

УДК 620.186.6

НАДЕЖНОСТЬ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РЕЗЕРВУАРОВ С ДИЗЕЛЬНЫМ ТОПЛИВОМ В УСЛОВИЯХ АНТАРКТИКИ

Н.И. Бурау¹, Ю.Г. Жуковский¹, Д.В. Шевчук¹, А.В. Кузько²

¹*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», пр. Победы, 37, г. Киев, 03056, +38(044)406-85-02, bureau@pson.ntu-kpi.kiev.ua*

²*Национальный антарктический научный центр, бул. Шевченко, 16, г. Киев, 01601, +38(044) 246-38-80, uackuzko@mon.gov.ua*

На примере резервуара с дизельным топливом и системы трубопроводов на Украинской антарктической станции Академик Вернадский проведены исследования угроз и рисков, которым в процессе длительной эксплуатации они подвергаются в условиях Антарктики. Показано, что резервуары и трубопроводы являются самыми опасными объектами для окружающей природной среды. Исследованы наиболее опасные воздействия на резервуары со стороны внешней среды. Для надежной эксплуатации резервуаров и трубопроводов топливно-энергетического комплекса станции, оперативного определения их текущего технического состояния и прогноза его изменения в будущем предлагается установить на новом резервуаре автоматизированный комплекс измерительной аппаратуры. Комплекс разработан на основе последних достижений в областях приборостроения, информационных систем и вычислительной техники.

Надійність металевих резервуарів з дизельним паливом в умовах Антарктики.

Н.І. Бурау, Ю.Г. Жуковський, Д.В. Шевчук, О.В. Кузько

Реферат. На прикладі резервуару з дизельним паливом і системи трубопроводів на Українській антарктичній станції Академік Вернадський проведено дослідження загроз і ризиків, яким у процесі тривалої експлуатації вони піддаються в умовах Антарктики. Показано, що резервуари й трубопроводи є найнебезпечнішими об'єктами для навколишнього природного середовища. Досліджено найбільш небезпечні впливи на резервуари з боку зовнішнього середовища. Для надійної експлуатації резервуарів і трубопроводів паливно-енергетичного комплексу станції, оперативного визначення їх поточного технічного стану та прогнозу його зміни в майбутньому пропонується встановити на новому резервуарі автоматизований комплекс вимірювальної апаратури. Комплекс розроблений на основі останніх досягнень у галузях приладобудування, інформаційних систем та обчислювальної техніки.

Reliability of the metal reservoirs with the diesel fuel in the Antarctic conditions.

N.I. Bouraou, Y.G. Zukovsky, D.V. Shevchuk, O.V. Kuzko

Abstract. The threats and risks were investigated which faced during prolonged use they are in the Antarctic on the example of the reservoir with the diesel fuel and piping system at the Ukrainian Antarctic Vernadsky Station. It is shown that the reservoirs and pipelines are the most dangerous objects for the environment. The most dangerous effects were studied on reservoirs from the environment. The automated complex instrumentation is proposed to install for reliable operation of the fuel new reservoir and pipelines of the power station complex, for the operational definition of their current condition and forecast its future changes. The complex has being developed on the basis of the latest achievements in the fields of instrumentation, information systems and computer technology.

Key words: the reliability of reservoirs and pipelines in Antarctica, the threats and risks for the environment, the automated diagnostic complex.

1. Введение

Безопасная эксплуатация резервуаров с дизельным топливом в условиях Антарктики имеет большое экологическое, социальное и политическое значение. Существующие в настоящее время международные соглашения по Антарктике [1,2], к которым присоединилась Украина, предъявляют к странам-участницам Договора про Антарктику жесткие требования по сохранению окружающей среды [3].

С целью сохранения природной среды в Антарктике принят ряд международных документов, которые регламентируют деятельность стран-участниц исследований в Антарктике и их ответственность за экологическую безопасность. Международные антарктические организации разработали ряд документов [32–37], которые регламентируют меры для обеспечения экологической безопасности на антарктических станциях и требуют отчетов по принятым мерам. В этих документах особое внимание уделяется мероприятиям по обращению и хранению нефтепродуктов, мерам по ограничению районов аварии и по ликвидации их последствий. Деятельность Украины в Антарктике подчинена строгому выполнению решений как международных антарктических организаций, так и национального законодательства [4] по обеспечению сохранения окружающей среды, и в первую очередь от загрязнения нефтепродуктами. Обеспечить эти требования можно лишь при условии безаварийной эксплуатации резервуаров и трубопроводов.

Для хранения дизельного топлива на станции Академик Вернадский имеются два резервуара: старый – на 160 куб. метров и новый, введенный в эксплуатацию в 2007 году, объемом 200 кубических метров (рис. 1). Имеются два расходных бака объемом по 6 кубических метров – один в дизель-агрегатной, а второй возле жилого корпуса с наружной стороны. Имеется также система трубопроводов, которая соединяет указанные объекты. Вот эта система и должна на протяжении длительного времени надежно выполнять свои функции. Отсюда следует, что надежность резервуаров и трубопроводов – это свойство их конструкций выполнять функции транспортировки, приема, хранения и отбора топлива при заданных параметрах в течение длительного времени.



Рис. 1. УАС Академик Вернадский. Новый топливный резервуар на 200 куб.м.

Мировое сообщество большое внимание уделяет экологии Антарктики. В то же время с каждым годом экологическая ситуация в Антарктике изменяется в худшую сторону. Растет число антарктических станций и их персонала, продолжает увеличиваться число туристов, стареет оборудование на существующих антарктических станциях. Вся деятельность человека в Антарктике связана с потреблением энергии, а ее источником в основном являются нефтепродукты. Они же являются основной угрозой для окружающей природной среды. Несмотря на жесткие международные правила по охране и недопущению загрязнения окружающей среды в Антарктике, на отдельных станциях зафиксированы случаи разлива дизельного топлива [5], которые становятся предметом анализа специалистов для разработки мер предупреждения таких случаев.

2. Актуальность проблемы

Дизельное топливо на антарктических станциях всех стран-участниц Договора про Антарктику хранится в металлических резервуарах, его запасы регулярно пополняются в период навигации. Хранение дизельного топлива в условиях Антарктики связано с большими рисками по ряду причин. Это прежде всего суровые природные условия, когда под действием физических и химических факторов износ стенок и днища резервуаров происходит гораздо быстрее, чем, например, в средних широтах. Дизельное топливо относится к жидкостям средней агрессивности [6], и его контакт со стенками и днищем резервуара вызывает процесс коррозии. Несоблюдение сроков диагностических и ремонтных работ усугубляют этот процесс, делая его порой необратимым. Для устранения контакта с дизельным топливом стенки и днище резервуаров обрабатывают специальным покрытием, однако в условиях Антарктики оно не всегда бывает качественным, и при этом изготовитель покрытия гарантирует его эффективность в течение не более 10 лет [7].

Металлические сварные резервуары с дизельным топливом относятся к основным системам жизнеобеспечения в условиях Антарктики и являются главным звеном в топливно-энергетическом комплексе антарктических станций.

Резервуары с дизельным топливом относятся к объектам повышенной пожарной опасности и являются одними из основных потенциально опасных объектов, угрожающих окружающей среде. На новом цилиндрическом резервуаре с дизельным топливом на антарктической станции Академик Вернадский за период эксплуатации с 2007 г. профилактические и ремонтные работы не проводились, что является нарушением существующих регламентирующих документов [8]. Объяснить это можно тем, что на станции не было резервного резервуара, куда можно было бы перекачать остатки топлива из нового резервуара. С введением в эксплуатацию старого резервуара появилась возможность в ближайшее время подготовить новый цилиндрический резервуар к проверке его технического состояния и к профилактическому ремонту. Эти мероприятия необходимо срочно выполнить в ближайшее время.

О важности и необходимости выполнения профилактических работ на новом цилиндрическом резервуаре свидетельствует мировая статистика об авариях и разрушениях стальных сварных резервуаров [9].

Опыт эксплуатации резервуаров с нефтепродуктами [9, 10] свидетельствует о необходимости ужесточения требований к их безопасности для жизни и здоровья людей и окружающей среды, а также о необходимости планирования мероприятий и действий персонала станции в случае аварии или ее угрозы. Персонал станции должен быть готов к локализации аварии, знать, как и при помощи каких средств ликвидировать ее причины и последствия.

Обеспечение эксплуатационной надежности резервуаров базируется на выполнении следующих критериев [11]:

- работоспособности резервуара;
- безотказности работы резервуара;

- долговечности резервуара;
- ремонтпригодности.

Основные факторы, обеспечивающие надежность и долговечность резервуаров и трубопроводов, это:

- состояние фундаментов и оснований;
- качество изготовления заводских материалов и комплектующих;
- контроль при выполнении и приемке монтажных работ;
- соблюдение сроков профилактических и ремонтных работ (текущих и капитальных);
- проведение, в соответствии с регламентирующими документами, диагностических работ;
- строгое соблюдение правил противопожарной безопасности, техники безопасности и охраны труда.

Кроме того, должны быть выполнены следующие первоочередные мероприятия, направленные на обеспечение эксплуатационной надежности резервуаров и трубопроводов:

- разработка технической документации на резервуары и трубопроводы, которая соответствовала бы реальной конструкции резервуаров и трубопроводов на станции;
- разработка правил, инструкций по эксплуатации, графиков по выполнению регламентных, профилактических и диагностических работ.

Одним из важнейших факторов повышения надежности, а следовательно и экологической безопасности, является внедрение методов и средств комплексного автоматизированного диагностирования резервуаров и трубопроводов [12]. Современные достижения в области средств неразрушающего контроля позволяют оснастить резервуары и трубопроводы современными измерительными датчиками, системами сбора и передачи информации об их техническом состоянии.

3. Анализ аварий металлических резервуаров с нефтепродуктами

Основными источниками развития дефектов стальных резервуаров для хранения нефтепродуктов являются зарождающиеся зоны концентрации напряжений, в которых неблагоприятные для конструкции процессы в виде пластической деформации, нарушений цельности металла, коррозии и др. протекают наиболее интенсивно [13, 14].

Статистические данные [9, 15, 16] свидетельствуют о следующих причинах, вызвавших аварии резервуаров: проектные, заводские, монтажные и эксплуатационные. Соответственно их «вклад» в общее число аварий представлен в процентах приблизительно следующими значениями: 10–13–63–14. Эксплуатационные причины аварий можно представить как воздействия внешней среды и нарушение правил эксплуатации со стороны персонала, которые можно разделить поровну. Особую тревогу вызывают данные о преобладающей доле в причинах аварий монтажных работ, причем дефекты сварочных работ в них – более 70%.

Причинами аварий резервуаров являются [17, 18]:

- наличие дефектов в материале конструкции резервуара;
- нарушения требований проектной документации в результате выполнения монтажных работ;
- воздействие внешней среды;
- ошибки в проектной документации;
- несоблюдение режимов эксплуатации;
- несоблюдение правил техники безопасности.

4. Анализ угроз и рисков в условиях Антарктики

Оборудование, используемое для хранения и транспортировки нефтепродуктов в условиях Антарктики и эксплуатируемое при низких температурах и больших динамических

нагрузках, потенциально опасно и является источником угроз и рисков. В связи с этим очень важно определять научно обоснованными методами их текущее техническое состояние и возможность дальнейшей безопасной эксплуатации на протяжении определенного времени. Сущность технической диагностики, как научно-технической отрасли, составляют теория, методы и средства поиска и обнаружения дефектов объектов. Она охватывает все методы и средства неразрушающего контроля [19].

Среди угроз и рисков, сопровождающих эксплуатацию резервуаров в условиях Антарктики, выделим основные:

- коррозионный износ днища и стенок в районе уторного шва внутри резервуара в среде подтоварной воды;
- усталость металла, образование трещин в сварных швах и расслоения металла из-за знакопеременных нагрузок и вибрации на элементах конструкции резервуара;
- снижение уровня пластичности металла вследствие низких температур;
- нарушение формы резервуара и днища вследствие действия динамических нагрузок.

Статистические данные свидетельствуют [10] о следующих причинах аварий резервуаров: проектные, заводские, монтажные и эксплуатационные. Величина припуска толщины металла на коррозию определяется агрессивностью хранимого в резервуаре продукта. Дизельное топливо – среднеагрессивная жидкость. Согласно справочным данным, дизельное топливо уменьшает толщину стенки и днища резервуара для стали марки Ст.3кп2 приблизительно на 0,1 мм в год. Для предотвращения коррозии внутренние стенки резервуаров покрывают защитным слоем. Однако гарантия на защитный слой не превышает 10 лет. Климат Антарктики с ее постоянно высокой влажностью затрудняет гарантированно качественно выполнить защитное покрытие. Достаточно небольших изъянов в покрытии, чтобы дизельное топливо вступило в контакт с металлом, и тогда под защитным покрытием развивается очаговая коррозия [20].

Новый резервуар на Украинской антарктической станции Академик Вернадский эксплуатируется в режиме от полного наполнения раз в год в период навигации и постепенным расходом топлива до следующего наполнения. При этом давление на днище и стенки резервуара изменяется от максимального до минимального, а это, в свою очередь, изменяет напряженно-деформированное состояние резервуара в целом. Такие малоциклические нагрузки вызывают усталость металла [11], которая сопровождается возникновением и развитием трещин, в первую очередь в сварных швах.

В соответствии с положениями линейной механики [21] процедура определения условий роста трещин предусматривает расчет коэффициентов интенсивности напряжений вдоль края трещины при известных нагрузках. Определение остаточного ресурса металлической конструкции с обнаруженной трещиной проводится с учетом ее форм и размера и места расположения.

Коррозионно-усталостные трещины имеют жесткую привязку к концентраторам напряжений в первую очередь в районах сварных швов, царапин, вмятин и других дефектов на корпусе. Этот процесс усугубляется наличием вибрации, которая возникает из-за турбулентности обтекающего резервуар ветрового потока.

Механические и электрофизические свойства металлов взаимосвязаны на уровне кристаллической решетки. Деформация кристаллической структуры, зарождение и развитие дефектов сопровождаются изменением механических и электрофизических свойств металла [22]. Величина и характер этих изменений существенно влияют на физико-механические и электрохимические свойства металла, вызывая значительные отклонения параметров от их исходного состояния. Это может привести к материально-техническим потерям из-за преждевременного выхода из строя металлического оборудования и необходимости его замены еще до выработки нормативного срока эксплуатации. Особенно интенсивно изменение структуры металла, включающее в себя чередование стадий деформационного упрочнения и разупрочнения, происходит при действии переменных нагрузок, причем эти изменения

отличаются сложностью протекания. Этот факт по общепринятой оценке усталостной долговечности не учитывается, поэтому при определении усталостной долговечности металла необходимо тщательно вести учет состояния их тонкой структуры в течение всего времени эксплуатации [22]

Известные методики поверочного расчета на прочность [23], используемые при оценке ресурса резервуаров и трубопроводов, условно можно разделить на несколько групп:

- расчет на скорость коррозии металла;
- расчет трещиностойкости металла;
- расчет на усталость металла;
- расчет влияния низких температур на пластичность металла;
- расчет на надежность узлов и дополнительного оборудования.

Анализ указанных методов контроля и измерения напряжений в металле и в сварных соединениях показывает, что при их выполнении многие изменения в структуре металла определить невозможно. Поэтому только комплексные инструментальные измерения дадут более точные данные о структурных изменениях в металле уже на стадии возникновения дефектов [24].

Время надежной службы резервуара до полного физического или морального износа (с учетом ремонтов) называется долговечностью, которая тесно связана с надежностью. Различают три принципа гарантии надежности [24]:

- вероятностная гарантия, при которой допускается определенный уровень отказов в течение срока эксплуатации;
- полная гарантия, когда надежность пытаются свести к единице;
- вероятность полной гарантии, при которой до определенного уровня нагрузки надежность равна единице. При вероятностной гарантии отказ рассматривается как закономерное явление, а при полной – как катастрофа.

Выносливость материала принято характеризовать экспериментальной кривой усталости, выражающей зависимость разрушающего числа циклов изменения нагрузки от амплитуды переменных напряжений. Следует здесь отметить, что в условиях северных областей РФ наблюдались случаи, когда резервуары разрушались на седьмом цикле загрузки [25].

Изменение показателей выносливости при действии переменных нагрузок называется усталостным разрушением резервуара.

Переменную ветровую нагрузку на резервуары в условиях Антарктики можно рассматривать как совокупность следующих факторов:

- нормального давления, приложенного к поверхности резервуара и его элементам;
- сил трения, направленных по касательной к внешней поверхности;
- вихревого резонанса.

5. Мероприятия по увеличению надежности резервуаров

Существует несколько методов оценки надежности резервуаров. Один из них основан на анализе статистических данных аварий, произошедших на подобных резервуарах [9]. В этом случае анализируются причины аварий, условия, при которых они произошли, определяются виновные лица.

Другой метод можно назвать расчетно-теоретическим [9, 26]. Производится полный расчет работы всех узлов и деталей резервуара при воздействии заданных нагрузок и внешних возмущений на протяжении определенного срока эксплуатации. Метод важный и необходимый, но применяться он должен на этапе проектирования резервуара. Сюда можно отнести и математическое моделирование – метод, чрезвычайно популярный в настоящее время, который может существенно дополнить и уточнить результаты расчетов. Однако не всегда имеется комплекс достаточно точной информации, которую можно использовать при моделировании.

Наиболее достоверную информацию о техническом состоянии резервуара позволяет получить третий исследовательско-диагностический метод, связанный с периодом эксплуатации резервуара. Задача метода – выяснить существующее техническое состояние резервуара и дать прогноз времени его безопасной эксплуатации при многообразии внешних и внутренних воздействующих факторов. Метод этот надежный и нужный, особенно если не были проведены исследования на основании вышеуказанных методов. Метод требует определенных финансовых и временных затрат на проведение измерений, их обработку и анализ, но достоверность его очень велика.

Физическая основа диагностики – зависимость прочности материала резервуара от скорости и механизма разрушения.

При разнообразии типов дефектов и мест их возникновения невозможно обеспечить достоверный контроль технического состояния резервуара каким-либо одним методом неразрушающего контроля. Поэтому на резервуаре предусматривается установка комплексной системы диагностики. Комплексный диагностический мониторинг базируется на нескольких физических методах неразрушающего контроля, что позволяет более достоверно и в большем объеме обнаруживать дефекты [27].

Потенциально опасными местами внутреннего резервуара являются сварной угорный шов, днище, сварные швы в нижних поясах, сварные швы в местах соединения входных и выходных патрубков.

Поскольку к отказам элементов резервуаров могут приводить различные физико-механические процессы, протекающие на различных масштабных уровнях и с различной скоростью и механизмом воздействия, то при определении надежности и остаточного ресурса необходим учет всего многообразия воздействующих факторов, приводящих к снижению эксплуатационных свойств.

Надежность резервуаров и трубопроводов в значительной мере определяется условиями их эксплуатации, под которыми подразумеваются не только условия внешней среды, но и выполнение требований регламентирующих документов по своевременному производству профилактических, ремонтных, диагностических работ, а также требований техники безопасности.

Пути решения проблемы следующие:

- разработка и внедрение многоуровневых интеллектуально-управляющих систем для решения комплекса задач по диагностированию и предупреждению аварий на резервуарах для хранения нефтепродуктов на базе новых достижений в области приборостроения, информационных технологий и гибкого программного обеспечения;
- разработка и внедрение цифровых баз данных;
- разработка и внедрение автоматизированных систем экологического мониторинга;
- внедрение современных способов связи и телекоммуникаций, разработанных специалистами по обработке и интерпретации полученной информации;
- разработка и внедрение нормативно-технической документации.

Изготовление и внедрение автоматизированной системы диагностики отечественной разработки позволит:

- снизить общие затраты на ее изготовление и использование на резервуарах;
- снизить затраты при эксплуатации резервуаров и трубопроводов за счет достоверной информации о текущем их состоянии и динамике изменения их состояния;
- снизить затраты за счет рационального построения графика профилактических и ремонтных работ.

Важным мероприятием при эксплуатации резервуаров является оценка их технического состояния (ОТС), что предусматривает:

- сбор и анализ всей технической документации на резервуары и трубопроводы;
- анализ материалов предыдущих ремонтов, осмотров, выполненных диагностических работ;

- обследование резервуаров и трубопроводов техническими средствами;
- обработка и анализ результатов выполненных диагностических работ;
- выполнение расчетов с определением ресурса резервуаров и трубопроводов;
- определение перечня и сроков устранения дефектов для обеспечения надежной эксплуатации резервуаров и трубопроводов;
- подготовка отчета по результатам ОТС с выводами и рекомендациями по срокам ремонтных работ и срокам эксплуатации.

Последние десятилетия характеризуются интенсивным развитием таких направлений науки и техники, как электроника, вычислительная техника и информационные системы. Эти достижения позволили значительно усовершенствовать системы диагностики за счет автоматизации процесса съема и обработки измеренной информации. В настоящее время информацию с результатами диагностики можно передавать пользователю в режиме реального времени за тысячи километров. Создание интернет-портала позволит специалистам регулярно получать данные диагностических измерений, создать базу данных, что значительно облегчит осуществление контроля за техническим состоянием резервуаров и в случае необходимости облегчит оперативное принятие решений.

Поэтому для предотвращения разлива топлива и надежной эксплуатации резервуары должны находиться под постоянным наблюдением. Это возможно только при установке на них постоянно функционирующих автоматических диагностических систем [28].

Формируемое в мировой практике новое поколение систем диагностики и мониторинга основано на технологии прогнозного мониторинга со многими переменными и технологиями оптимизации в режиме реального времени. Функции современных систем заключаются в непрерывном контроле изменяющихся во времени параметров и определении тех областей технологического процесса, где требуется особый контроль количественных показателей величин.

Анализ надежности резервуаров и трубопроводов должен проводиться по двум схемам: структурной и факторной [8]. Структурный анализ подразумевает определение надежности отдельных элементов резервуара и осуществление мониторинга отдельных показателей по критериям. В отличие от структурного анализа, факторный анализ характеризуется комплексными показателями надежности и определяет причины изменения надежности. Система диагностики должна реализовывать принцип непрерывного сканирования показателей надежности и сравнивать их с критическими показателями. При достижении контролируемыми факторами критических значений специалисты определяют область и вид технического вмешательства.

Для анализа и поддержания надежности контролируемого резервуара должны быть разработаны соответствующие алгоритмы и гибкое программное обеспечение, которые в режиме on-line позволяют:

- производить оценку показателей надежности каждого элемента резервуара на любом уровне и определять наиболее уязвимые места и элементы;
- определять параметры резервуара, оказывающие наибольшее влияние на его надежность.

Функционирование автоматической системы мониторинга напряженно-деформированного состояния резервуара предусматривает пять основных этапов, на каждом из которых осуществляется группа операций по:

- формированию базы данных, сохранению данных о технологическом состоянии резервуара, определенных при его проектировании и изготовлении;
- записи и обработке результатов измерений и сравнению их с исходными данными, проведению расчета надежности в случае необходимости;
- структурному анализу показателей с целью выявления слабого звена в конструкции и принятия решения о необходимости технического вмешательства;
- факторному анализу показателей для выявления причин снижения надежности и принятия решения для их устранения;

Важнейшими особенностями комплекса являются:

- многоканальность;
- сохранение как самих измеренных сигналов, так и результатов их обработки;
- синхронность записи по всем измерительным каналам;
- широкий диапазон частот и уровней записываемых сигналов;
- универсальность и гибкость программного обеспечения;
- большой объем памяти ПК (не менее 20 Гбайт).

Эти особенности комплекса позволят применять любые известные виды и алгоритмы обработки, а также формировать результаты обработки в наиболее информативном виде.

Большое значение при определении технического состояния резервуара и трубопроводов имеют ручные методы диагностики, такие, как измерение толщины стенок и состояния дефектов сварных швов. Диагностирование в этом случае проводится толщиномерами и дефектоскопами. При этом следует отметить, что автоматизированная система диагностики не исключает применения этих приборов, а наоборот: измерение толщины стенок резервуаров и трубопроводов является дополнительной информацией, позволяющей дать более точный прогноз изменения их технического состояния в будущем.

Диагностирование резервуаров следует проводить в сроки, установленные нормативными документами, и должно носить комплексный характер. Диагностирование бывает частичным и полным. При частичном диагностировании резервуары не выводятся из эксплуатации. Для резервуаров I-го и II-го класса опасности диагностирование проводится через каждые два года. Исходя из объема резервуаров, находящихся в Антарктике, их следует отнести к IV-му классу опасности, а если учитывать место расположения резервуаров и нормы экологической чистоты Антарктики, то класс опасности в этом случае должен быть не ниже II-го. Полное техническое диагностирование должно осуществляться с полной очисткой резервуара от топлива и проводиться не реже, чем через каждые 5-6 лет. При этом очистку резервуара следует проводить каждые два года, поскольку, какого бы качества ни было дизельное топливо, при его хранении на дне резервуара образуется осадок, в состав которого входят пирофортные и высоковязкие отложения, ржавчина и подтоварная вода. Особую опасность для резервуара представляет подтоварная вода, которая образуется за счет конденсации измороси на его внутренних стенках. При положительной температуре изморось тает и скапливается на дне резервуара. Опасность подтоварной воды заключается в том, что она содержит растворенные морские соли, которые в виде «морского тумана» находятся в воздухе. Подтоварная вода является источником образования на днище резервуаров ржавчины, а через заборный патрубок, который находится практически у самого дна, может попасть в расходный бак в дизель-агрегатной и далее в дизеля – с катастрофическими последствиями.

6. Объекты и методика их исследования

На Украинской антарктической станции Академик Вернадский объектами исследования являются резервуары, расходные баки и трубопроводы, входящие в топливно-энергетический комплекс. Для выполнения измерений их механических напряжений, обнаружения трещин и очагов коррозии предлагается использовать автоматизированный комплекс измерительной аппаратуры, состоящий из виброакустической, инклинометрической и тензометрической аппаратуры, а также газоанализатора для контроля наличия паров нефтепродуктов в межбаковом пространстве [28]. Кроме автоматизированного комплекса измерительной аппаратуры, дополнительно предлагается применять для измерений ручные дефектоскоп и толщиномер. Сочетание ручных средств измерения и автоматизированного измерительного комплекса не является дублированием операций, а направлено на получение более достоверного результата.

При создании таких комплексов необходимо применять методы и средства оператив-

ного анализа упомянутых характеристик, алгоритмы, легко реализуемые на малых вычислительных средствах в режиме реального времени.

Известно [29], что характер вибрационных и акустических сигналов имеет случайный характер, они подвержены влиянию различных помех, часто имеют короткое время реализации. Все это предъявляет к методам обработки и анализа оперативности и статистической достоверности высокие требования, которые порой трудно осуществить с помощью традиционных средств анализа.

С надежностью тесно связан такой показатель, как прочность. Прочность резервуаров можно исследовать теоретически, для чего существуют методики, которые можно разбить на группы:

- расчет на скорость коррозии;
- расчет трещиностойкости металла;
- расчет на усталость металла;
- расчет узлов оборудования, работающего в условиях ползучести металла;
- исследование воздействия низких температур на резервуары и трубопроводы.

При эксплуатации резервуаров возникают очень опасные «предефектные» зоны, которые получили название «зоны концентрации напряжений» (ЗКН), когда в металле происходят необратимые изменения и разрушение может произойти в любой момент времени, причем в местах, где оно не ожидается.

Проблема быстрого и достоверного диагностирования особенно актуальна на антарктических станциях. Решение этой проблемы требует применения аппаратуры, которая бы не только максимально упрощала и ускоряла процедуру измерения, но и позволяла на базе полученной информации оперативно определять с помощью программных средств диагностические параметры объекта.

Одним из важных этапов разработки системы технической диагностики являются работы по определению диагностических признаков, объем и информативность которых должны учитывать особенности принятых на стадии проектирования конструкторских решений, качество изготовления и монтажа, опыт эксплуатации объектов-прототипов и условия эксплуатации. По мере сбора статистических данных перечень диагностических признаков должен уточняться и совершенствоваться.

В настоящее время при диагностировании, в том числе и металлических резервуаров с нефтепродуктами, широко применяются виброакустические методы диагностики [30]. Эти методы не требуют больших затрат, несложны при выполнении диагностических работ и весьма эффективны. Результаты частотно-временного анализа, полученные из обработки виброграмм, позволяют определить текущее техническое состояние объекта диагностики и дать заключение о перспективе его изменения. В общем виде виброакустические измерения позволяют создать так называемый вибрационный паспорт объекта.

Такой подход предлагается реализовать на резервуаре с дизельным топливом на станции Академик Вернадский. С целью удешевления и повышения надежности измерительного комплекса он будет состоять из набора выпускаемых промышленностью стандартных датчиков и блоков. Для функционирования комплекса аппаратуры в автоматическом режиме на протяжении длительного времени для него разработано специальное программное обеспечение (ПО), в задачи которого входит последовательность измерений, сбор, преобразование и хранение в базе данных измеренных сигналов. Программное обеспечение позволяет легко изменять параметры опроса датчиков, увеличивать (уменьшать) их число, вносить изменения в процесс обработки сигналов.

Важным процессом при организации мониторинга является обработка и анализ регистрируемых данных. Так как в начальном периоде процесс зарождения дефектов происходит медленно, то очень большое значение уделяется чувствительности датчиков в системе диагностики и возможностям программного обеспечения. Одним из основных методов обработки виброакустических сигналов является спектральный анализ. По измене-

ниям собственной частоты резервуара и его отдельных элементов можно судить об изменении его напряженно-деформированного состояния. Разрабатываемые в настоящее время программные продукты позволяют производить анализ данных в многопараметрическом пространстве с использованием алгоритмов теории распознавания образов [31].

Приоритетной задачей программы вибродиагностики является выявление в элементах конструкции резервуара резонансных колебаний и усталостных трещин. Важность диагностики резонансных процессов определяется тем, что они сопровождаются максимальным уровнем вибрации и динамических напряжений и в большинстве случаев являются первопричиной неисправностей и поломок. Своевременное выявление резонансных колебаний с точным определением их места на резервуаре позволяет принять меры по недопущению его усталостного разрушения.

При обработке результатов измерений возникает проблема выбора начальных условий для запуска алгоритмов оценивания. Это относится ко всем случаям, когда область допустимых начальных условий ограничивает работоспособность данных алгоритмов.

Система мониторинга предусматривает управление по сети передачи данных по интернет-порталу на любые расстояния. Результаты измерений и их анализ размещаются на созданном сайте и доступны соответствующим специалистам.

Разрабатываемый автоматизированный комплекс измерительной аппаратуры предназначен для решения широкого круга задач. Он легко может быть адаптирован к установке на любой другой класс резервуаров, а за счет перестраиваемого программного обеспечения можно увеличивать число датчиков различного функционального назначения.

В комплексе аппаратуры предполагается осуществлять тестовый контроль сигналов с целью проверки их достоверности. Однако, несмотря на возможности современных измерительных и вычислительных средств, детальный анализ и окончательные выводы будут оставаться за специалистами.

Везде, где хранятся нефтепродукты, достаточно высока вероятность аварийной ситуации, предвестником которой является выделение и накопление испарений. В первую очередь это касается стальных резервуаров с двойными стенками. Воздушно-газовая смесь чрезвычайно опасна. Она легко воспламеняется и взрывается. Уже на стадии проектирования резервуара необходимо иметь конкретный план действий на случай срабатывания газосигнализации. При разработке системы газосигнализации необходимо уделить внимание нескольким ключевым моментам:

- каковы цели контроля, какие газы должны контролироваться, какова предположительно концентрация газов, их объем и частота утечек, какие методы отбора проб воздуха;
- какой тип датчика выбрать для обнаружения газа, сколько должно быть датчиков и где их расположить;
- какие должны быть пороги тревог разрабатываемой системы и как реагировать на сигнал тревоги.

При использовании газоанализаторов необходимо учитывать и следующие моменты. Пары горючих жидкостей всегда тяжелее воздуха, они растекаются на уровне днища защитного резервуара. Поэтому или сами газоанализаторы следует размещать как можно ближе к днищу резервуара, или пробы воздуха для газоанализаторов следует брать как можно ближе к днищу резервуара.

Следует отметить еще один момент – наличие у резервуара обваловки. Значение ее наличия чрезвычайно важно, так как в случае аварии на резервуаре обваловка позволяет предотвратить загрязнение окружающей среды и сохранить дизельное топливо. На станции Академик Вернадский обваловку выполнить невозможно в прямом понимании из-за отсутствия грунта. Но там её можно реализовать за счет создания вокруг резервуара железобетонного кольца. Диаметр и высота кольца определяются исходя из полного заполнения резервуара, то есть 200 метров кубических. Чтобы пространство внутри кольца обваловки не заполнялось осадками, оно должно иметь покрытие.

7. Выводы

Современные требования к технологической, экологической и экономической безопасности резервуаров и трубопроводов предполагают применение современных автоматизированных комплексных систем диагностики и мониторинга.

К основным задачам, требующим высокой степени автоматизации, следует отнести непрерывный оперативный мониторинг параметров технического состояния устройств и оборудования, обеспечивающих хранение и перемещение дизельного топлива.

Эксплуатационные и организационные мероприятия, направленные на повышение работоспособности резервуара, должны при его заполнении и опорожнении включать соблюдение регламента работ, обновление антикоррозионных покрытий, соблюдение сроков как текущих, так и капитальных ремонтов. Как отмечалось ранее по поводу значимости контрольно-измерительных работ на резервуарах и трубопроводах, только постоянный контроль функционального состояния может обеспечить их безаварийную эксплуатацию.

Наряду с инструментальными методами диагностики и мониторинга важное место в наблюдениях за резервуарами и трубопроводами занимают органолептические методы контроля. Этот контроль должен осуществляться постоянно, когда дефекты можно обнаружить визуально.

Общий срок надежной службы резервуаров и трубопроводов обеспечивается комплексом мероприятий, начиная с правильного выбора материала, учитывающего температурные, силовые и коррозионные воздействия. При этом определяющая роль в надежности резервуаров принадлежит качеству выполнения сварных работ, поскольку большинство аварий на резервуарах происходит из-за некачественной сварки и последующего разрушения сварных швов в процессе эксплуатации.

Проведение планомерных диагностических работ позволит:

- оперативно доводить до пользователя текущее техническое состояние резервуара;
- обеспечивать пользователя данными о перспективах безопасной эксплуатации резервуара, необходимости ремонта или полного вывода из эксплуатации.

Реализация всего комплекса мероприятий, предложенных выше, позволит минимизировать риски и угрозы аварий во время эксплуатации резервуаров и трубопроводов на станции Академик Вернадский, объективно оценивать интервал времени их безаварийной эксплуатации.

Литература

1. **Постанова Верховної Ради України** «Про приєднання до Договору про Антарктику» № 2609-ХІІ від 17.09.92.
2. **Закон України** № 2284-ІІІ від 22.02.2001 «Про приєднання до Договору про Антарктику Мадридського Протоколу «Про охорону навколишнього середовища»» від 14 червня 1998 р.
3. **An Assessment of Environmental Emergencies Arising from Activities in Antarctica.** Antarctic Treaty Consultative Meeting (ATCM-XXIII), WP 16, 1999.
4. **Закон України** від 18.01.2001 № 2245 – 111 «Про об'єкти підвищеної небезпеки».
5. **COMNAP Accident Incident and Near Miss Reporting (AINMR) System** (<https://www.comnap.aq/membersonly/AINMR/SitePages/Home.aspx>).
6. **ВБН 2.2-58 – 2-94** Резервуари вертикальні сталеві для зберігання нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа [Текст]. – Введ. 04.08.1994. – К.: Держкомнафтогаз України, 1994. с 102–109.
7. **ДСТУ ISO 17637: 2003** Неруйнівний контроль зварних швів. Візуальний контроль з'єднань, виконаних зварюванням плавленням [Текст]. – Введ. 01.07.2004. – К.: Держспоживстандарт України, 2004 г.

8. **РД 08-95-95-2001.** Положение о системе технического диагностирования сварных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов [Текст]. – Введ. 01.09.1995. – М.: ГУП «НТЦ Промышленная безопасность». – Сер. 08, вып. 1, с. 45.
9. **Кондрашова С.Г.** Причинно-следственный анализ аварий вертикальных стальных резервуаров / С.Г. Кондрашова, М.Н. Назаров // Нефтегазовое дело. – 2004. – С. 8–15.
10. **Швырков С.А.** Анализ статистических данных разрушений резервуаров / С.Г. Кондрашова, М.Н. Назаров // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – 1996. – Вып. 5. – С. 39–5011.
11. **Розенштейн И.М.** Аварии и надежность стальных резервуаров / И.М. Розенштейн. – М.: Недра, 1995. – с. 253.
12. **Биргер И.А.** Техническая диагностика / И.А. Биргер. – М.: Машиностроение, 1978. – С. 239.
13. **Аварии резервуаров** и способы их предупреждения: научно-техническое издание / В.Б. Галеев, Д.Ю. Гарин, О.А. Закиров и др. Под ред. проф. Галеева В.Б. и Шарафиева Р.Г. – Уфа ГУП. «Уфимский полиграфкомбинат», 2004. – С. 164.
14. **Монбаева Г.Ч.** Анализ формирования отказов резервуаров / Г.Ч. Монбаева, В.А. Прохоров // Контроль. Диагностика. – 1998. – № 1. – С. 17–21.
15. **Лайков О.Н. и др.** Оценка технического состояния эксплуатирующихся стальных вертикальных резервуаров // Транспорт и хранение нефтепродуктов. – 1976. – № 12. – С. 12–15.
16. **Макаренко О.А., Кравцов В.В., Ибрагимов И.Г.** Ресурс стальных резервуаров / М.: Недра, 2008. – С. 190.
17. **Баширова Э.М., Свободина Н.И.** Оценка текущего состояния металла нефтегазового оборудования с помощью параметров передаточной функции // Нефтегазовое дело. – 2004. – С. 1-16.
18. **Землянский А.А., Вертыньски О.С.** Опыт выявления дефектов и трещин в крупноразмерных резервуарах для хранения нефтепродуктов // Magazine of Civil Engineering. – 2001. – С. 40–44.
19. **ДСТУ БВ. 2.6–25 – 2003.** Автоматизированные системы технического диагностирования строительных конструкций. Общие технические требования [Текст]. – Введ. 24.01.2003. – К.: Госстрой Украины, 2003. – С. 25
20. **Егоров Е.А., Фоменко Д.С.** Прогноз изменения прочностных характеристик основного металла и сварных соединений стальных резервуаров, подверженных коррозии. К.: УкрНИИНТИ, 1987. – С. 23.
21. **Троицкий В.А.** Краткое пособие по контролю качества сварных соединений. К.: И/С им. Е.О. Патона, 1997. – С. 204.
22. **Старцев В.И., Ильчев В.Я., Пустовалов В.В.** Пластичность и прочность металлов при низких температурах. – М.: Металлургия, 1975. – С. 328.
23. **РД 153-112-017-97.** Инструкция по диагностике и оценке остаточного ресурса вертикальных стальных резервуаров [Текст]. – Введ. 01.07.1997. – М.: Министерство топлива и энергетики РФ, 1997. – С. 131
24. **Правила технической эксплуатации резервуаров** и инструкции по их ремонту [Текст]. – Введ. – 26.12.86. М.: Госкомнефтепродуктов СССР, 1988. – С. 126.
25. **Прохоров В.А.** Разрушение резервуаров и их ущерб в условиях Севера // Проблемы безопасности в чрезвычайных условиях. – 1998. – № 5. – С. 27–35.
26. **Сеницкий Ю.Э.** К вопросу о нормативных требованиях по расчету вертикальных стальных цилиндрических резервуаров в условиях сейсмических воздействий / Ю.Э. Сеницкий, Э.Я. Елинецкий, О.В. Дидковский // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2006. – №4. – С. 65–69.
27. **ДСТУ-Н Б А. 3.1-10:2008.** Настанова з проведення технічного діагностування вертикальних сталевих резервуарів [Текст]. – Введ. 16–12.07.2008. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009.
28. **Бурау Н.І.** Вимоги до розробки інформаційно-діагностичного комплексу моніторингу резервуарів з пальним в умовах Антарктики / Н.І. Бурау, Ю.Г. Жуковський, О.В. Кузько, С.О.

Н.И. Бурау: НАДЕЖНОСТЬ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РЕЗЕРВУАРОВ С ДИЗЕЛЬНЫМ ТОПЛИВОМ В ...

Цибульник, Д.В. Шевчук // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Приладобудування». – 2013. – Вип. 45. – С. 107–115.

29. **Балийский Ф.Я.** Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов / Ф.Я. Балийский, М.А. Иванова, А.Г. Соколова, Е.И. Хомяков. – М.: Наука, 1984. – С. 120.

30. **Klofa I.** Theoretical bases of vibration diagnostics of anchor against landslide constructions / N. Bouraou, I. Klofa, Y. Zsukovskij, E. Kulish // Vibrations in Physical System. – 2010, V. XXIV. - P. 63–68.

31. **Серенсен С.В.** Сопротивление хрупкому разрушению элементов конструкций / С.В. Серенсен, Н.А. Махутов // Проблемы прочности. – 1971. – № 4. –С. 29–39.

32. **Emergency Response Action and Contingency Planning.** Antarctic Treaty Consultative Meeting (ATCM-XXII). Resolution XXII – 6, 1998.

33. **«Наихудшие сценарии»** экологических ситуаций и «сценарии, менее серьезные, чем наихудшие». Консультативное Совещание Договора об Антарктике (ATCM-XXV), WP 025-COMNAP, 2002.

34. **«Наихудшие сценарии»** экологических ситуаций и «сценарии, менее серьезные, чем наихудшие». Консультативное Совещание Договора об Антарктике (ATCM-XXVI), WP 024-COMNAP, 2003.

35. **Fuel Storage and Handling.** Antarctic Treaty Consultative Meeting (ATCM-XXIII). Resolution XXVIII – 3, 2005.

36. **COMNAP Fuel Manuel** (v. 1, April, 2008). Antarctic Treaty Consultative Meeting (ATCM-XXXI), IP 91, 1999.

37. **COMNAP XXIII AGM.** Contingency Planning. Final Report, 2011.

38. **Патент на корисну модель № 82968, Україна.** МПК G01M7/00. Автоматизований діагностичний комплекс моніторингу і прогнозування технічного стану будівель та споруд / Бурау Н.І., Кузько А.В., Жуковський Ю.Г., Шевчук Д.В., Цибульник С.О., Артем'єва Г.М. Власник: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». Заявл. 06.02.2013, опубл. 27.08.2013, Бюл. № 16. – 4 с.: іл..