

УДК 624.04

НОВЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НДС КОРПУСА КРУПНОРАЗМЕРНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ

А.А. Землянский, К.А. Землянский

Впервые представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований нового способа определения напряженно-деформированного состояния корпуса крупноразмерных резервуаров для хранения различных углеводородов.

Ключевые слова: эксплуатационная надежность; крупноразмерные резервуары; ферромагнитные материалы; магнитная проницаемость металла; остаточные напряжения.

NEW METHOD OF DETERMINING THE CASH NUMBER LARGE-DIMENSIONAL TANKS FOR STORAGE OF HYDROCARBONS

A.A. Zemlyanskiy, K.A. Zemlyanskiy

For the first time, the results of theoretical and experimental studies of a new method for determining the stress-strain state of a housing of hull-shaped reservoirs for storing various hydrocarbons are presented.

Keywords: operational reliability; large-sized tanks; ferromagnetic materials; magnetic permeability of metal; residual tension.

В новом веке вопросам энергетической безопасности России уделяется все более серьезное внимание на всех уровнях законодательной и исполнительной власти. Ключевое место при этом занимает проблема повышения эффективности и безопасности хранения всей номенклатуры нефтепродуктов, обладающих очень специфическими свойствами.

Самый распространенный тип резервуаров для хранения нефтепродуктов – вертикальный, стальной, цилиндрический резервуар. Детальный анализ результатов обследования нескольких сотен резервуаров объемом до 100 тыс. м³, эксплуатируемых с 1966 г. в Англии, Нидерландах, Японии, США и России [1, 2], позволил установить, что в более 70 % случаев лавинообразные и необратимые аварии и отказы произошли в результате разрушения самой перенапряженной зоны резервуаров – в месте сопряжения вертикальной стенки с окрайкой. В большинстве случаев причины разрушения: неравномерная осадка грунтового основания, неравномерная коррозия сварных швов, перекосы и заклинивание плавающей крыши с последующим перенапряжением несущих и ограждающих конструкций.

Все это привело к необходимости создания специальной приборной базы и системы мони-

торинга для эффективной оценки напряженно-деформированного состояния несущих и ограждающих конструкций цилиндрических резервуаров как во времени, так и в пространстве [2–4], что явилось целью настоящей работы.

На практике измерение напряжений в металлоконструкциях инженерных сооружений для оценки прочности и эксплуатационной надежности объекта возможно при использовании традиционной, классической приборной базы, в частности:

- тензометрических комплексов и тензодатчиков сопротивления;
- струнных датчиков с соответствующей системой вторичной электронной аппаратуры для измерения рабочей частоты колебаний;
- современной приборной базы, работающей на основе использования эффекта электронной эмиссии;
- анализа структурных изменений в кристаллической решетке объекта исследований с помощью рентгеновских лучей и др.

Однако все перечисленные методы и приборная база не позволяют объективно судить о характере распределения и абсолютной величине остаточных напряжений в материале, которые в некоторых случаях могут достигать критических пределов, например, при сварке или холодной прокатке

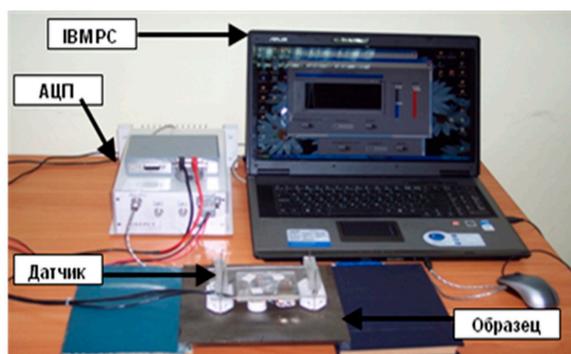


Рисунок 1 – Внешний вид магнитоупругого тестера:
а – системный блок измерений и регистраций; б – общий вид датчика

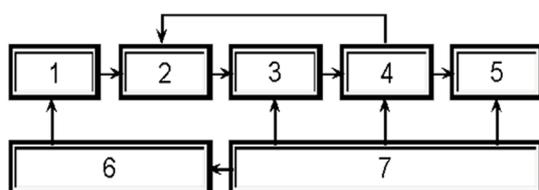


Рисунок 2 – Структурная схема прибора:
1 – дифференциальный ферромагнитный датчик;
2 – преобразователь сигнала на базе мостов Уитстона; 3 – усилитель постоянного тока;
4 – процессор целевого назначения с аналого-цифровым преобразователем; 5 – цифровой регистратор выходного сигнала; 6 – низкочастотный стабилизированный блок питания; 7 – рабочий блок питания

и волочении металлических профилей. Теоретически возможен случай, когда сложное инженерное сооружение может стать просто непригодным к эксплуатации и дальнейшему использованию, даже при самых минимальных внешних нагрузках, что недопустимо [1, 2].

Все это стало основным стимулом для выявления таких физических закономерностей, эффектов и соответствующих экспериментальных методик, которые позволили бы практически определять не только напряжения от приложенных в данный момент времени нагрузок, но и величину существующих в материале так называемых остаточных напряжений с одновременной топографией их в пространстве и во времени.

Авторы статьи на основе эффекта Форстера [3] разработали магнитоупругий датчик [4], с помощью которого с очень большой разрешающей способностью можно находить как действующие, так и остаточные напряжения в металлоконструкциях нефтеналивных резервуаров, как с учетом плоского напряженного состояния, так и при простом сжатии или растяжении металла. В основу

прибора положена зависимость относительной магнитной проницаемости ферромагнитных сред, в частности стали, от действующих напряжений. Внешний вид и структурная схема магнитоупругого тестера представлены на рисунках 1, 2.

В ходе экспериментальной проверки пилотного образца прибора при обследовании нефтеналивных резервуаров были оптимизированы конструкция датчика прибора, система автономного питания, частотный диапазон работы всей измерительной системы и сама структурная схема прибора. В результате чувствительность прибора без применения дорогостоящих комплектующих деталей и прецизионной технологии изготовления превысила 0,1 МПа по напряжению, что удовлетворяет самым жестким требованиям проектировщиков и служб авторского надзора.

Практическое использование разработанного прибора помогло оценить фактическое напряженно-деформированное состояние резервуара с учетом краевого эффекта в месте сопряжения стенки с крайками и неравномерных деформаций грунтового основания. Общая статистическая оценка работы прибора во времени позволила сделать вывод о возможности применения данного прибора и для организации долгосрочного мониторинга динамики напряженно-деформированного состояния резервуаров с целью предотвращения аварийных и предаварийных ситуаций.

Одновременно в ходе экспериментальных исследований была выявлена возможность использования разработанного прибора для оценки напряженно-деформированного состояния металла по его глубине при изменении частоты рабочего напряжения, питающего активный датчик. Из фундаментальной физики известно, что глубина проникновения электромагнитного поля в любой ферромагнитный материал может быть определена по формуле

$$h = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu_0\mu}f/\rho_0}, \quad (1)$$

где f – частота магнитного поля; μ_0 – магнитная проницаемость вакуума; μ – магнитная проницаемость среды; ρ_0 – удельное электросопротивление материала, на который установлен магнитоупругий датчик.

Поскольку для стали различных сортов магнитная проницаемость и удельное сопротивление колеблются в сравнительно небольших пределах, то после постановки усреднённых значений указанных величин в формулу (1) последняя преобразуется в более простую зависимость h от f , в частности

$$h = a/\sqrt{f}, \quad (2)$$

где a – для стали различных сортов, приблизительно равна $9,18 \cdot 10^{-3} \cdot \text{сек}^{1/2}$.

Все это свидетельствует о том, что при установке на поверхность исследуемой стальной оболочки рабочего датчика, магнитный поток будет пронизывать ферромагнитный материал на различную глубину в зависимости от частоты рабочего напряжения, так как разрешающая способность магнитоупругого тестера по глубине исследуемого материала зависит от частоты.

В магнитоупругом тестере, разработанном в Балаковском институте техники, технологии и управления при исследовании глубины проникновения магнитного поля в исследуемый образец рабочая частота датчика изменялась от 50 Гц до 50 кГц. В результате было измерено действующее нормальное напряжение растяжения при чистом изгибе в консольной балке из ферромагнитного материала толщиной 3 мм, на глубину 1,3 мм. При этом было установлено, что степень достоверной вероятности получаемых результатов достаточно велика для данного класса прибора.

В настоящее время степень ответственности, которая лежит на конструкторах новых машин и уникальных промышленных объектов, увеличилась во много раз, так как динамичное развитие новой и прогрессивной техники, технологии и материаловедения привело к тому, что инженерно-технический корпус должен иметь чёткое представление о фактическом поведении материалов в самых жёстких условиях работы. Так, при проектировании самолетов, летающих со сверхзвуковыми скоростями, космических ракет и атомных подводных лодок, оказались востребованными абсолютно объективные сведения о работе инженерных конструкций в нестандартных условиях высоких температур, при наличии активного ядерного облучения, а также при воздействии длительных, знакопеременных и динамических нагрузок. Имен-

но поэтому разработка новых экспресс-методов и специальной электронной аппаратуры для оценки фактического напряжённо-деформированного состояния объекта является весьма важной научной задачей.

В 60-х годах прошлого века весь мир облетела весть о систематических авариях на английских рейсовых самолетах, которые спустя весьма непродолжительное время эксплуатации стали выходить из строя с катастрофическими последствиями. Причиной их гибели явилось недопустимое ослабление корпуса летательных объектов в районе оконных проемов из-за чрезмерной вибрации и накопления усталостных трещин. Аналогичная ситуация произошла и с разрушением железнодорожного моста в Голландии, который обрушился при отсутствии какой бы то ни было дополнительной внешней нагрузки. Подобная ситуация произошла также и с одной из 14 атомных подводных лодок первого поколения “Трешер” ВМС США, корпус которой при погружении не выдержал внешних нагрузок, которые на практике оказались значительно меньше расчетных. Поэтому разработка электронной аппаратуры, аналогичной представленной в данной работе, позволяет измерить не только действующие активные напряжения, но и установить наличие больших остаточных напряжений в жизненно важных местах высотных зданий и сооружений, в корпусах сверхзвуковых самолётов, атомных подводных лодок и уникальных объектах различного назначения, при своевременном освидетельствовании и профилактическом осмотре. Это позволит предупреждать о грозящей опасности задолго до аварийных и критических событий, которые могли бы произойти впоследствии.

Разработанный магнитоупругий тестер может иметь широкую область практического использования не только в машиностроении, но и в других областях человеческой деятельности, в частности при организации активного мониторинга напряжённо-деформированного состояния различных сложных высотных, экологически опасных и уникальных строительных объектов с целью предупреждения любых, потенциально возможных аварийных или предаварийных ситуаций. Предложенная система мониторинга НДС также может найти применение в стройиндустрии и при организации систем неразрушающего контроля качества продукции на современных промышленных предприятиях.

Литература

1. Галюк В.А. Эксплуатация резервуаров большой вместимости / В.А. Галюк. М.: Изд-во ВНИИОЭНГ, 1987. 64 с.

2. *Егоров Е.А.* Совершенствование методики технологической диагностики больших резервуаров, подверженных коррозии / Е.А. Егоров, Д.С. Фоменко // Повышение эффективности строительства: сб. науч. тр. Киев, 1988. С. 21–25.
3. *Forster F.Z. and Shiel E.Z.* Metallkunde. № 32. 1940. 165 p.
4. *Землянский А.А.* Магнитоупругий датчик / А.А. Землянский, К.А. Землянский // Пат. РФ на изобретение № 2295118, 2007. 3 с.
5. *Землянский А.А.* Вертикальные стальные резервуары нового поколения для создания федеральных баз хранения стратегических запасов углеводородного сырья / А.А. Землянский // Сб. кратких описаний инновационных проектов “6-й Саратовский салон изобретений, инноваций и инвестиций”. В 2-х ч. Саратов: Изд-во СГТУ, 2010. Ч. 2.