–30. – М.: Издательство стандартов, 2004. – 12 с.
11. ГОСТ 2601–84. Сварка металлов. Термины и определения основных понятий. – Введ. 1985–06–30. – М.: Издательство стандартов, 1996. – 56 с.
12. СП РК 3.05-103-2014. Государственные нормативы в области архитектуры, градостроительства и строительства. Свод правил Республики Казахстан. Технологическое оборудование и технологические трубопроводы. – Введ. 2014–12–29. – Астана: Издание официальное, 2015. – 58 с.

### **ИВГ.1М РЕАКТОРЫНЫҢ ЖЫЛУТАСЫМАЛДАҒЫШТЫ САЛҚЫНДАТҚЫШ ЖҮЙЕСІН МОНТАЖДАУ САПАСЫН БАҒАЛАУ**

**Е.Ж. Ақболатов, А.Г. Коровиков, А.А. Ермолаев**

*ҚР ҰЯО РМК «Атом энергиясы институты» филиалы, Курчатов, Қазақстан*

Жұмыста ИВГ.1М реакторының жылу тасымалдағышты салқындату жүйесінің құбыр жолдарының дәнекерлеу қосылудағы ақауларды талдау нәтижелері берілген. Салқындату жүйесінде дәнекерлеу қосыларының сапасына неғұрлым әсер көрсететін ақаулардың (жарық, жіктерінің түбіндегі балқымай қалулар) жоқ екендігі анықталды. Құбыр жолдарды дәнекерлеу технологиясы келтірілді.

### **QUALITY ASSESSMENT OF THE IVG.1M REACTOR COOLANT COOLING SYSTEM INSTALLATION**

**Ye.Zh. Akbolatov, A.G. Korovikov, A.A. Yermolayev**

*Branch "Institute of Atomic Energy" RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan*

The paper provides the results of defect analysis in welded joints of pipelines of coolant cooling system of the IVG.1M reactor. It was defined that there are no defects in the cooling system making the most impact on the quality of joints (cracks, faulty fusion at the base of joints). The welding process of pipes is presented.