

УДК 658.562.3: 621.791.05

## ОПЫТ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОЖУХА НАРУЖНОГО НЕПОДВИЖНОЙ АМПУЛЫ НА-228 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО РЕАКТОРА ИГР

Акболатов Е.Ж., Богомолова И.Н., Коровиков А.Г., Шевченко А.М.

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

В статье представлен технологический цикл изготовления наружного кожуха неподвижной ампулы НА-228 импульсного графитового реактора (ИГР) из нержавеющей стали 12Х18Н10Т. Представлены результаты расчета на прочность элементов конструкции и технология изготовления обечайки. Путем сварки контрольных образцов определены оптимальные параметры сварки сегментов обечайки, а также количества прихваток и слоев, порядок и количество проходов, обеспечивающие высокое качество изделия.

### ВВЕДЕНИЕ

Одним из направлений деятельности филиала ИАЭ РГП НЯЦ РК является проведение реакторных экспериментальных исследований в обоснование безопасности реакторов на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем при тяжелой аварии с плавлением топлива активной зоны. Данные исследования проводятся на исследовательском реакторе ИГР. Водоохлаждаемое экспериментальное устройство располагается в центральной экспериментальной канале реактора с неподвижной ампулой НА-228. Конструктивно неподвижная ампула состоит из трех вставляемых один в другой цилиндрических кожухов – наружный, разделительный и внутренний.

Наружный кожух изготовлен из циркониевого сплава Э125 и представляет собой обечайку цилиндрической формы, герметизируемую сваркой. Эксплуатация кожуха происходит при постоянном воздействии радиационного облучения, внутреннего давления и термических воздействиях. Надежность кожуха во многом зависит от качества сварных соединений, так как нарушение их герметичности при эксплуатации может привести к выходу охлаждающей жидкости наружу и возникновению аварийной ситуации.

Для повышения эффективности использования реактора ИГР и снижения зависимости условий его эксплуатации от комплектующих устройств было решено изготовить запасной кожух наружный из нержавеющей стали 12Х18Н10Т, как альтернативу циркониевому.

В обоснование возможности применения нержавеющей стали в качестве материала наружного кожуха, выполнены нейтронно-физические и теплофизические расчеты неподвижной ампулы НА-228 с наружным кожухом из нержавеющей стали и циркониевого сплава, а также проведена оценка эксплуатационных характеристик реактора. Расчеты показали возможность применения в составе неподвижной ампулы НА-228 кожуха наружного из нержавеющей стали.

Разработана и утверждена конструкторская документация с обоснованием прочности элементов конструкции стального кожуха, а также разработана технология изготовления и сварки обечайки. Результатом настоящей работы является готовое изделие, соответствующее всем требованиям конструкторской документации.

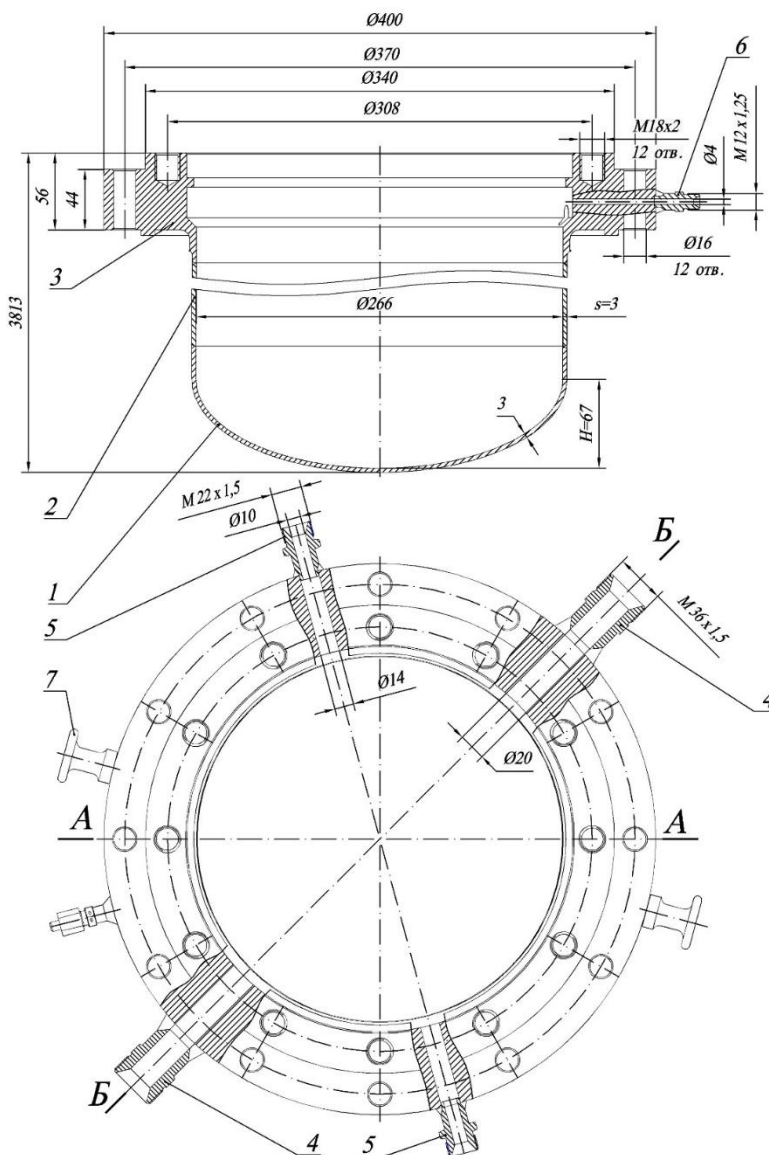
### РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ

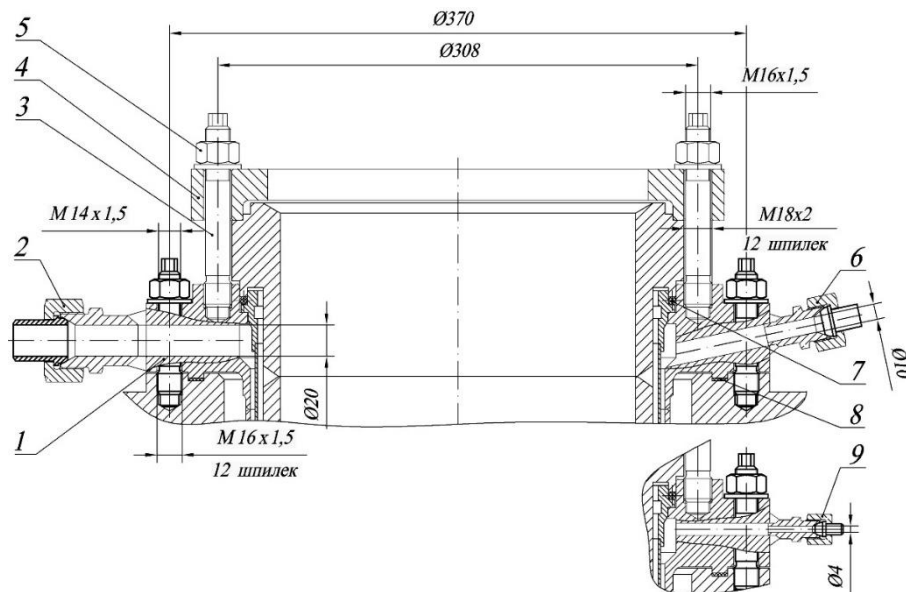
Расчет на прочность элементов конструкции наружного кожуха (рисунок 1) был выполнен согласно нормам ПНАЭ Г-7-002-86 [1]. Исходные данные для расчетов приведены в таблице 1. Результаты расчетов коэффициента запасов прочности приведены в таблице 2.

Таким образом, прочность элементов кожуха наружного обеспечивается при параметрах коэффициента запаса, указанных в таблице 2.

Таблица 1. Исходные данные

|                                                          |                                                                                                                                  |                                   |
|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Расчетное давление кожуха наружного, кгс/мм <sup>2</sup> | внутреннее                                                                                                                       | 0,12                              |
|                                                          | наружное                                                                                                                         | 0,006                             |
| Расчетная температура, °С                                | кожух наружного                                                                                                                  | 350                               |
|                                                          | цапфы (рисунок 1, поз.7)                                                                                                         | 20                                |
|                                                          | шпильки (рисунок 1, поз. 3), гайки (рисунок 2, поз.6), гаек накидных (рисунок 2, поз. 2, 6, 9), прокладок (рисунок 2, поз. 7, 8) | 100                               |
|                                                          | фланца накидного (рисунок 2, поз. 4)                                                                                             | 50                                |
| Материалы                                                | кожух наружный (рисунок 2, поз. 1), фланец накидной (рисунок 2, поз. 4), гайки (рисунок 2, поз. 5)                               | сталь 12Х18Н10Т, ГОСТ 5632-2014   |
|                                                          | гайки накидные (рисунок 2, поз. 2, 6, 9), шпильки (рисунок 1, поз. 3)                                                            | сплав 12ХН35ВТ, ГОСТ 5632-2014    |
|                                                          | кольцо уплотнительное (рисунок 2, поз. 7)                                                                                        | резина ИРП-1375, ТУ 38-1051082-86 |
|                                                          | прокладка (рисунок 2, поз. 8)                                                                                                    | фторопласт Ф-4, ГОСТ10007-80      |





1 – кожух наружный; 2 – гайка накидная М36×1,5; 3 – шпилька М18×2–М16×1,5; 4 – фланец накидной; 5 – гайка М16×1,5; 6 – гайка накидная М22×1,5; 7 – кольцо уплотнительное; 8 – прокладка; 9 – гайка накидная М12×1,25

Рисунок 2. Элементы НА-228

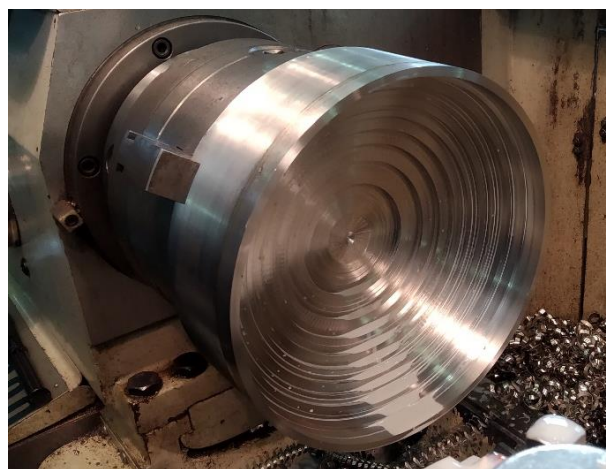
#### ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОЖУХА НАРУЖНОГО

Днище и фланец были изготовлены на токарном станке из проката круглого сечения (рисунок 3). Для изготовления обечайки были рассмотрены два метода. Первый – из листового материала на трехвалковой листогибочной машине. Основными недостатками данного метода являются наличие прямого участка после гибки и большая вероятность деформации обечайки после сварки продольного шва, которая усложняет получение высокоточного изделия. В связи с этим для изготовления обечайки был выбран второй метод – обработка резанием, который заключается в механической обработке трубы с размерами, близкими к готовой обечайке, на токарном станке. Применение такого метода обеспечивает высокую точность изделия и качество поверхности, так как после механической обработки свариваемые кромки получаются ровными без вмятин, выступов и заусенцев, что благоприятно влияет на качественное формирование сварного шва.

В качестве заготовки для обечайки выбрана труба диаметром 273 мм с толщиной стенки 6 мм по ГОСТ 9941-81 [2]. При длине обечайки 3630 мм трубу разбили на 6 сегментов, стыкуемые между собой сваркой (рисунок 4). Перед началом работ каждый сегмент проходил ультразвуковой контроль на наличие внутренних дефектов (трещин, пустот, неметаллических включений), после этого осуществлялась механическая обработка и сварка. Для растачивания внутреннего диаметра трубы был разработан специальный резец длиной 900 мм.



а)



б)

Рисунок 3. Изготовление фланца (а) и днища (б)

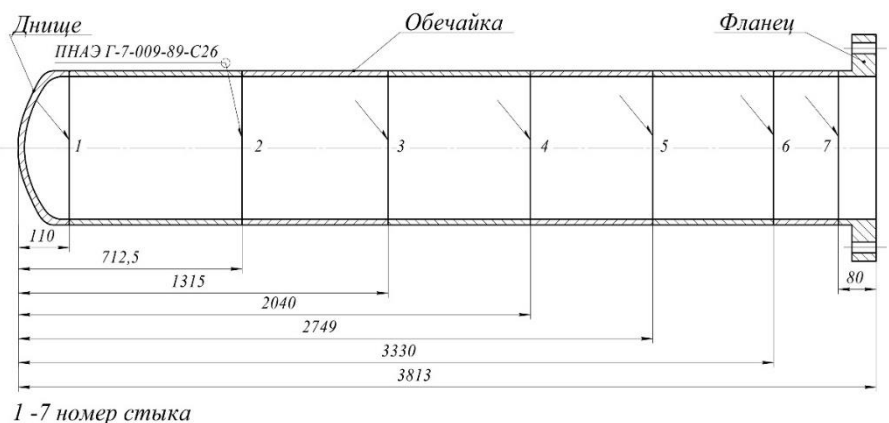


Рисунок 4. Сегменты обечайки

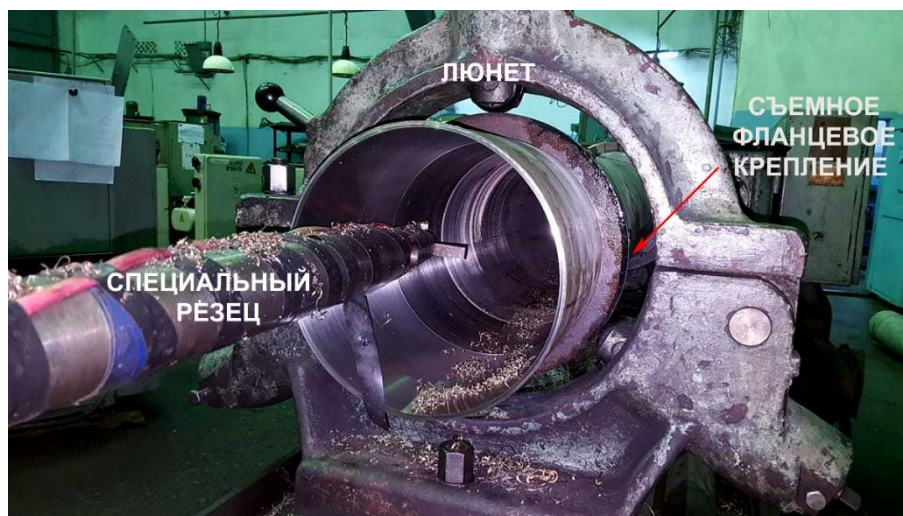


Рисунок 5. Растачивание внутреннего диаметра обечайки после сварки сегмента

Механическую обработку, а также сборку и сварку производили на токарно-винторезном станке ДИП-500 с использованием люнетов. Во избежание царапин и деформаций на поверхности сегментов во время вращения на станке были использованы съемные фланцевые крепления под кулачки люнетов (рисунок 5).

#### ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ СЕГМЕНТОВ ОБЕЧАЙКИ

В качестве способа сварки была выбрана аргонодуговая сварка неплавящимся электродом с применением присадочной проволоки марки Св-04Х19Н11МЗ. В целях определения оптимальной погонной энергии, которая способствует уменьшению величины внутренних деформаций и для получения заданных геометрических размеров готового изделия, а также для оценки технологических свойств сварочных материалов была проведена сварка контрольных образцов на разных параметрах режима сварки. По анализу полученных результатов визуально-измерительного и радиографического контроля были определены оптимальные параметры сварки (таблица 3), а также количества прихваток и слоев, количество проходов и порядок сварки. Необходимо

отметить, что стандартное сопло горелки не обеспечило защиту сварочной ванны от воздействия воздуха, так как в радиографических снимках контрольных образцов были обнаружены черные пятна, предположительно это свидетельствует об образовании окислов. В связи с этим была использована газовая линза с увеличенным диаметром сопла.

Таблица 3. Оптимальные параметры сварки

| Параметр                            | Слои                              |          |              |
|-------------------------------------|-----------------------------------|----------|--------------|
|                                     | прихватка                         | корневой | облицовочный |
| Диаметр вольфрамового электрода, мм | 2,4                               | 2,4      | 2,4          |
| Диаметр присадочной проволоки, мм   | 2                                 | 2        | 2            |
| Сила тока, А                        | 50                                | 60       | 60           |
| Род и полярность сварочного тока    | постоянный ток, прямой полярности |          |              |
| Расход аргона в горелку, л/мин      | 8-10                              | 8-10     | 8-10         |

Для достижения точности изделия и соосности сегментов обечайки, конструкция стыка была выполнена в соответствии с ПНАЭ Г-7-009-89 тип С26 с ос-

тающимися подкладным кольцом (рисунок 6) [3]. Сборка сегментов была выполнена с помощью прихваток. Для соединения каждого сегмента между собой было выполнено 16 прихваток длиной 10–15 мм, располагающиеся симметрично по периметру свариваемых кромок. Порядок прихваток приведен на рисунке 7. Для минимизаций тепловложения, сварку осуществляли с перерывами между проходами. Таким образом, сварку корневого слоя выполнили за 16 проходов, длина каждого прохода при этом составляя 70–80 мм, а облицовочный слой – за 6 проходов длиной 170–180 мм (рисунок 8). После каждого прохода выдерживали время для остывания сварного шва до комнатной температуры. Сварку сегментов обечайки начинали со стыка № 1 (рисунок 4). После сварки каждого сегмента обечайки производили чистовое растачивание подкладного кольца, тем самым доводя диаметр обечайки до номинальных значений (рисунок 5). Контроль величины диаметра осуществляли с помощью специально изготовленного калибра пробки. Качества сварных соединений оценивали капиллярным и радиографическим методом послойно в объеме 100%.

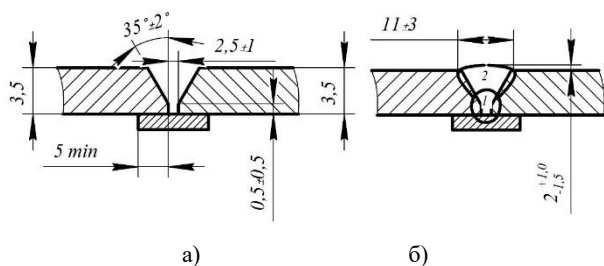


Рисунок 6. Стыковое соединение (C26) по ПНАЭ Г-7-009-89: конструкция соединения (а) и конструктивные элементы шва (б)

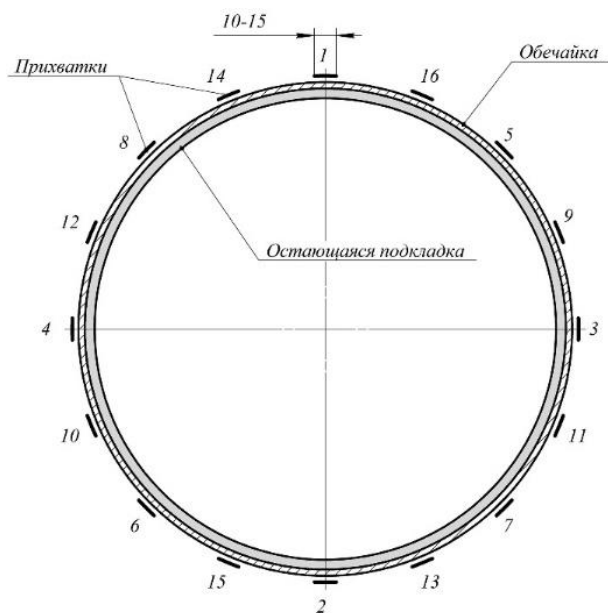


Рисунок 7. Порядок прихваток

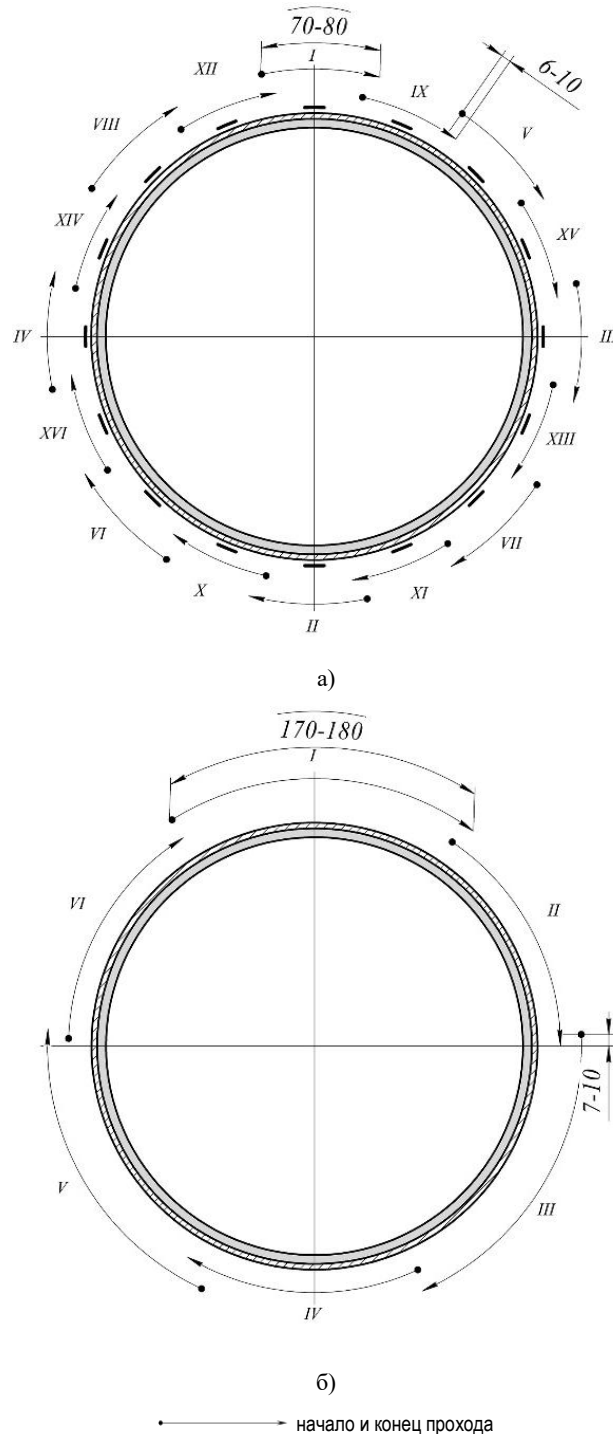


Рисунок 8. Количество и порядок проходов для корневого (а) и облицовочного (б) слоя

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненной работы разработана конструкторская документация на кожух наружный неподвижной ампулы центрального экспериментального канала реактора ИГР с обечайкой из нержавеющей стали, которая прошла согласование в Комитете по атомному и энергетическому надзору и контролю МЭ РК.



Рисунок 9. Готовая обечайка кожуха наружного

Проведена сравнительная оценка нейтронно-физических характеристик реактора и экспериментального устройства, а также оценка теплового состояния для обоснования возможности применения в составе неподвижной ампулы НА-228 стального кожуха наружного.

Проведен расчет на прочность элементов конструкции, подтверждающий необходимый запас прочности.

Разработан и применен технологический процесс и технология сварки, которые позволили изготовить стальной кожух наружный в короткие сроки на имеющемся станочном оборудовании. Контроль качества показал, что кожух соответствует всем требованиям конструкторской документации.

После изготовления кожух прошел гидравлические испытания и передан для эксплуатации на комплекс исследовательского реактора ИГР под регистрационным номером Т-311.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок: ПНАЭ Г-7-002-86: утв. Госатомэнергонадзором СССР: введ. в действие 01.07.87. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 528 с.
2. ГОСТ 9941-81. Трубы бесшовные холодно- и теплодеформированные из коррозионно-стойкой стали. – Введ. 1983-01-01. – М.: Стандартинформ, 2010. – 8 с.
3. Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварка и наплавка. Основные положения: ПНАЭ Г-7-009-89: утв. Госатомэнергонадзором СССР: введ. в действие 01.06.90. – М.: НТЦ ЯРБ Госатомнадзора России, 2000. – 185 с.

#### НА-228 ИГР ЗЕРТТЕУ РЕАКТОРЫНЫҢ СЫРТҚЫ ЖЫЛЖЫМАЙТЫН АМПУЛАСЫНЫҢ ҚАБЫН ЖАСАУ ТӘЖІРИБЕСІ

Е.Ж. Ақболатов, И.Н. Богомолова, А.Г. Коровиков, А.М. Шевченко

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

Мақалада 12X18H10T тоттанбайтын болаттан НА-228 импульстік графиттік реактордың (ИГР) жылжымайтын ампуласының сыртқы қабын дайындау технологиялық циклы ұсынылған. Белдікті жасау технологиясы мен конструкция элементтері беріктігіне есептеу нәтижелері ұсынылды. Бақылау үлгілерін дәнекерлеу жолымен белдік сегменттерін дәнекерлеу тиімді параметрлары, сондай –ақ ілмектер мен қабаттардың саны, өнімнің жоғары сапасын қамтамасыз ететін өту жолдарының саны анықталды.

#### EXPERIENCE IN MANUFACTURING OF THE OUTER CASING OF AN IMMOVABLE AMPOULE NA-228 OF THE IGR RESEARCH REACTOR

Ye.A. Akbolatov, I.N. Bogomolova, A.G. Korovikov, A.M. Shevchenko

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

The article presents the technological cycle of manufacturing the outer casing of an immovable ampoule NA-228 of the Pulsed Graphite Reactor (IGR) made of stainless steel 12X18H10T. The results of strength analysis of structural elements and casing manufacturing technology are presented. By welding control samples, the optimal welding parameters of the casing segments were determined, as well as the number of tacks and layers, order and number of passes ensuring high product quality.