

# ОСОБЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕЗЕРВУАРА РВС-200 ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА В АНТАРКТИДЕ НА СТАНЦИИ «АКАДЕМИК ВЕРНАДСКИЙ»

Г. В. ЖУК<sup>1</sup>, И. В. МОРОЗ<sup>2</sup>, А. Ю. БАРВИНКО<sup>3</sup>, Ю. П. БАРВИНКО<sup>3</sup>, Ю. Н. ПОСЫПАЙКО<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ГП «ОКТБ ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ». 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 15.

E-mail: oktbpaton@gmail.com

<sup>2</sup>Национальный антарктический научный центр. 01601, г. Киев, б-р Тараса Шевченко, 16.

E-mail: uac@uac.gov.ua

<sup>3</sup>ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03680, г. Киев-150, ул. Казимира Малевича, 11.

E-mail: office@paton.kiev.ua

Приведен анализ материалов экспертного обследования сварного резервуара РВС-200 для дизельного топлива на украинской антарктической станции «Академик Вернадский», выполненного ГП «ОКТБ ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ». Показано, что по региону расположения резервуар вместимостью всего 200 м<sup>3</sup> переходит по ответственности в высший класс — ССЗ с установленным сроком эксплуатации не менее 40 лет. В этих условиях требования к экологической чистоте объекта и окружающей среде, при полной изоляции и ограниченных возможностях ремонта, предопределяют необходимость неординарных конструктивных решений по обеспечению безремонтного срока эксплуатации. Даны конкретные технические решения рассматриваемого вопроса. Библиогр. 7, рис. 5.

*Ключевые слова:* сварной резервуар, высший класс ответственности ССЗ, коррозионные повреждения, нержавеющая аустенитная сталь, защита от коррозии

В 2007 г. на украинской антарктической станции «Академик Вернадский» на острове Галиндез в архипелаге Аргентинских островов (Антарктида) был построен сварной цилиндрический резервуар РВС-200 для хранения дизельного топлива (рис. 1). Проект резервуара разработан ОАО «УкрНИИпроектстальконструкция», металлоконструкции изготовлены и смонтированы ООО «Кировоградский завод технологического оборудования». Природные условия в районе строительства довольно благоприятные для эксплуатации емкости. Климат морской, субантарктический, минимальная температура за годы наблюдений не ниже  $-8^{\circ}\text{C}$ . Однако есть данные о минимальной температуре зимой  $-47^{\circ}\text{C}$  (вестник «Вокруг света», Украина, 2010 г., вып. 11). Ветер 30...35 м/с, снег 300 дней в году.

Требование о строительстве резервуара содержится в меморандуме о передаче Англией Украине станции «Фарадей» от 20.07.1996 г. (ныне станция «Академик Вернадский»). Несколько ранее, в 1992 г., Украина присоединилась к Антарктическому договору, в котором изложены особые требования по сохранению экологической среды в Антарктиде. До этого времени для хранения жидкого топлива англичанами на станции «Фарадей» было построено две емкости. Основная емкость в виде прямоугольника в плане высотой около 6 м. Емкость успешно эксплуатируется более 20 лет и

на станции «Академик Вернадский». Конструкция емкости проста и принятая простота гарантирует ее полную безопасность при отсутствии ремонтов в течение более 50 лет. Из стальных балок на болтовых соединениях смонтирована пространственная система с вертикальными и горизонтальными стойками и ригелями, обшитая изнутри листами толщиной 6 мм из нержавеющей стали аустенитного класса. Листы крепятся к каркасу болтами через герметизирующие прокладки. В стенке и крыше имеются технологические патрубки и люки для заправки и забора топлива и осмотра его конструкции. Отметим, что на время проектиро-



Рис. 1. Общий вид резервуара РВС-200 на антарктической станции «Академик Вернадский»

вания рассматриваемого резервуара, в Украине не было государственных норм относительно системы обеспечения надежности и безопасности строительных объектов. В первой редакции приведенные нормы Украины были приняты в 2009 г. [1].

Проект вновь построенного резервуара выполнен в соответствии с требованиями норм Украины ВБН В.2.2-58.2-94. Данные нормы распространяются на резервуары для хранения нефти и нефтепродуктов, которые строятся на территории Украины. Повышенная экологическая безопасность резервуара обеспечивается применением конструкции типа «стакан в стакане». Это два стальных сварных резервуара, каждый из которых имеет свою стенку, днище и крышу. Геометрические размеры резервуара: внутренний (основной) резервуар: высота стенки 5,96 м, внутренний диаметр 6,63 м; внешний (защитный) резервуар: высота стенки 6,58 м, внутренний диаметр 6,96 м. Расстояние между стенками 160 мм. Материал всех конструкций сталь ВСт5пс. Толщина стенки и днища основного резервуара 5 мм. Толщина стенки защитного резервуара 5 мм и днища 8 мм. Внутренний резервуар предназначен для постоянного хранения дизельного топлива. Внешний резервуар является аварийным. При нарушении непроницаемости стенки или днища основного резервуара внешний резервуар должен локализовать разлив дизельного топлива в своих пределах. После этого из внешнего резервуара топливо должно быть перекачено в запасную емкость, весь резервуар выведен на огневые работы с возможностью нахождения людей внутри емкости, выявления повреждений и их причин и выполнения необходимого ремонта. После выполнения гидравлического испытания в установленном порядке двустенный резервуар сдается в эксплуатацию для дальнейшего хранения дизельного топлива. Принятая схема восстановления работоспособности рассматриваемого резервуара исходит из наличия в рабочем состоянии продуктопровода для перекачки дизельного топлива в запасную емкость. Защита от коррозии предусмотрена утолщением днища внешнего резервуара — 8 мм и нанесением на днище и нижний пояс стенки основного резервуара защитного покрытия, стойкого к дизельному топливу. Вопрос применения пескоструйной очистки поверхности стенки и днища и нанесения более стойких покрытий проектом не рассматривался. При строительстве резервуара допущены отступления от проекта — не смонтированы два люка-лаза диаметром 500 мм в нижнем поясе стенки и внесены изменения в схему подачи топлива в емкость.

После 10 лет эксплуатации, в соответствии с действующим стандартом Украины [2], ГП



Рис. 2. Общий вид устройства основания резервуара РВС-200 «ОКТЬ ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ», на договорной основе с Национальным антарктическим научным центром Украины, выполнено в январе-марте 2016 г. полное техническое диагностирование рассматриваемого резервуара РВС-200.

Цель работы:

- на основе результатов, полученных при полном обследовании резервуара инструментальными и расчетными средствами, подготовить выводы относительно соответствия конструкций и работоспособности резервуара РВС-200 нормам Украины [3; 4];
- разработать конкретные предложения по приведению резервуара РВС-200 к требованиям действующих норм относительно надежности и конструктивной безопасности.

Результаты технического диагностирования подробно изложены в отчете по договору [5] и в публикации [6].

*Фундамент резервуара.* Резервуар построен на монолитном скалистом основании, что представляет собой характерную поверхность острова Галиндез. Основание резервуара выполнено в виде двухъярусной системы балок (рис. 2). Ниж-



Рис. 3. Общий вид вертикальных сварных швов на внутренней поверхности стенки основного резервуара

ний ярус состоит из семи параллельных железобетонных балок высотой 650 мм, шириной внизу 460 и вверху 330 мм. Балки крепятся к основанию анкерами. Анкера закреплены в пробуренных в скале шпурах и приварены к арматуре балок. Расстояние между балками в осях 1,20 м. Верхний ярус балок состоит из 15 стальных балок (двутавр № 14), которые приварены к закладным деталям на верхней поверхности нижних балок. Расстояние между балками в осях приблизительно 0,41 м. На верхние балки опирается днище внешнего резервуара. Согласно проекту, на днище внешнего резервуара уложены деревянные балки (бруски сечением 100×100 мм) с шагом 300 мм. Нижнее днище сверху и снизу, а также деревянные и стальные балки недоступны для визуального осмотра и инструментального контроля. На деревянных балках лежит днище основного резервуара. Существующая конструкция основания резервуара фактически исключает просадку внешнего и внутреннего днища резервуара. По замерам максимальное отклонение контура внешнего и внутреннего днища равно 6 мм. Есть замечания относительно мелкого ремонта железобетонных балок и ежегодного осмотра и выполнения работ по недопущению коррозии арматуры нижних балок, стальных анкеров и балок верхнего яруса.

**Техническое состояние внешнего резервуара.** Стенка внешнего резервуара. Стенка смонтирована из отдельных, предварительно завальцованных на радиус резервуара, листов 3,0×1,5 м, толщиной 5 мм, что соответствует проекту. Размер листа во многом диктовался условиями перевозки, особенно от корабля до причала базы, выгрузки на причал и монтажом имеющимися механизмами. Отклонение стенки от вертикали составляет: наружу +22 мм, вовнутрь –26 мм, что не превышает нормативные допуски. Все сварные соединения выполнены с наружной стороны без подварки корня шва, что объясняется монтажом наружной стенки после монтажа внутренней. Осмотр и замеры сварных соединений в процессе их обследования показали, что состояние швов удовлетворительное [5]. При конструктивной толщине стенки 5 мм и трехкратному запасу прочности по расчетным кольцевым напряжениям, односторонняя сварка обеспечивает достаточную прочность вертикальных и горизонтальных швов. Важно и то, что внешняя стенка нагружается только при аварийной ситуации, когда нарушается целостность внутреннего (основного) резервуара. Это исключает ее циклическое нагружение. Имеющиеся в швах отклонения от стандартов не влияют на работоспособность сварных соединений.

*Днище внешнего резервуара.* Оценка днища выполнена по результатам осмотра и замеров тол-

щины выступающей части днища (окраек). Толщина днища равна 7,5...7,8 мм. В днище варен патрубков для слива конденсата из межстенного пространства. Патрубок выведен в пространство между железобетонными балками и заканчивается вентилем. По данным работы [5] нижнее днище является работоспособным.

Расчет на статическую прочность стенки внешнего резервуара показал, что расчетные напряжения в первом (снизу) и во втором поясах составляют 45 и 35 МПа, что в 4-5 раз меньше допустимых значений для стали ВСт5пс, равных 147 и 171 МПа [5]. Расчет подтверждает, что толщины приняты конструктивно как минимально допустимые по нормам для данной емкости. Отметим, что под нагрузкой внешний резервуар может быть только при его гидравлическом испытании и при повреждении основного (внутреннего) резервуара с вытеканием из него хранимого дизельного топлива. Состояние стенки отвечает требованиям проекта.

**Техническое состояние внутреннего (основного) резервуара.** Внутренний резервуар предназначен для постоянного хранения дизельного топлива. Соответственно в его стенку варенный трубопровод для отбора дизельного топлива из резервуара, на крыше установлена дыхательная арматура. Внутренняя поверхность днища и стенки постоянно контактирует с продуктом хранения. Люки в нижнем поясе для доступа вовнутрь резервуара для осмотра конструкций техническим персоналом отсутствуют. Доступ в резервуар возможен только через верхний световой люк и вертикальную лестницу-стремянку у стенки. Отметим, что при отсутствии открытых люков пребывание человека в резервуаре запрещено.

*Стенка внутреннего резервуара.* Стенка смонтирована из отдельных, предварительно завальцованных листов, аналогично наружной стенке. Геометрическая форма стенки отвечает требованиям норм. На поверхности отсутствуют вмятины и выпуклости. Отклонение образующих от вертикали составляет +38 и –31 мм, разность отметок наружного контура не превышает 6 мм [5]. Вертикальные и горизонтальные сварные соединения выполнены двусторонними стыковыми швами с полным проплавлением. Обнаруженные отдельные отклонения формы валиков швов, подрезы и смещения кромок до 1 мм (рис. 3) не влияют на работоспособность сварных соединений. Толщина стенки 5 мм назначена из условия минимально нормативно допустимой толщины для данной емкости, что подтверждено расчетом внешнего резервуара [5].

*Днище резервуара.* Днище внутреннего резервуара изготовлено из отдельных листов. Сна-

чала листы сваривались в пять мерных полос с учетом диаметра резервуара. После сварки поперечных швов на верхней стороне, полосы кантовали и выполняли сварку швов с обратной стороны. При толщине днища 5 мм принятая технология обеспечивала непроницаемость швов. Затем мерные полосы затягивали на бруски с нахлестом по длинным сторонам и сваривали между собой внахлест. Можно предположить, что по данной технологии было изготовлено и нижнее днище. Выполненные визуальный осмотр всей поверхности днища и вакуумный контроль всех сварных его соединений подтвердили непроницаемость днища. Более подробно техническое состояние днища изложено в [6]. В днище есть патрубок системы удаления подтоварной воды и чистки резервуара. Патрубок проходит через два днища в пространство между железобетонными балками и заканчивается вентилем.

**Крыша резервуара.** Каждый резервуар (внешний и внутренний) имеет свою сварную коническую балочную крышу. Между крышами просвет около 300 мм. Каждая крыша монтировалась из двух щитов, собранных внизу. Настил каждой крыши по периметру приварен сплошным швом к окантовочному уголку на внешней и внутренней стенке. Толщина настила равна 4 мм, что соответствует проекту. Все патрубки люков и клапанов проходят через настил обеих крыш с приваркой к ним по контуру. Общий вид крыши резервуара показан на рис. 4. На поверхности крыши отсутствуют недопустимые дефекты в виде прогибов и изломов от снеговой нагрузки. Поверхность имеющихся отдельных вмятин, с отсутствием на них слоя краски, подвержена мелкой атмосферной коррозии глубиной 0,2...0,3 мм. Состояние крыши работоспособно.

**Коррозионные повреждения резервуара.** При общем технически удовлетворительном состоянии металлоконструкций рассматриваемого резервуара (статическая прочность и устойчивость), надежность резервуара определяется величиной коррозионных повреждений основных несущих



Рис. 4. Общий вид крыши резервуара РВС-200

конструкций. Выполненное диагностирование резервуара показало, что больше всего поражены коррозией днище внутреннего резервуара и нижняя внутренняя поверхность его стенки на высоту до 300 мм. Это зона скопления отстойной воды и различных солевых отложений: сульфидов, хлоридов и др. Отдельные участки днища, в основном примыкающие к сварным швам, имеют протяженные язвенные повреждения. Язвенные повреждения сосредоточены участками площадью 10...20 см<sup>2</sup> при глубине до 2,0 мм. Повреждение примыкающей к днищу стенки носит более равномерный характер с глубиной отдельных язв до 1...1,5 мм. Имеющиеся коррозионные повреждения показывают, что состояние поверхности основного днища и нижней части внутренней стенки будут определять расчетный срок службы резервуара. При этом надо учесть, что при коррозионном повреждении в отдельных местах на глубину 50 % и более толщины, днище подлежит замене [7].

**Поиск оптимального варианта защиты от коррозии резервуара РВС-200 в условиях Антарктиды.** По классификации норм Украины [1], данный резервуар РВС-200 с дизельным топливом, при расположении его в Антарктиде, относится к классу ответственности ССЗ как биологически опасный объект. Срок эксплуатации такого резервуара должен составлять не менее 40 лет. Принятый срок в данном случае имеет и другое обоснование. Очень высокая стоимость доставки конструкций и рабочей силы на место монтажа, отсутствие на месте какой-либо ремонтной базы и требования к безотказной работе резервуара также диктуют необходимость в максимально длительном сроке службы. В обычных условиях на «большой земле» это достигается применением покрытий на эпоксидной основе, плазменным напылением цинка, базальтовым покрытием и рядом других. Все перечисленные покрытия требуют очистки поверхности до стального блеска до класса Sa 3 по ISO 8501.

С учетом малых объемов работ, доставка в Антарктиду комплекта оборудования в оба конца, песка, компонентов покрытия и рабочих будет превышать стоимость самого резервуара. Многократно засвидетельствовано в Украине и в других странах, что фактический срок службы перечисленных покрытий не превышает 12 лет (при нормативном сроке 10 лет [4]).

С учетом уже прошедших 10 лет эксплуатации резервуара, к достижению срока службы 40 лет необходимо будет три раза обновлять покрытие, с выполнением каждый раз его пескоструйной зачистки. Логичный вывод — в таких условиях необходимо неординарное решение по повышению срока службы данного резервуара, нужен принци-

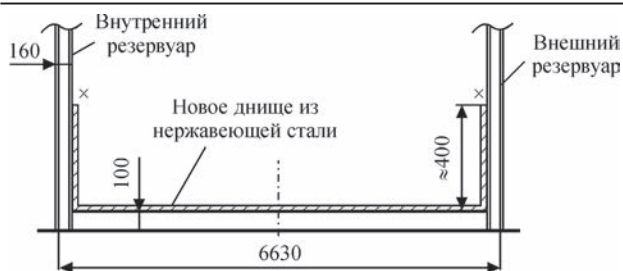


Рис. 5. Схема конструктивного решения по защите внутреннего дна от коррозии

пиально другой подход для гарантирования требуемого срока.

Как один из вариантов, предлагается устройство на днище внутреннего резервуара нового днища со стенкой высотой до 400 мм (рис. 5). Днище и стенка выполняются сварными, из листов нержавеющей аустенитной стали толщиной 3 мм. Листы оптимальных размеров укладываются и свариваются на существующее днище без особой его зачистки. Затем собирается и выполняется сварка листов стенки между собой и по всему верхнему периметру к стенке внутреннего резервуара. Все работы должны выполняться по проекту. Фактически будет выполнена полная непроницаемая облицовка нижней поверхности основного резервуара, которая подвергается активной коррозии. Предлагаемое решение гарантирует безремонтный срок работоспособности днища не менее 40 лет.

### Выводы

1. Проект резервуара РВС-200 и его строительство выполнены с неполным учетом особенностей расположения и длительной эксплуатации резервуара на станции «Академик Вернадский». Реализация выводов и рекомендаций по дальнейшей эксплуатации резервуара, изложенных в отчете [5] и настоящей публикации, позволит обеспечить требуемую надежность при его эксплуатации.

2. Техническое состояние резервуара РВС-200 на момент обследования отвечает требованиям норм Украины ВБН В.2.2-58.2-94 относительно статической прочности и устойчивости, с учетом которых выполнен проект и строительство. Внутренний (основной) резервуар имеет недопустимые коррозионные повреждения днища, что требует выполнения в течение 2...3 лет решений по защите от коррозии днища и нижней части его стенки с учетом расчетного срока эксплуатации, равным 40 лет. Считаем, что одним из таких решений может быть предлагаемое в данной публикации устройство дополнительного защитного днища и части стенки из нержавеющей аустенитной стали.

3. Допущенные при строительстве резервуара РВС-200 отклонения от проекта не позволяют выполнять его техническое обслуживание в период эксплуатации с соблюдением принятых правил техники безопасности. В течение ближайших 2-3 лет надо привести резервуар к требованиям проекта.

1. ДБН В.1.2-14-2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 32 с.
2. ДСТУ-Н Б А.3.-10:2008. Настанова з проведення технічного діагностування вертикальних сталевих резервуарів.
3. ВБН В.2.2-94. Резервуари вертикальні сталеві для зберігання нафти та нафтопродуктів.
4. ДСТУ Б В.2.6-183:2011. Резервуари вертикальні циліндричні сталеві для нафти та нафтопродуктів.
5. Технічний звіт (експертний висновок) про технічний стан резервуара РВС-200, встановленого на українській антарктичній станції «Академік Вернадський». – К.: ДП «ДКТБ ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАНУ», 2016. – 59 с.
6. Посипайко Ю. М. Дефектоскопія в Антарктиці: Технічне діагностування резервуара РВС-200 на українській антарктичній станції «Академік Вернадський» // Техн. діагностика і неразруш. контроль. – 2016. – № 4. – С. 46–51.
7. Правила технической эксплуатации резервуаров и инструкции по их ремонту. – М.: Недра, 1988. – 264 с.

Г. В. Жук<sup>1</sup>, І. В. Мороз<sup>2</sup>, А. Ю. Барвінок<sup>3</sup>,  
Ю. П. Барвінок<sup>3</sup>, Ю. М. Посипайко<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ДП «ДКТБ ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАНУ».  
03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 15.  
E-mail: oktbpaton@gmail.com

<sup>2</sup>Національний антарктичний науковий центр.  
01601, м. Київ, б-р Тараса Шевченка, 16.  
E-mail: uac@uac.gov.ua

<sup>3</sup>ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України.  
03680, м. Київ-150, вул. Казимира Малевича, 11.  
E-mail: office@paton.kiev.ua

### ОСОБЛИВОСТІ БУДІВНИЦТВА ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ РЕЗЕРВУАРА РВС-200 ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА В АНТАРКТИДІ НА СТАНЦІЇ «АКАДЕМІК ВЕРНАДСЬКИЙ»

Наведено аналіз матеріалів експертного обстеження зварного резервуару РВС-200 для дизельного палива на українській антарктичній станції «Академік Вернадський», виконаного ДП «ДКТБ ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАНУ». Показано, що по регіону розташування резервуар місткістю всього 200 м<sup>3</sup> переходить по відповідальності у вищий клас — СС3 з встановленим терміном експлуатації не менше 40 років. У цих умовах вимоги до екологічної чистоти об'єкта і навколишнього середовища, при повній ізоляції і обмежених можливостях ремонту, зумовлюють необхідність неординарних конструктивних рішень по забезпеченню безремонтного терміну експлуатації. Дано конкретні технічні рішення розглянутого питання. Бібліогр. 7, рис. 5.

*Ключові слова:* зварний резервуар, вищий клас відповідальності СС3, корозійні пошкодження, нержавіюча аустенітна сталь, захист від корозії

Поступила в редакцію 18.01.2017