

ДИАГНОСТИКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЕМКостей С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАТЧИКОВ ПЕРВИЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Антонец И.В., Селезнев С.В., Нигматуллина Л.А., Воронова О.С.

*Ульяновский институт гражданской авиации имени главного Маршала авиации Б.П. Бугаева,
Ульяновск*

Ключевые слова: диагностика, прогноз остаточного ресурса, магнитооптический датчик, магниточувствительная жидкость, стальной вертикальный резервуар, экологическая безопасность.

Аннотация. Статья посвящена экологическим проблемам, которые связаны с утечками нефтепродуктов при их хранении в стальных вертикальных резервуарах на складах и базах объектов нефтепродуктообеспечения. В данной работе исследуются проблемы, связанные с обеспечением экологической безопасности территории складов (баз) горюче-смазочных материалов и топливно-заправочных комплексах путем диагностирования и прогнозирования остаточного срока службы конструктивных элементов стальных вертикальных резервуаров. Предложены способы и средства диагностирования стальных конструкций вертикальных резервуаров путем применения магнитооптического датчика и проведены экспериментальные исследования. Обоснована зависимость изменения напряженности электромагнитного поля, воздействующего на днище резервуара, от степени его коррозионного поражения и изменения параметров оптического излучения магниточувствительной жидкости при воздействии на нее электромагнитного поля. Предложен способ прогнозирования остаточного ресурса стального вертикального резервуара.

DIAGNOSIS OF PERFORMANCE STEEL STRUCTURE CYLINDRICAL TANK USING PRIMARY INFORMATION SENSORS

Antonets I.V., Seleznev S.V., Nigmatullina L.A., Voronova O.S.

*Ulyanovsk Institute of Civil Aviation named after Chief Marshal of Aviation B.P. Bugaeva,
Ulyanovsk*

Keywords: diagnostics, residual life forecast, magneto-optical sensor, magnetically sensitive liquid, steel vertical tank, environmental safety.

Abstract. The article is devoted to environmental problems associated with leaks of petroleum products during their storage in steel vertical tanks in warehouses and bases of petroleum products supply facilities. This paper examines the problems associated with ensuring the environmental safety of the territory of warehouses (bases) for fuel and lubricants and fuel filling stations by diagnosing and predicting the residual service life of structural elements of steel vertical tanks. Methods and means for diagnosing steel structures of vertical tanks by using a magneto-optical sensor have been proposed and experimental studies have been carried out. The dependence of the change in the strength of the electromagnetic field acting on the bottom of the tank on the degree of its corrosion damage and changes in the parameters of the optical radiation of a magnetically sensitive liquid when exposed to an electromagnetic field is substantiated. A method for predicting the residual life of a steel vertical tank is proposed.

Введение

Известно, что хранение нефтепродуктов на складах (базах) горюче-смазочных материалов (ГСМ) и топливно-заправочных комплексах (ТЗК) осуществляется в наземных стальных вертикальных резервуарах различной вместимости.

Ежегодно увеличивающееся число аварий резервуаров связано с тем, что многие из них уже отработали свой расчетный срок службы. Степень износа стальных вертикальных резервуаров (РВС) в эксплуатации составляет 60-80%. По результатам ЦНИИПСК общее количество аварий в три-пять раз превышает количество зарегистрированных несчастных случаев. Темпы роста аварийности очень высоки. За последние 30 лет ежегодно разрушается около 0,0003 резервуара. Анализ динамики риска отказов РВС показывает, что реальный риск аварий составляет на два порядка выше представленного значения и достигает 0,0016.

Исследование показало негативное влияние нефтяного загрязнения на различные свойства почвы [1].

Поэтому существует необходимость обеспечения постоянного контроля состояния стальных вертикальных резервуаров.

Описание проблемы

Аварийные состояния РВС отражают степень тяжести ущерба, зависящую от характера инцидента. К ним относятся незначительные или локальные разрушения резервуаров, пожары, взрывы и разливы нефтепродуктов. Как показывает практика, аварии со стальными вертикальными резервуарами практически всегда сопровождаются значительными потерями нефтепродуктов [2].

Недавняя авария в Норильске, когда в результате обрушения резервуара вылилось около 21 тыс. т топлива, показывает, что материальный ущерб в 500 раз превышает первоначальные затраты на обеспечение надежности резервуара, его диагностику или строительство нового резервуара. Приведенные примеры показывают, что проблема обеспечения надежности резервуарных конструкций до сих пор не решена. Безотказная работа металлоконструкций вертикальных резервуаров должна решаться не только при проектировании, изготовлении, монтаже и испытаниях, но в первую очередь диагностикой в процессе эксплуатации и определения остаточного ресурса резервуара [3].

В настоящее время для технического обследования и диагностики РВС применяется руководство по безопасности «Рекомендации по техническому диагностированию сварных вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов» [4].

Определение проблемы диагностирования

Проанализированы существующие методы и способы диагностирования вертикальных стальных резервуаров, выявлены их достоинства и недостатки. Исходя из этого, возникает проблема выбора методов, методик и оборудования для диагностирования вертикальных стальных резервуаров, которые могут быть использованы на топливных складах (базах) и автозаправочных станциях, отвечают современным требованиям, дают достоверную информацию, имеют низкую стоимость и гарантируют правильную эксплуатацию резервуара в течение определенного срока.

Предложения по решаемой проблеме диагностирования

Чтобы обеспечить контроль технического состояния резервуара нами были разработаны критерии эксплуатационной надежности РВС, которые включают в себя:

- 1) контроль качества строительных работ;
- 2) соблюдение геометрической формы РВС и элементов;
- 3) контроль качества монтажных работ;
- 4) контроль текущего состояния РВС и элементов (РВС, фундамент, грунт);
- 5) соблюдение графиков текущего и капитального ремонта.

Для решения проблемы предлагаются:

- 1) BIM-технологии.
- 2) лазерное сканирование.
- 3) датчики контроля текущего состояния.
- 4) использование магнитного метода контроля, с использованием магниточувствительной жидкости в разработанном нами магнитооптическом датчике.

BIM (Building Information Modelling) – это технология информационного моделирования сооружений, включающая в себя различные процессы по манипулированию виртуальным представлением резервуара: его создание, изменение и последующее использование. Данная технология дает возможность ведения контроля за всеми этапами жизненного цикла объекта. Обеспечение и хранение всей проектной и строительной документации в электронном виде, позволяет в кратчайшие сроки просмотреть весь жизненный цикл РВС. Среди преимуществ внедрения BIM можно отметить:

- 1) возможность оценки долговечности, работоспособности и безотказности работы РВС;
- 2) обеспечение «прозрачности» всех процессов с момента планирования РВС;
- 3) максимальная автоматизация процессов;
- 4) исключение человеческого фактора.

Наземное лазерное сканирование (НЛС). Перспективный комплексный мониторинг РВС включает в себя поверхностный обзор его технического состояния, а также, при использовании НЛС, измерение его важнейших параметров. Применение НЛС позволяет эффективно и с высокой скоростью собрать данные о техническом состоянии РВС.

Существуют несколько типов сканеров, но принцип работы их во многом одинаков. Сканер генерирует высокочастотный импульсный пучок, и корпус прибора автоматически поворачивается вокруг своей оси. Вращающееся зеркало освещает луч в вертикальной плоскости. Таким образом, сканер охватывает всю площадь. При попадании луча на объект его энергии частично возвращается в сканер. Если сигнал достаточно сильный, то он будет зарегистрирован прибором. Для расчета расстояния от сканера до объекта используется измеренный интервал времени, необходимый для возвращения отраженного сигнала. Также регистрируется угол поворота сканера по горизонтали и угол поворота зеркала по вертикали. Сканер комбинирует всю информацию, вычисляя координаты точек. Таким образом, 3D-модель представляет собой совокупность таких точек [5]. Для сканирования РВС, в зависимости от его вместимости, необходимо выбрать несколько станций сканирования. Это обуславливается тем, что данные, полученные с одной станции, будут недостаточны для составления 3D-модели. Таким образом, программное обеспечение НЛС сшивает облака точек в единый объект.

Помимо создания точной модели РВС, наземное лазерное сканирование позволяет оценить его напряженно-деформированное состояние, как в развертке составной части, так и в общем виде [6].

Имея данные нескольких испытаний, полученных в результате сканирования резервуара при его вводе в эксплуатацию, можно составить цифровой паспорт объекта, который позволяет осуществить:

- 1) контроль деформации центра днища резервуара;
- 2) контроль внутреннего диаметра резервуара;
- 3) изменение объема резервуара;
- 4) нивелирование окрайки днища;
- 5) контроль отклонения стенок от перпендикулярности к днищу.

При использовании 3D-моделей для приемки и последующей диагностики резервуаров технология NLS позволяет анализировать эти показатели и прогнозировать вероятность разрушения резервуара, тем самым предотвращая его разрушение.

Технология НЛС позволяет существенно повысить скорость полевых работ, снижает человеческий фактор за счет высокой автоматизации процесса, позволяет получать данные несравнимо большей плотности, чем при традиционных методах диагностики геометрического положения резервуара.

НЛС обеспечивает визуализацию объекта. При использовании наземного сканирования вместе с BIM-моделью, можно произвести визуальное сравнение геометрии РВС.

Датчики текущего контроля. В качестве системы оперативного контроля технического состоянием РВС предлагается использование системы из инклинометров и тензометрических датчиков.

Инклинометры ИН-ДЗ предлагается внедрить для контроля состояния стенки РВС. Датчик имеет пыле- и влагозащищенную моноблочную конструкцию, в состав которой входит высокоточный маятниковый первичный преобразователь угла наклона, корпус с опорными винтами для регулировки и электронного блока с цифровым выходом. Основное его назначение – регистрация отклонения стенок РВС от вертикали. ИН-ДЗ является двухкоординатным. Датчик поддерживает интерфейс RS-485 и протокол Modbus.

На этапе строительства резервуара, для контроля состояния фундамента и грунта, предлагается применить тензометрические датчики. Они работают по единому принципу: преобразуют величину деформации чувствительного элемента в электрический сигнал.

Измерительным элементом датчика является тензорезистор, сопротивление которого изменяется в зависимости от его деформации. Основная часть тензорезистора – решетка в виде тонкой, изогнутой проволоки, уложенной параллельными петлями. К выводу решетки крепятся провода, соединяющие тензорезистор с измерительным устройством. Решетка находится между подложками из диэлектриков.

Мониторинг состояния фундамента под РВС ведется с помощью датчика механической деформации ZET-901. Датчик замоноличивается в бетон. Представляет собой металлический вал с мостом тензорезисторов и фланец. При воздействии на датчик давления, фланец передает деформацию на вал, а мост тензорезисторов преобразует деформацию чувствительного элемента в электрический сигнал.

Оцифровка сигнала ведется с помощью тензометрического модуля ZET-7010, который передает данные по RS-485. Интерфейс дает возможность одновременного подключения до 128 приемо-передатчиков одновременно, а его длина достигает 1200 м, что позволяет использовать датчики без непосредственного подключения к сети Ethernet. RS-485 подключается к протоколу Modbus, собирающему информацию с датчиков и передающему ее на персональный компьютер. Вывод информации, как правило, осуществляется при помощи базовой станции LoRaWAN.

Мониторинг состояния грунта ведется при помощи датчика давления 7010 SP. Датчик помещается непосредственно в грунт и работает по такой же схеме, что и датчик состояния фундамента. 7010 SP имеет встроенный температурный датчик, что обеспечивает удобство контроля вечномёрзлых грунтов Крайнего Севера, содержащих лед, оттаивающий при повышении температуры [7].

Таким образом, описанная система оперативного контроля объединяет все датчики посредством открытого протокола, что обеспечивает удобство контроля малейших отклонений от нормативных параметров и дает возможность быстрого принятия мер по предотвращению аварийных ситуаций.

Результаты исследования и их практическое применение

Предпосылки к использованию магнитной жидкости для диагностирования стальных деталей различных конструкций имеются в работах Акулова Н.С., Еремина М.И., Беда П.И., Самойловича Г.С., Берковского Б.М., Медведева В.Ф., Кракова М.С. и других ученых.

Предложена схема установки диагностического устройства на днище стального вертикального резервуара, работа которого происходит на основе расчетов формирования электромагнитных полей и их изменения.

Формирование электромагнитных полей и расчет их изменений происходит в зависимости от коррозионного повреждения днища резервуара, что определяется с использованием оптико-магнитных датчиков [8].

Нами была выбрана конструкция электромагнита, у которого в качестве якоря использовано дно емкости, а обмотка катушки расположена на поверхности дна. Рабочий магнитный поток, возникающий при пропускании по обмотке катушки постоянного тока, пронизывает пространство, примыкающее к дну резервуара. При этом напряженность магнитного поля в значительной степени зависит от коррозии, которая уменьшает сечение стального дна.

Для измерения вариации напряженности магнитного поля, а, следовательно, степени коррозии, к дну резервуара жестко прикреплены оптические магнитные датчики, которые определяют изменение магнитного поля. Для измерения напряженности электромагнитного поля нами использован оптический магнитный датчик, принципиальная схема которого приведена на рисунке 1.

Принцип действия. При измерении напряженности магнитного поля, окружающего дно резервуара, силовые линии электромагнитного поля пронизывают магниточувствительную

жидкость, которая заполняет кювету из прозрачного немагнитного материала. Когда оптический магнитный датчик помещается в электромагнитное поле, силовые линии электромагнитного поля пронизывают датчик. Силовые линии электромагнитного поля пронизывают магниточувствительную жидкость. В результате домены магниточувствительной жидкости ориентируется не ортогонально и не параллельно вектору напряженности магнитного поля [9]. Непараллельная ориентация относительно вектора напряженности магнитного поля (рис. 2,а) фиксируется фотоэлементом через светопропускание магниточувствительной жидкости. Если ориентация фотоэлемента параллельна вектору напряженности магнитного поля, то светопропускание фотоэлемента фиксировано. При отклонении доменов (рис. 2,б) проницаемость магниточувствительной жидкости изменяется.

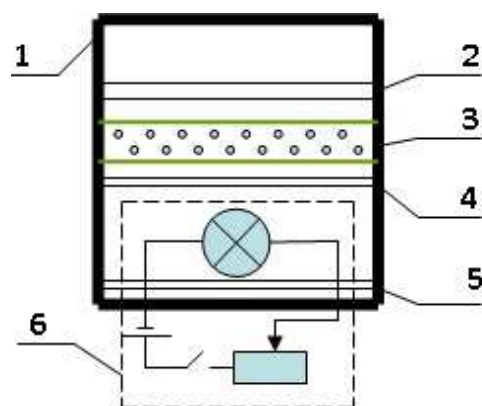


Рис. 1. Принципиальная схема магнитооптического датчика: 1 – корпус из немагнитного и светонепроницаемого материала; 2 – фотоэлемент; 3 – кювета из прозрачного немагнитного материала с магниточувствительной жидкостью; 4 – светофильтр; 5 – отражатель; 6 – источник света с регулирующим устройством и источником питания

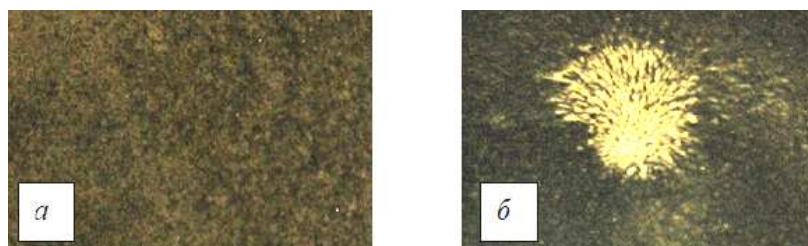


Рис. 2. Расположение доменов магниточувствительной жидкости от вектора напряженности магнитного поля

Проницаемость магниточувствительной жидкости регистрируется фотоэлементом. Сигнал регистрируется фотоэлементом и передается на регистрирующее устройство.

Магнитное поле над дефектом неоднородно, на магнитные частицы, увлеченные этим полем, действуют силы, стремящиеся направить магнитные частицы вдоль линий, где линии магнитных сил наиболее сконцентрированы.

От поворота частиц магниточувствительной жидкости будут изменяться ее оптические свойства, и как следствие будет изменяться количество света, проходящее через нее.

Для регистрации изменения интенсивности светового потока, проходящего через магнитную жидкость, был выбран фотоэлемент с внутренним световым эффектом, который может регистрировать малые изменения фотоэлектрической эмиссии, в отличие от других, не требует источника питания.

Применяя данный эффект для диагностирования днища резервуара мы получили определенные значения. При отсутствии повреждений днища напряженности электромагнитного поля будет недостаточно для реагирования доменов магнитной жидкости. Прохождение светового потока через магнитную жидкость будет крайне малым, и значение фотоЭДС будет определяться величиной холостого хода работы фотоэлемента по параметрам тока короткого замыкания и напряжения фотоЭДС. При наличии нарушении сплошности металла происходит изменение его магнитной проницаемости, которая связана с напряженностью электромагнитного поля и его индукцией.

В результате коллинеарность векторов доменов магнитной жидкости под воздействием магнитного поля будет нарушена, прохождение светового потока увеличится с увеличением освещенности фотоэлемента. С учетом того, что природа света носит электромагнитный характер, в данном случае видимый спектр источника света, то правомочно отождествлять

величину падающего света с величинами напряженности и магнитной индукции создаваемого нами электромагнитного поля, которое действует на работу доменов магнитной жидкости. Угол поворота доменов зависит от магнитной индукции и проницаемости феррита, на который действует результирующая сила при определенной напряженности магнитного поля.

Таким образом, выходным рабочим параметром предлагаемого нами магнитооптического датчика является величина фототока, которая зависит от потока фотонов, который, в свою очередь, зависит от угла наклона области магнитной жидкости, реагирующей на магнитное поле.

Глубина дефекта днища резервуара зависит от многофакторного коррозионного процесса. Коррозионный процесс является электрохимическим процессом и обусловлен действием закона Фарадея. Количество растворившегося металла, в процессе прохождения коррозионного тока, будет прямо пропорционально его силе и времени прохождения.

Физико-химические коррозионные процессы, происходящие на днище резервуара, могут привести в негодность использования РВС. В литературе [10] эти процессы описаны на основании непрерывных математических зависимостей в функции времени. Однако, в ряде случаев зависимость выходного параметра от степени повреждения может носить дискретный характер и иметь зону нечувствительности с последующим резким изменением значения X (рис. 3).

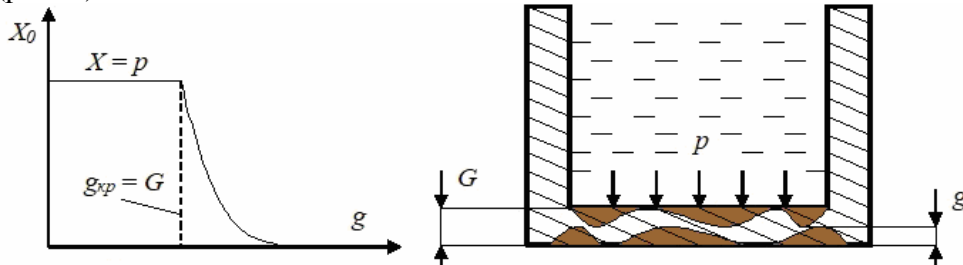


Рис. 3. Функциональная зависимость между степенью коррозии G и его выходным параметром X

В качестве примера рассмотрим зависимость влияния степени коррозии дна резервуара на величину его деформации под действием давления содержащихся в нем нефтепродуктов.

При возникновении локальных повреждений на дне резервуара на глубину $\delta = G$ резервуар теряет способность удерживать топливо. Такие же зависимости между X и g обычно происходят при изменении состояния работы днища резервуара и при достижении определенной (критической) степени коррозии $g_{кр}$.

Получается, что временная зависимость для выходного параметра определяется как:

$$X = f(g) = f[g(t)], \quad (1)$$

где функция $g(t)$ является случайной, а функция f описывает детерминированную зависимость. Изменение выходного параметра днища резервуара зависит от степени повреждения материала, к которому привел данный процесс коррозии.

Степень повреждения дна g , т.е. оценка изменений, происходящих в материале в результате коррозии, определяется скоростью процесса повреждения:

$$\delta_k = \frac{dg}{dt} \rightarrow \delta_k = f(V), \quad (2)$$

где $\frac{dg}{dt}$ – частный дифференциал коррозионной поверхности; δ_k – глубина коррозии, V – скорость коррозии.

Толщина днища, которая является минимальной в месте коррозии, может обеспечить герметичность резервуара от гидростатического воздействия нефтепродуктов с учетом процесса временного изменения коррозионных полостей в днище резервуара.

Минимальная толщина днища $h_{дон}$ определяется следующим уравнением:

$$h_{дон} = \frac{P_{дон}}{h_{сop} \cdot \rho \cdot g}, \quad (3)$$

где $P_{дон}$ – допустимое давление на днище резервуара; $h_{гор}$ – максимальная высота горючего в резервуаре; ρ – плотность горючего; g – ускорение свободного падения горючего.

Определив критически допустимую толщину днища резервуара, мы можем найти максимально допустимую глубину коррозионного поражения $\delta_{дон}$, при которой может обеспечиваться безаварийная эксплуатация резервуара:

$$\delta_{дон} = h_{нач} - h_{дон}, \quad (4)$$

где $h_{нач}$ – начальная толщина днища резервуара; $h_{дон}$ – допустимая толщина днища резервуара.

С помощью пакетов компьютерных программ типа «MathCAD» из данных, полученных при измерении глубины коррозионных повреждений днища резервуара, была предварительно составлена матрица и путем компьютерной обработки получена изменяющаяся во времени модель днища резервуара, которые представлены на рисунке 4, на основании чего мы можем прогнозировать остаточный ресурс днища резервуара.

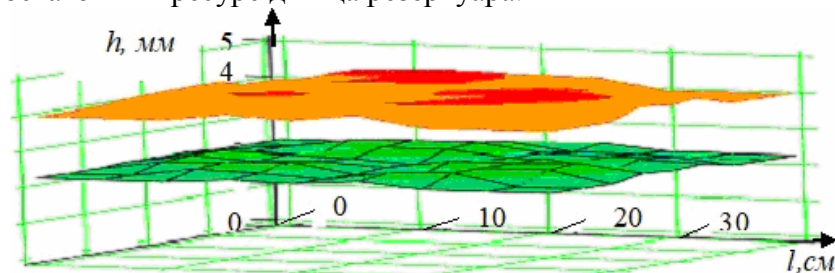


Рис. 4. Карты днища стального вертикального резервуара: $h, мм$ – толщина днища резервуара; $l, см$ – длина днища резервуара

Обсуждение и заключения

1. Анализ ситуации с резервуарным парком показывает рост числа отказов резервуаров. Количество инцидентов с резервуарами увеличивается, а уровень потерь резервуаров, находящихся в эксплуатации, составляет 60-80%, а общее количество инцидентов в 3-5 раз превышает количество зарегистрированных случаев. За последние 30 лет на 10000 резервуаров приходилось примерно 3 отказа в год. В то же время реальный риск аварии на два порядка выше контрольного значения и в суммах достигает до $1,6 \cdot 10^{-3}$.

2. Рассмотрены возможности наземного лазерного сканирования с момента ввода РВС в эксплуатацию до выработки ресурса, а также при создании паспорта объекта, аналогично BIM модели.

3. Описана схема датчиков текущего контроля состояния стенки РВС, фундамента под ним и грунта. Схема была авторами внедрена.

4. Обосновано и разработано устройство диагностирования днища резервуара (Патент РФ на полезную модель №55996) работа которого заключается в фиксации напряженности электромагнитного поля дефекта днища резервуара, при помощи изменения оптических свойств магниточувствительной жидкости (Патент РФ на изобретение №2313085) в видимом диапазоне светового спектра.

Список литературы

1. Гумеров Р.С. Борьба с нефтяными загрязнениями окружающей среды. Обзорная информация. Серия: Борьба с коррозией и защита окружающей среды. – М.: ВНИИОЭНГ, 1987. – 55 с.
2. Дерновой А.А. Исследование напряженно-деформированного состояния уторного узла стального вертикального цилиндрического резервуара: Магистерская диссертация. – Челябинск: Южно-Уральский государственный университет, 2016. – 94 с.
3. Причинно-следственный анализ аварий вертикальных стальных резервуаров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studbooks.net/510770/bzhd/prichinno_sledstvennyy_analiz_averyi_vertikalnyh_stalnyh_rezervuarov.
4. Об утверждении Руководства по безопасности «Рекомендации по техническому диагностированию сварных вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов»: Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 31 марта 2016 г. N 136. – Введ. 18.04.2016.
5. Васильев Г.Г., Сальников А.П., Лежнев М.А. Систематизация требований к проведению наземного лазерного сканирования резервуаров вертикальных стальных // Надежность и безопасность магистрального

- трубопроводного транспорта: Сборник тезисов докладов X Международной научно-технической конференции. – Новополюк: Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой, 2022. – С. 9-11.
6. Михалев А.В. Применение технологии наземного лазерного сканирования в диагностике технического состояния нефтяных резервуаров // Образование и наука в России и за рубежом. – 2019. – №1(49). – С. 389-393.
 7. Иванов А.Р., Большев К.Н., Бурнашев Е.А. Промышленная безопасность газопроводов и резервуаров Якутии // Труды IX Евразийского симпозиума по проблемам прочности и ресурса в условиях низких климатических температур, посвященный 50-летию образования ИФТПС СО РАН: Сборник трудов. – Якутск: Дани-Алмас, 2020. – Т. 1. – С. 61-65.
 8. Патент № 55996 РФ. Магнитооптический датчик для измерения напряженности магнитного поля / С.В. Селезнев, В.Д. Кострикин, Н.П. Комаров. – Заявка № 2006110972/22 от 04.04.2006; опубл. 27.08.2006.
 9. Патент № 2313085 РФ. Способ получения магниточувствительной жидкости для визуализации магнитного поля / С.В. Селезнев, В.Д. Кострикин, Н.П. Комаров. – Заявка № 2006109738/28 от 27.03.2006; опубл. 20.12.2007.
 10. Разрушение нефтегазового оборудования: учеб. пособие / Под ред. А.Г. Гареева. – Уфа: ООО «Монография», 2010. – 144 с.

References

1. Gumerov R.S. Fight against oil pollution of the environment. Overview information. Series Corrosion control and environmental protection. – М.: VNIIOENG, 1987. – 55 p.
2. Dernova A.A. Study of the stress-strain state of the morning assembly of a steel vertical cylindrical tank: Master's thesis. – Chelyabinsk: South Ural State University, 2016. – 94 p.
3. Cause-and-effect analysis of accidents in vertical steel tanks [Electronic resource]. – Access mode: https://studbooks.net/510770/bzhd/prichinno_sledstvennyy_analiz_avariy_vertikalnyh_stalnyh_rezervuarov.
4. On approval of the Safety Guide “Recommendations for technical diagnostics of welded vertical cylindrical tanks for oil and petroleum products”: Order of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision dated March 31, 2016, no 136. – Introduced. 04/18/2016.
5. Vasiliev G.G., Salnikov A.P., Lezhnev M.A. Systematization of requirements for ground-based laser scanning of vertical steel tanks // Reliability and safety of main pipeline transport: Collection of abstracts of the X International Scientific and Technical Conference. – Novopolotsk: Polotsk State University named after Euphrosynya Polotskaya, 2022. – P. 9-11.
6. Mikhalev A.V. Application of terrestrial laser scanning technology in the diagnostics of the technical condition of oil reservoirs // Education and science in Russia and abroad. 2019, no. 1(49), pp. 389-393.
7. Ivanov A.R., Bolshev K.N., Burnashev E.A. Industrial safety of gas pipelines and reservoirs in Yakutia // Proceedings of the IX Eurasian Symposium on the problems of strength and resource in low climatic temperatures, dedicated to the 50th anniversary of the IFTPS SB RAS: Proceedings. – Yakutsk: Dani-Almas, 2020. – Vol. 1. – P. 61-65.
8. Patent No. 55996 RU. Magneto-optical sensor for measuring the magnetic field strength / S.V. Seleznev, V.D. Kostrikin, N.P. Komarov. – Appl. No. 2006110972/22 from 04/04/2006; publ. 08/27/2006.
9. Patent No. 2313085 RU. A method for obtaining a magnetically sensitive liquid for visualizing a magnetic field / S.V. Seleznev, V.D. Kostrikin, N.P. Komarov. – Appl. No. 2006109738/28 from 03.27.2006; publ. 20.12.2007.
10. Destruction of oil and gas equipment: textbook. allowance / Edited by A.G. Gareeva. – Ufa: Monograph LLC, 2010. – 144 p.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Антонец Иван Васильевич – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Авиационной техники»	Antonets Ivan Vasilievich – doctor of technical sciences, associate professor, professor of the Department of aeronautical engineering
Селезнев Сергей Валерьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры авиатопливообеспечения	Seleznev Sergey Valeryevich – candidate of technical sciences, associate professor of the department of aviation fuel supply
Нигматуллина Лилия Ауфатовна – старший преподаватель кафедры авиатопливообеспечения, аспирант	Nigmatullina Liliya Aufatovna – senior lecturer of the Department of aviation fuel supply, postgraduate student
Воронова Ольга Сергеевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры авиатопливообеспечения	Voronova Olga Sergeevna – candidate of biological sciences, associate professor of the department of aviation fuel supply
lily-nig@yandex.ru	

Получена 06.09.2023