

О ЯВЛЕНИИ ИСКАЖЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В ЗОНЕ ДЕФЕКТОВ ОСНОВНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ОПОРНЫХ БЛОКОВ МОРСКИХ СТАЦИОНАРНЫХ ПЛАТФОРМ

Богданов Я.А.¹

¹*Российский государственный университет нефти и газа им. И.М.Губкина, г. Москва, e-mail: Ya.bogdanov1988@gmail.com*

В статье рассматриваются проблемы обеспечения безопасности эксплуатации опорных блоков морских стационарных платформ. Установлено, что в процессе эксплуатации имеющиеся дефекты конструктивных элементов морских стационарных платформ под влиянием нагрузок и воздействий могут развиваться до наступления предельного состояния, при котором эксплуатация платформы становится невозможной. Отмечается, что наиболее интенсивно процессы износа идут в зоне периодического смачивания. Предотвратить наступление предельного состояния возможно путем своевременного проведения комплексного диагностического обследования и выявления дефектов. На основе проведенных исследований автором предлагается применение метода теплового контроля как наиболее эффективного исходя из критериев длительности обследования, точности выявления и стоимости выполнения работ. Автором дается определение понятия температурного сигнала и приводятся другие основные понятия тепловой диагностики. Сущность предлагаемого автором метода заключается в поиске разницы между температурным сигналом в эталонной зоне и исследуемой точке.

Ключевые слова: опорный, блок, морские, стационарные, платформы, нефть, газ, диагностика, тепловой, контроль.

ABOUT THE PHENOMENON OF DISTORTION OF THE TEMPERATURE FIELDS IN THE ZONE OF THE DEFECTS OF THE STRUCTURAL ELEMENTS AND WELDED JOINTS OF THE OFFSHORE PLATFORMS

Bogdanov Y.A.¹

¹*Russian State University of Oil and Gas I.M. Gubkin Moscow, e-mail: Ya.bogdanov1988@gmail.com*

The article deals with problems of ensuring safe operation reference fixed platforms. It is found that in operation the existing defects of the structural elements of fixed offshore platforms under the influence of loads and impacts can be developed before a limiting condition at which operation of the platform becomes impossible. It is noted that the most intensive processes of wear are in the zone of periodic wetting. To prevent the occurrence of the limit state is possible through the timely provision of comprehensive diagnostic tests and identify defects. On the basis of the conducted research the author proposes the use of a method of thermal control as the most effective based on the criteria of the duration of the survey, accuracy of identification and the cost of performing the work. The author provides a definition of the temperature signal and provides other basic concepts of thermal diagnostics. The essence of the author's method consists in finding the difference between the temperature signal in the reference zone and the studied point.

Keywords: pillow, block, marine, stationary, platform, oil, gas, diagnostics, heat, control.

РФ обладает существенными объемами нефтегазовых ресурсов, расположенных на морских месторождениях[1-6]. Добыча ресурсов на этих месторождениях ведется с использованием морских стационарных платформ. Эти платформы эксплуатируются в неблагоприятных условиях окружающей среды, что приводит к возникновению новых или развитию уже существующих дефектов. В свою очередь, развитие дефектов может привести наступлению так называемого предельного состояния элементов и сварных соединений опорного блока морской стационарной платформы (ОБ МСП), при котором дальнейшая эксплуатация невозможна. Поэтому своевременное высокоточное выявление и устранение

потенциально опасных дефектов является актуальной и своевременной задачей. Ранее автором анализировались различные методики неразрушающего контроля, что позволило сделать вывод о том, что наиболее эффективной по критериям длительности обследования, точности выявления и стоимости выполнения работ среди различных методик диагностики для опорных блоков морских стационарных платформ является методика теплового контроля (ТК). Помимо этого следует отметить, что наиболее интенсивно процессы развития различных дефектов идут в зонах периодического смачивания, что обусловлено как действием значительных номинальных напряжений, так и существенным коррозионным износом. Таким образом, зона периодического смачивания является наиболее ответственной с точки зрения эксплуатации и возможности наступления предельного состояния.

Автором предлагается использование солнечной энергии в качестве источника для нагрева исследуемых элементов платформы. Этот подход можно рассматривать как разновидность импульсного метода, который предусматривает нагрев за счет тепловой энергии определенной длительности и мощности с последующей регистрацией температуры. Искажения тепловых полей связано с тем, как количественная или качественная информация о скрытых дефектах извлекается из базовой температурной функции $T(x, y, \tau)$, описывающей изменение температуры исследуемого элемента ОБ МСП во времени для каждой точки изделия (x, y) . В процедурах тепловизионного контроля эта функция определена для последовательности записанных термограмм (Рис. 1) и привязана к пикселям изображения: $T(i, j, \tau)$.

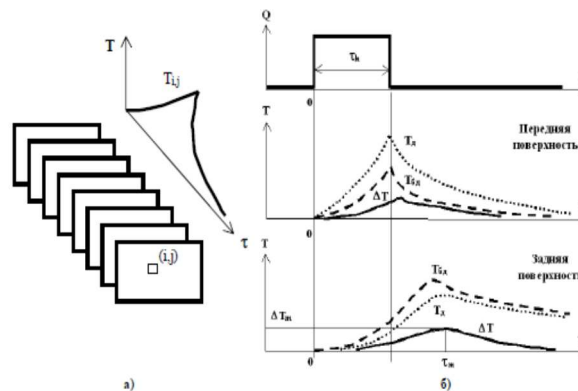


Рисунок 1. Базовые температурные функции активного теплового контроля:

а-формирование последовательности термограмм и функции $T(i, j, \tau)$;

б-импульс нагрева и формирование температурного сигнала ΔT

Типичный вид функций $T(i, j, \tau)$ показан на рис. 1. для дефектной (д) и бездефектной (бд) области. Учитывая, что внутренняя поверхность конструктивных элементов недоступна в нашем случае, то диагностику возможно проводить только на внешней, т.е. передней поверхности конструктивного элемента ОБ МСП. В ходе нагрева избыточная температура элемента T растет от некоторого значения и достигает максимума в конце теплового

импульса длительностью τ_h . На стадии охлаждения вследствие теплообмена с окружающей средой температура спадает до температуры окружающей среды. Детально процессы нагревания и охлаждения элементов опорного блока описаны в [3-5].

Важным понятием в термодиагностике является так называемый температурный сигнал, определяемый как разность температур в исследуемой точке и в зоне, принятой за бездефектную:

$$\Delta T(x, y, \tau) = T(x, y, \tau) - T_{\text{бд}}(x, y, \tau) \quad (1)$$

Где: $\Delta T(x, y, \tau)$ - температурный сигнал; $T(x, y, \tau)$ - температура в исследуемой точке; $T_{\text{бд}}(x, y, \tau)$ - температура бездефектной зоны.

При таком определении, $\Delta T > 0$ на внешней поверхности для дефектов, теплопроводность которых ниже, чем теплопроводность основного материала. Соответственно, дефекты, более теплопроводные, чем основной материал, создают температурные сигналы обратного знака: $\Delta T < 0$ на внешней поверхности. Отметим, что в ряде случаев, вследствие различных теплоемкостей дефектной и бездефектной зон, на стадии охлаждения возможна инверсия знака ΔT , однако амплитуда соответствующих сигналов мала для их уверенной регистрации.

В процессе динамического нагрева/охлаждения температурный сигнал от внутреннего дефекта достигает максимального значения ΔT_m в момент времени τ_m . Можно считать, что $\tau_m(\Delta T_m)$ и есть оптимальный момент наблюдения. Из этого следует, что вместо записи последовательности термограмм можно фиксировать одну термограмму в момент τ_m , к чему и сводится большинство процедур активного ТК.

Рассмотрим некоторые особенности применения аналитических методов при исследовании теплопередачи в твердых телах, содержащих скрытые дефекты. Структурные неоднородности любого типа, часть которых, не отвечающая нормам, является дефектами, искажают "эталонное" ($T_{nd}(x_{nd}, y_{nd}, \tau) = T_{nd}(\tau)$ – в бездефектных зонах в любой момент времени температура является величиной постоянной или изменяющейся известным образом) обтекание тепловых потоков в объекте контроля и соответственно приводят к локальным температурным аномалиям, которые передаются через материал объекта на его поверхность, где регистрируются аппаратурой ТК в виде температурных сигналов.

Так как теплопередача осуществляется путем чистой теплопроводности, то справедливо условие:

$$\lambda_{nd} \frac{\delta T_{nd}}{\delta z} = \lambda_d \frac{\delta T_d}{\delta z}; T_d - T_{nd} = R_d \frac{\delta T_d}{\delta z} \quad (2)$$

где: λ_{nd} - теплопроводность металла в бездефектной зоне; λ_d - теплопроводность металла в дефектной зоне; T_d - температура в дефектной зоне; T_{nd} - температура в бездефектной зоне; z - толщина стенки трубы); R_d - тепловое сопротивление дефекта.

Формулы 1 и 2 основаны на условии неразрывности теплового потока и температуры в металле, т.е.:

$$\lambda_i \frac{\delta T_i}{\delta z} = \lambda_{i+1} \frac{\delta T_{i+1}}{\delta z}; T_i = T_{i+1} \quad (3)$$

Следовательно, дифференциальные уравнение теплопроводности (4.1) внутри дефектов не решаются. Дефекты, обнаруженные по граничному условию 1 и 2 называются резистивными (когда теплопроводностью дефектного слоя можно пренебречь). Основной теплофизической характеристикой таких дефектов является сопротивление:

$$R_d = d/\lambda_d \quad (4)$$

где: λ_d - теплопроводность в дефектной зоне, Вт/м*К; d - толщина дефекта, м.

На границах резистивных дефектов температура изменяется скачкообразно, а тепловой поток остается неразрывным:

$$\Delta T (x, y, \tau) = T_d (x, y, \tau) - T_{nd} (x_{nd}, y_{nd}, \tau). \quad (5)$$

По формуле 5 можно определить локальный температурный сигнал (перепад), т.к. регулярный характер температурного поля в зоне дефекта нарушается. Под температурным сигналом обычно понимают максимальное значение $\Delta T_m (x, y, \tau) = \Delta T_m (\tau)$. Следует подчеркнуть, что параметры, выражаемые в единицах температуры, то есть избыточные температуры $T_d (x, y, \tau), T_{nd} (x_{nd}, y_{nd}, \tau)$ и сигнал $\Delta T (x, y, \tau)$, прямопропорциональны поглощенной плотности теплового потока Q в силу линейного характера процесса теплопередачи. В качестве безразмерного информативного параметра, не зависящего от Q , вводят текущий температурный контраст:

$$C^{run} = \Delta T (x, y, \tau) / T_{nd} (\tau). \quad (6)$$

Данная величина служит естественной характеристикой конкретной процедуры обнаружения данного типа дефекта в данном материале. Заметим, что нормировка на поглощенную энергию в виде (6) эффективна, если величина Q постоянна во всех точках.

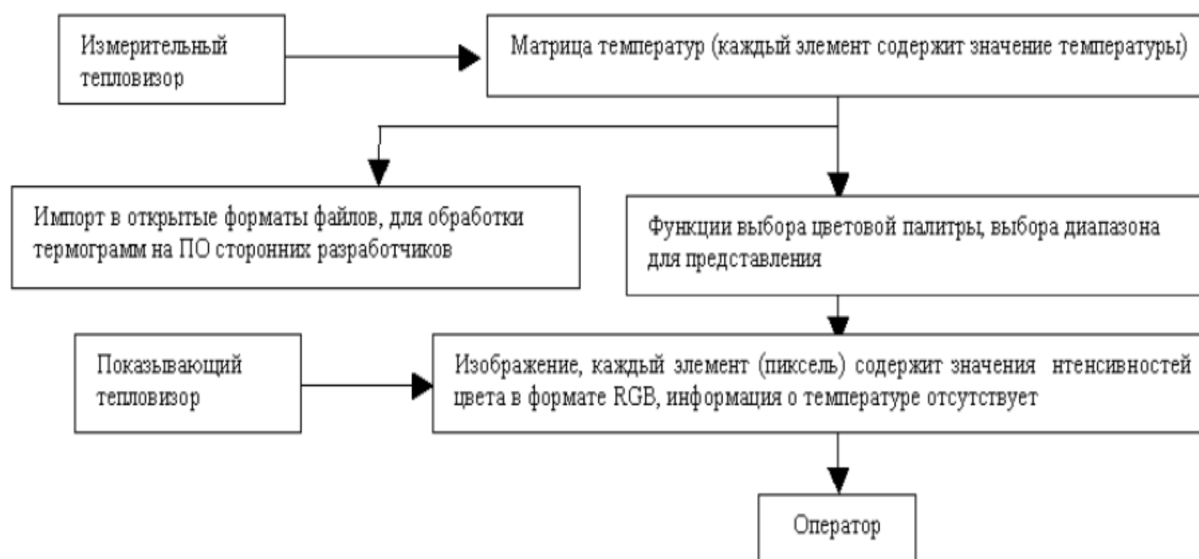
Можно также сказать, что температурный сигнал определяется абсолютной разницей между температурами в дефектной и бездефектной областях, а текущий температурный контраст - относительной разницей.

В классических моделях ТК температурный сигнал над внутренним дефектом ΔT зависят от:

- времени;

- параметров нагрева;
- интенсивности теплообмена объекта контроля с окружающей средой;
- толщины объекта контроля;
- теплофизических свойств объекта контроля;
- геометрических размеров дефекта и глубины его залегания;
- ТФХ дефекта.

Таким образом, на выявляемость дефектов тепловым методом влияют: интенсивность теплообмена объекта контроля с окружающей средой, теплофизические свойства объекта контроля, ТНХ дефекта можно условно отнести к разряду слабо-влияющих в обычных условиях испытаний. Одной из основных функций тепловизора является визуализация распределения температуры, осуществляемая с помощью термограмм (тепловых изображений). Термограмма представляет собой изображения, каждый пиксель которого окрашивается определенным цветом (в зависимости от выбранной палитры и диапазона представления тепловизора или ПО для обработки тепловизионных данных). Тепловизоры подразделяются на измерительные и показывающие. В измерительных тепловизорах пиксельные амплитуды выражены в «радиационных» температурах, тогда как в показывающих (неизмерительных) тепловизорах оператор имеет дело с «условными» пиксельными амплитудами (2).



2. Представление термограмм

Амплитудные значения, соответствующие различным цветам, представляются числами в формате RGB. Число в таком формате (обычно целое 4-х байтовое число) содержит значения (числа от 0 до 255) трех интенсивностей: красного (Red), зеленого (Green) и синего (Blue) цвета. В таком формате, число 0 соответствует черному цвету (все

интенсивности равны нулю), а число – 0xFFFFFF (в шестнадцатеричной системе) – соответствует белому цвету, число 0xFF0000 – красному цвету. Численные значения температуры представляются в формате чисел с плавающей запятой.

При выборе цветовой палитры следует придерживаться многим рекомендациям. Тепловые изображения являются псевдоцветовыми, т.е. связь палитры цветов с температурой задается оператором. Существует множество палитр, входящих в программное обеспечение тепловизионных комплексов. На практике часто используют палитры «Радуга» (Rainbow) и «Цвета каления железа» (Iron). При правильном подборе палитры зоны с близкими температурами можно представить с помощью контрастных цветов, однако не следует преувеличивать значение палитры для повышения достоверности обнаружения скрытых дефектов.

Число цветов для представления температурной матрицы изменяется от 1 до 256, что связано с особенностями формирования изображений в операционной системе. Иными словами, каждый цвет имеет свой индекс и, исходя из пропорции, ему сопоставляется определенный интервал температур в выбранном динамическом диапазоне термограммы.

Тепловизоры сохраняют термограммы в собственном формате файлов, обычно неизвестном пользователю. Для работы с термограммами вместе с тепловизором поставляется дополнительное ПО, которое позволяет оператору просматривать термограммы, составлять отчеты по результатам обследования, предоставляет ряд «инструментов» (точка, линия, эллипс, прямоугольник и т.д.) для измерения температуры в заданных пользователем областях. Более развитое программное обеспечение позволяет конвертировать термограммы в открытые форматы файлов, чтобы пользователь мог использовать обширные возможности цифровой обработки данных. Размерность тепловизионных изображений (температурных матриц) может быть различна, используются следующие форматы: 320x240, 640x480, 128x128, 512x512. Современные модели тепловизоров могут сразу сохранять изображения в виде файлов специального графического формата JPEG (радиометрический JPEG), которые кроме графической информации (теплового изображения) могут содержать данные о температуре, однако для этого необходимо открывать термограммы с помощью специализированного программного обеспечения.

Многие модели тепловизоров позволяют сохранять файлы термограмм на флеш-карту, которая вставляется в соответствующий разъем прибора. Сохранение изображений осуществляется при нажатии кнопки оператором (обычно используется при тепловизионных обследованиях, когда оператор сохраняет тепловое поле интересующего его объекта) или с помощью таймера, который можно настроить на определенный интервал записи (может

использоваться при активном тепловом контроле, когда регистрируют температуры для поверхности объекта контроля).

Список литературы

1. Бородавкин П.П. Морские нефтегазовые сооружения : учебник для вузов. Ч. 1. Конструирование. - М. : ООО "Недра-Бизнесцентр", 2006. - 555 с.
2. Луканин В.Н., Шатров М.Г. Теплотехника : учебник для вузов. - М. : Высшая школа, 2000. - 671 с.
3. Староконь И.В. Исследование влияния окружающей среды на тепловое состояние конструктивных элементов опорных блоков морских стационарных платформ // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5; URL: www.science-education.ru/119-14798.
4. Староконь И.В. Методика оценки воздействия солнечного излучения на температурное состояние морских стационарных платформ // Современные проблемы науки и образования. - 2014. - № 2; URL: www.science-education.ru/116-12713.
5. Староконь И.В. О результатах численно-аналитического моделирования воздействия переменных и условно стационарных температурных полей на развитие усталостных трещин морских нефтегазовых сооружений (МНГС) // Фундаментальные исследования. - 2013. - № 1-1. - С. 153-158.
6. Староконь И.В. Основы теории и практики образования усталостных трещин на морских нефтегазовых сооружениях // Современные проблемы науки и образования. - 2012. - № 4; URL: www.science-education.ru/104-6605.

Рецензенты:

Бородавкин П.П., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой АПС РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, г. Москва.

Безкорвайный В.П., д.т.н., профессор, кафедры АПС РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, г. Москва.