

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛООВОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ
УСТАЛОСТНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ В СВАРНЫХ
КОНСТРУКЦИЯХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ
АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ**

Канд. техн. наук, доцент **Л.Ю. Соловьёв**,
аспирант **В.А. Федоренко**
(Сибирский государственный университет
путей сообщения (СГУПС))
Конт. информация: lys111@yandex.ru;
sky.97@bk.ru

Статья касается применения инфракрасной термографии при обследовании и диагностике автодорожных мостов для выявления усталостных повреждений. Приведены результаты анализа данных по наличию усталостных трещин на мостах, расположенных на федеральных автомобильных дорогах Российской Федерации. Сообщается о результатах успешного опыта применения инфракрасной термографии для диагностики усталостных трещин в полевых условиях на автодорожных мостах. На основе методов наименьших квадратов и самосинхронизированной термографии разработан алгоритм обработки термограмм, который позволил получить результаты при случайном нагружении. В результате изучения процесса саморазогрева металла по концам сварных швов в узлах эксплуатируемых автодорожных мостов при случайных нагрузках установили эффективность метода инфракрасной термографии для обнаружения усталостных повреждений, не фиксируемых при визуальном осмотре. Исследования показали применимость метода инфракрасной термографии для выявления и оценки степени развития усталостных повреждений в сварных пролетных строениях автодорожных мостов при случайных нагрузках.

Ключевые слова: инфракрасная термография, усталостные трещины, металлические мосты, ортотропная плита, развитие трещин.

ВВЕДЕНИЕ

На федеральных автомобильных дорогах Российской Федерации эксплуатируется около 1400 металлических пролетных строений, из которых 66 % составляют сталежелезобетонные конструкции и 23 % – конструкции с ортотропной плитой проезжей части (**рис. 1**).

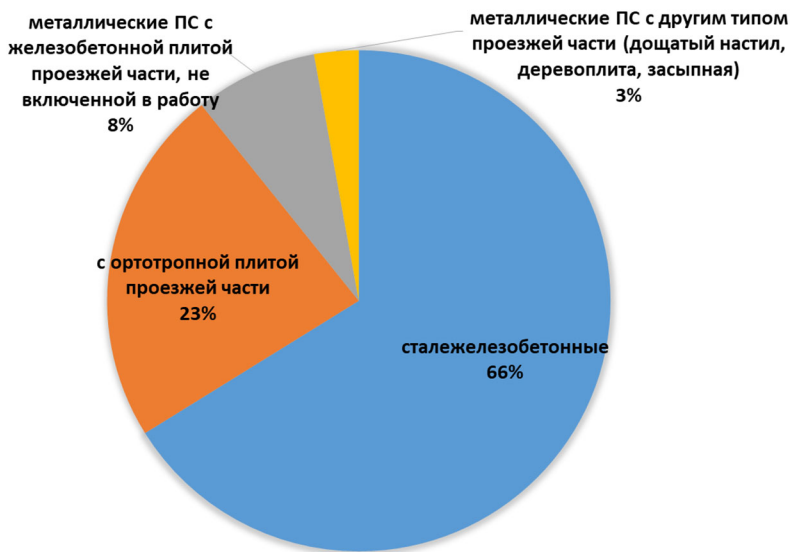


Рис. 1. Распределение металлических пролетных строений (ПС) по типам конструкций

Почти все пролётные строения являются сварными. По данным зарубежных исследований [1], в таких конструкциях после 25-30 лет эксплуатации при интенсивной нагрузке усталостные трещины начинают развиваться по экспоненциальной зависимости. Срок службы большинства сварных мостов на федеральных дорогах России (в том числе с ортотропными плитами проезжей части) приближается к этой отметке, но имеются сооружения со сроком эксплуатации 30-40 лет.

К настоящему времени по данным диагностики на пролётных строениях этих мостов зафиксированы более 170 усталостных трещин следующих типов:

1. Трещины в металле элемента основного сечения (в стенках главных продольных балок у верхних и нижних концов швов приварки вертикальных ребер жесткости).
2. Трещины в сварном шве сплавления элементов основного составного сечения (**рис. 2**).

3. Трещины в сварном шве прикрепления продольного ребра жесткости ортотропной плиты к листу настила, часто сопровождаются выходом в металл ребра и листа настила, могут иметь значительную длину (рис. 3).
4. Трещины в вертикальных ребрах жесткости у верхнего пояса балки, начинаются от закругленной части выреза в ребре и распространяются под углом 45° (рис. 4).
5. Трещины в сварных швах соединения вертикальных ребер жесткости с основными элементами конструкции (поясами и стенками главных балок) (рис. 5).
6. Трещины в сварном шве прикрепления фанонки связи к элементу основного сечения.



Рис. 2. Трещины типа 1 и 2



Рис. 3. Трещина типа 3



Трещина типа 4

Рис. 4. Трещина типа 4



Рис. 5. Трещина типа 5

Трещины *типов 1 и 2*, как правило, возникают при наличии зазоров в «сухариках» в местах прикрепления продольных и поперечных связей к ребрам жесткости.

Трещины *типа 3* возникают в угловых сварных швах ребер жесткости, расположенных под траекторией движения колес транспортных средств.

Трещины *типа 4* возникают в ребрах жесткости, имеющих жесткое прикрепление к верхнему поясу главных балок в местах прикрепления продольных и поперечных связей.

Статистическими методами можно установить наиболее вероятные места появления повреждений, однако при регулярных осмотрах сооружений для инженеров представляет интерес не вероятностное, а фактическое и заранее неизвестное состояние конструкций, что обуславливает необходимость проведения трудоемкого (а иногда и небезопасного) визуального осмотра.

Следует отметить, что если визуальное выявление усталостных трещин большой длины, как правило, не вызывает трудностей, поскольку

часто о наличии трещины свидетельствуют следы хорошо видимых коррозий, то визуальная диагностика коротких трещин (например, *мина 5*) затруднительна (как правило, требуется использовать капиллярный метод), а зарождающихся повреждений, не отразившихся еще на поверхности, невозможна.

Кроме того, ни визуальным способом, ни даже методом ультразвуковой дефектоскопии невозможно определить ни склонность трещины к дальнейшему развитию, ни скорость ее развития. Ультразвуковая дефектоскопия также не позволяет с точностью выявить зарождающуюся трещину. При помощи метода магнитной памяти металла можно установить наличие возможных концентраторов напряжений, а также определить зарождающиеся повреждения. Однако оба указанных метода являются достаточно трудоемкими, поскольку для диагностики требуется непосредственное обеспечение контакта с поверхностью, специальная подготовка поверхности, проведение многократных измерений в одном узле для получения полной картины состояния сварных швов. Кроме того, метод магнитной памяти был серьезно раскритикован на заседании РОНКТД из-за отсутствия метрологической достоверности [2]. При этом получение надежных результатов зависит, в том числе, и от опыта оператора. Метод инфракрасной термографии не имеет таких недостатков. С его помощью можно проводить бесконтактную диагностику (в том числе, от места положения оператора – со стандартных смотровых ходов и даже, в случае применения специальных телеобъективов, с больших расстояний), что позволяет увеличить скорость диагностирования и повышает безопасность проведения работ. Кроме того, метод инфракрасной термографии позволяет проводить диагностику по относительно большой площади, а не в отдельных точках, как при применении указанных ранее методов – например, площадь сканирования с расстояния в 1 м в зависимости от разрешающей способности может составлять 0,3 x 0,4 м, минимальная площадь распознавания – 0,05 мм² [3, 4]. Использование специального программного обеспечения позволяет выводить результаты в реальном времени в интуитивно понятной форме – на экране компьютера участки термограмм, имеющие различную температуру, традиционно представляются «холодными» цветами (синий, фиолетовый и т.д.) – для менее нагретых участков, а «теплыми» цветами (желтым, красным и т.д.) – для более нагретых участков. При такой форме выдачи результатов строгость требований к квалификации исполнителя снижается. По сути, единственным ограничением метода инфракрасной термографии в силу его термодинамической природы по сравнению с распространенными методами неразрушающего контроля является необходимость проводить измерения под движущейся нагрузкой.

Применяемые методы и оборудование

Метод инфракрасной термографии для мостов основан на регистрации эффекта изменения теплового излучения при деформировании конструкции. В адиабатических условиях (которые, как правило, реализуются в мостах) и упругом поведении материала такое изменение может быть оценено как изменение температуры поверхности элемента в зависимости от изменения суммы главных напряжений под воздействием переменной нагрузки. Такое явление известно как термоупругий эффект [5] и описывается уравнением Кельвина:

$$\Delta T = - \frac{\alpha}{\rho C_p} T \Delta \sigma, \quad (1)$$

где

α – коэффициент температурного расширения;

ρ – плотность материала;

C_p – теплоёмкость при постоянном давлении;

T – абсолютная температура.

Для применения теплового метода контроля усталостных повреждений в элементах металлических пролётных строений применяются тепловизионные камеры, позволяющие регистрировать электромагнитное излучение в инфракрасном диапазоне. В ходе представленного в данной статье исследования применялся тепловизор с неохлаждаемым микроболометром Fluke Ti400 со стандартным объективом; тепловая чувствительность прибора составляла 0,05 К, частота съёмки – 9 Гц, размер матрицы – 240 × 320 пикселей, инфракрасный диапазон – 8-14 мкм. Следует отметить, что использование данной камеры экономически целесообразно, с учетом ее малых габаритов и веса, а также относительно невысокой цены.

На **рис. 6** показано сопоставление изменения напряжений, полученных в рамках представленного исследования с помощью тензодатчиков в продольном ребре жесткости ортотропной плиты, с изменениями температуры поверхности ребра.

Как следует из приведенных данных, пропорциональность $\Delta\sigma$ и ΔT , описанная уравнением (1), подтверждается. Кроме того, при уровне напряжений 50-60 МПа и выше тепловизионная съёмка позволяет также получать значения напряжений в элементах конструкций.

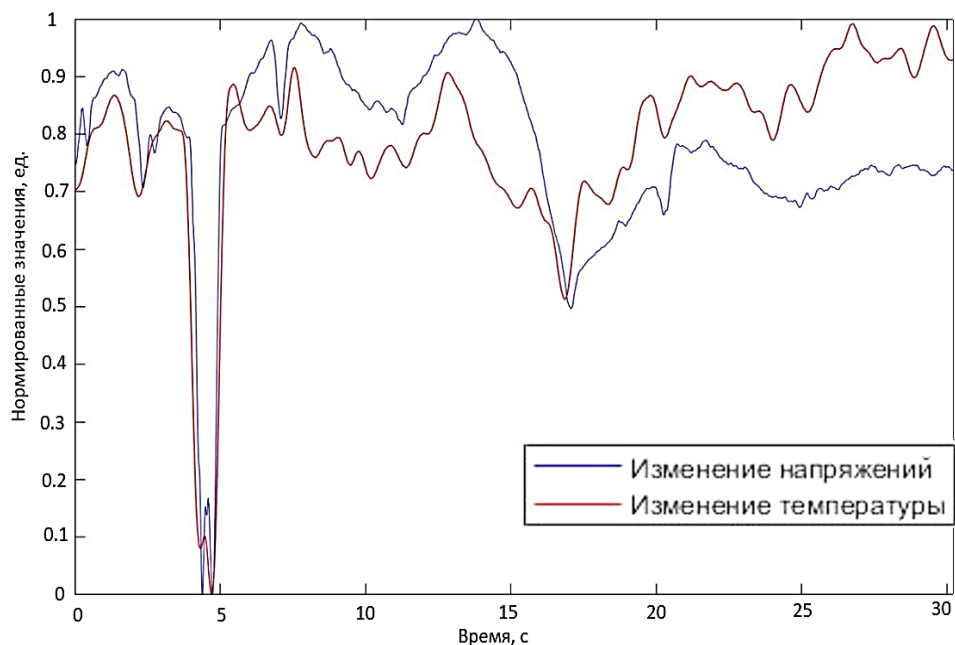


Рис. 6. Графики изменения температуры и напряжений

Полевые исследования сварных узлов конструкций пролетных строений

В работе [3] были исследованы сварные узлы железнодорожных пролетных строений, которые уже имели усталостные трещины. В сочетании с высоким уровнем напряжений и длительностью регулярного воздействия железнодорожной нагрузки, получаемый инфракрасный сигнал чётко выделялся из теплового шума камеры и беспрепятственно обрабатывался разработанным в [3] алгоритмом.

Однако такой подход не дал эффективного результата при обработке результатов съёмки сварных узлов пролётных строений автодорожных мостов. Это связано с нерегулярностью (кратковременностью) и случайностью воздействия транспортных средств, а также относительно небольшой величиной нагрузок по сравнению с железнодорожной. Кроме того, в новом исследовании авторами была поставлена задача выявления усталостных повреждений на стадии их зарождения. Всё это потребовало разработки другого подхода к обработке результатов инфракрасной съёмки.

Для выявления относительно слабых инфракрасных сигналов, глубоко спрятанных в тепловом шуме камеры, был применен подход к

обработке сигнала, предложенный в [6]. Этот подход заключается в корреляции зашумлённого температурного сигнала с эталонным, полученным из той же серии термограмм и названный в [7, 8] методом самосинхронизированной термографии. Корреляция выполняется попиксельно методом наименьших квадратов, т.е. для каждой точки термограммы вычисляются коэффициенты a и b . Для дальнейшего анализа принимается коэффициент a , распределение которого указывается на итоговом изображении (2).

$$a = \frac{\sum S \cdot \sum F^2 - \sum (S \cdot F) \cdot \sum F}{N \sum F^2 - (\sum F)^2}, \quad (2)$$

где

N – количество кадров в записи;

S – значение температурного сигнала в данной точке;

F – значение опорного сигнала в той же точке.

Для применения метода инфракрасной термографии на практике предлагается следующий алгоритм действий.

1. Для проведения измерений камера должна быть расположена максимально неподвижно относительно области измерения. При необходимости зона измерения может быть покрыта графитовым спреем для повышения излучательной способности. Расстояние съемки определяется пространственным разрешением iFOV камеры. Для получения эффективных результатов пространственное разрешение должно быть не более 1 мм. Длительность съемки должна быть достаточной для того, чтобы зафиксировать существенное нагружение конструкции проходящими тяжеловесными автотранспортными средствами. Как правило, для этого достаточно 1-3 с, однако при длительных перерывах между автомобилями может потребоваться и большее время.
2. Для компенсации возможных взаимных перемещений камеры и объекта съемки рекомендуется применить кросс-корреляцию, как описано в [3].
3. Поскольку метод наименьших квадратов пригоден для синхронных сигналов, то выбор области эталонного сигнала на конструкции определяется синфазностью (или почти синфазностью) колебаний под нагрузкой с областью интереса (ROI). Такой выбор выполняется пробными расчетами.
4. Затем выполняется пространственное осреднение эталонного сигнала по выбранной области размером $n \times n$ пикселей в каждый

момент времени. Размер n эталонной области определяется пробными расчетами, начиная с наименьшего значения 3×3 и увеличивается до тех пор, пока разница осредненных сигналов не станет пренебрежимо малой. В нашем случае принималось осреднение по 15×15 пикселям.

5. После формирования опорного сигнала запись разделяется на участки (окна), и для каждого участка рассчитываются значения коэффициента a по формуле (2). Выбор и размер окон определяется наибольшей информативностью итогового изображения.

Разработанный алгоритм был применен для диагностики усталостных трещин в элементах пролётных строений мостов, расположенных на федеральных автомобильных дорогах (через реку Иртыш на обходе г. Омска, через реку Протока в районе г. Славянск-на-Кубани), а также больших и внеклассных мостов другой административной принадлежности (через реку Иртыш в г. Ханты-Мансийске и через реку Обь у г. Сургут).

Диагностика усталостных трещин типа 1 и 2

Рассмотрим проведение обследования сталежелезобетонного пролётного строения (рис. 7). Инфракрасная съёмка данного объекта проводилась с расстояния не более 20 см в момент прохождения автомобильной нагрузки. Исследовался узел, показанный на рис. 2. Расположение оборудования показано на рис. 8. По результатам съёмки был получен пакет термограмм, который затем был обработан специально разработанным алгоритмом. Результаты обработки представлены на рис. 9 и 10.

Как следует из приведенных рисунков, наилучшим образом разогрев зафиксирован на трещине, отделяющей верхний пояс стальной балки от стенки (рис. 9 б). Значительно меньшая интенсивность диссипации энергии отмечена в вершине трещины в стенке балки по концу верхнего сварного шва (рис. 10 б).

Это указывает на то, что трещина, показанная на рис. 8, продолжает интенсивно развиваться, и это подтверждается значительным (более 30 %) увеличением ее длины за 4 года. При этом трещина, показанная на рис. 9, развития не получила.

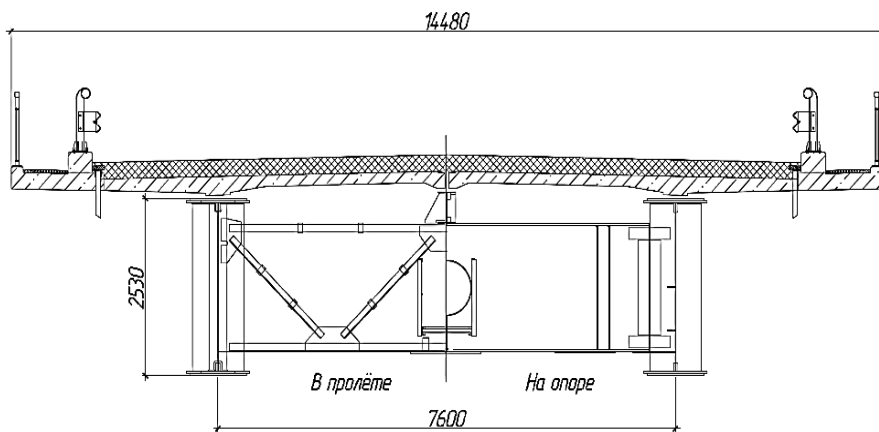


Рис. 7. Поперечное сечение сталежелезобетонного пролетного строения

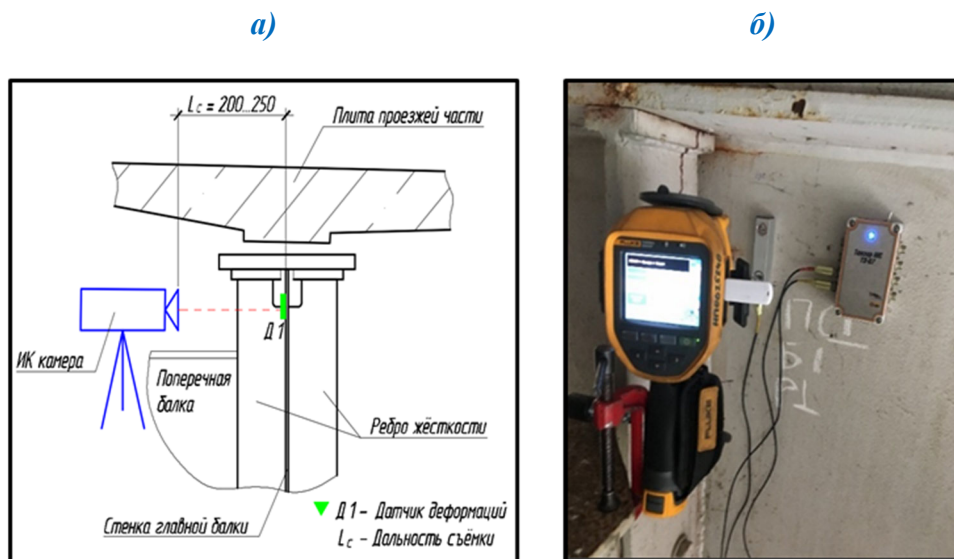


Рис. 8. Расположение оборудования:
а) схема; б) фотоснимок размещения датчиков

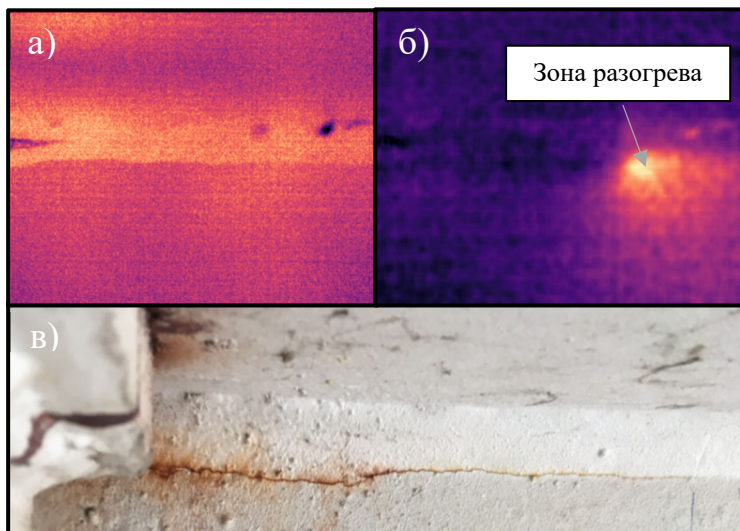


Рис. 9. Результаты инфракрасной съёмки трещины в сварном шве крепления стенки и полки (тип 2):
 а) исходная термограмма; б) распределение коэффициента а;
 в) фотоснимок трещины

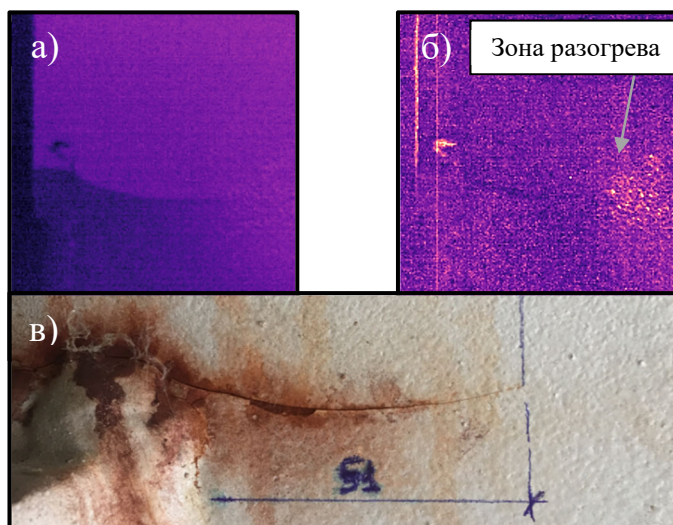


Рис. 10. Результаты инфракрасной съёмки трещины в сварном узле крепления ребра жесткости к стенке (тип 1):
 а) исходная термограмма; б) распределение коэффициента а;
 в) фотоснимок трещины

Оценка склонности трещин к росту

Исследовались трещины в узлах нижней ортотропной плиты (рис. 11). Наблюдения выполнялись с интервалом в 7 месяцев. Первоначально были зафиксированы трещины длиной от 5 до 65 мм.

При повторном осмотре были обнаружены новые трещины, имеющие относительно малое развитие (длиной до 17 мм) и расположенные в пределах катета сварного шва без выхода в нижний горизонтальный лист ортотропной плиты. Проведенные термографические исследования показали, что большинство этих трещин не обладали признаками дальнейшего роста, однако несколько трещин, имевших относительно небольшое развитие и выходы в основной металл нижнего листа ортотропной плиты, характеризовались локальным разогревом в своих вершинах под действием циклической нагрузки, что свидетельствует об их активности.

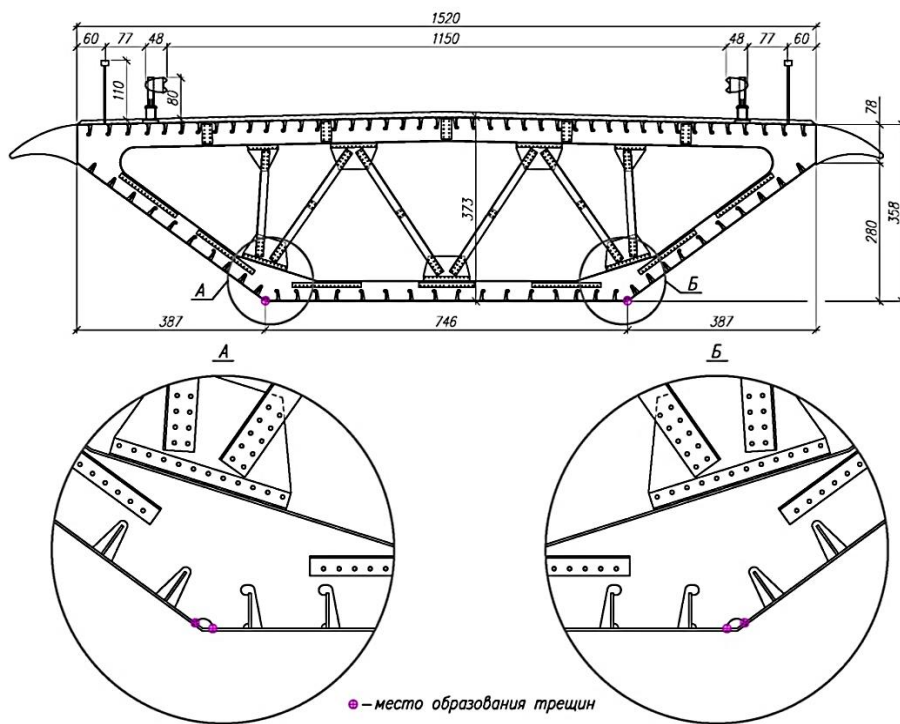


Рис. 11. Схема расположения трещин в сварных швах прикрепления поперечного ребра к листу настила нижнего блока ортотропной плиты подвесного пролетного строения внеклассного моста

На **рис. 12-14** приведены термограммы некоторых из исследованных больших, средних и коротких трещин. Эти термограммы показывают, что рост больших трещин в основном прекратился (тепловые аномалии отсутствуют; видимый рост трещин не зафиксирован), малые и средние трещины сохраняют активность, что подтверждается увеличением длины некоторых из них (в основном коротких).



Рис. 12. Трещина большой длины:
тепловые аномалии отсутствуют; длина трещины не изменилась

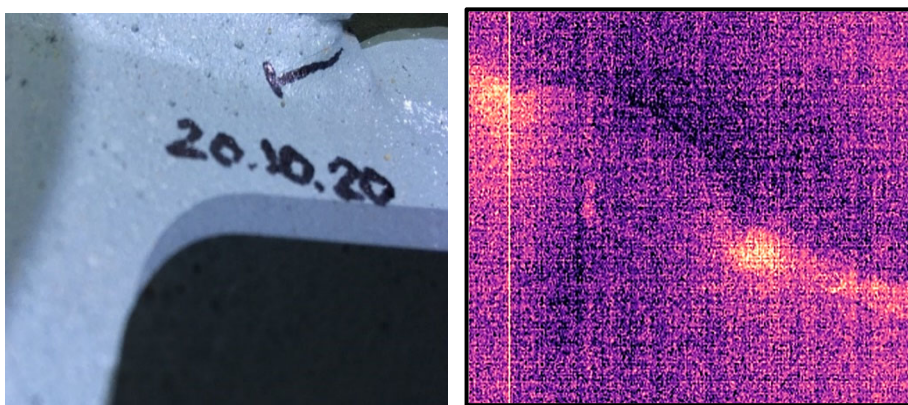
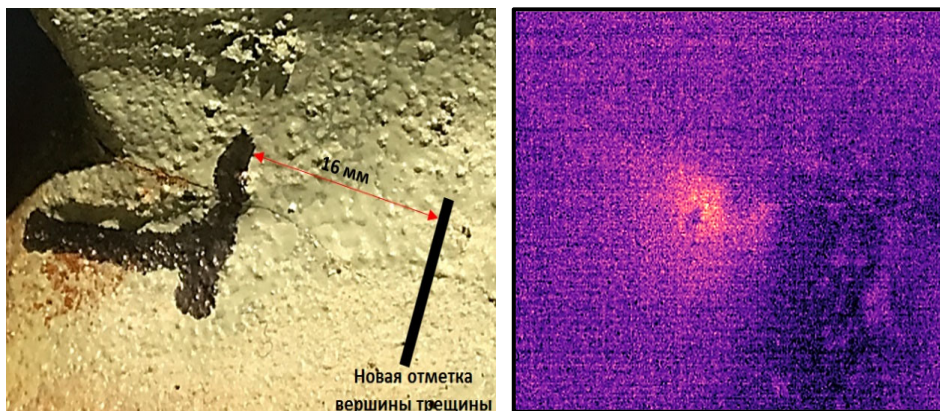


Рис. 13. Трещина средней длины:
*в вершинах трещины наблюдается разогрев;
длина трещины не изменилась*



*Рис. 14. Трещина короткая:
в вершине трещины наблюдается разогрев;
наблюдается рост трещины*

Диагностика трещин типа 3 (рис. 3)

Металлическое пролётное строение с ортотропной плитой проезжей части (**рис. 15**).

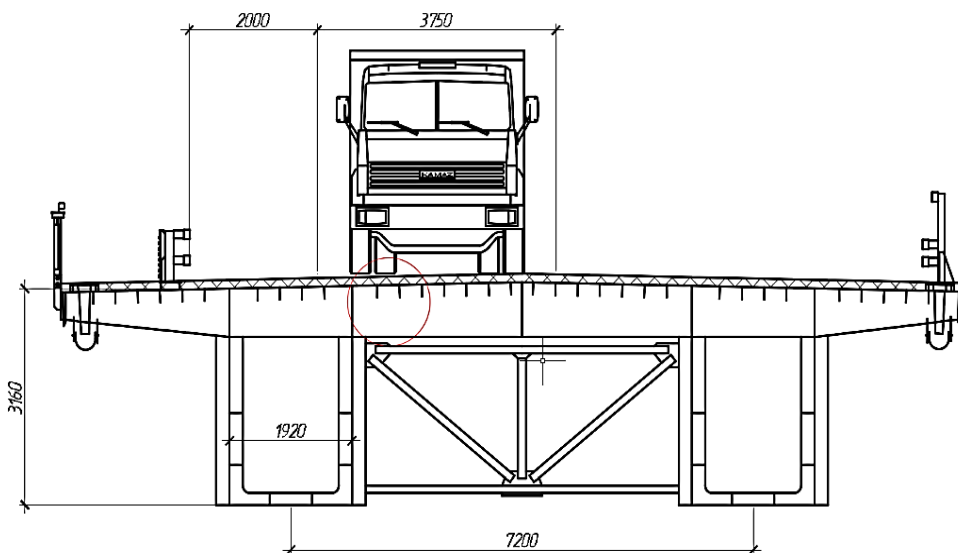


Рис. 15. Поперечное сечение пролётного строения с ортотропной плитой проезжей части

Для контроля напряжений в сечениях продольных рёбер и листе настила были установлены тензометрические датчики измерительной системы Тензор-МС с базой 50 мм. Датчики были установлены на наиболее нагруженных продольных рёбрах и на листе настила между этими рёбрами. Как показали измерения, размах напряжений в продольных ребрах от действия проходящей нагрузки составляет порядка 60-80 МПа.

Инфракрасная съёмка проводилась с расстояний не более 0,2 м под проходящей нагрузкой. Результаты съёмки представлены на **рис. 16** и **17**. На обоих рисунках четко фиксируется разогрев материала в вершинах трещин, что подтверждает склонность трещин к дальнейшему развитию.

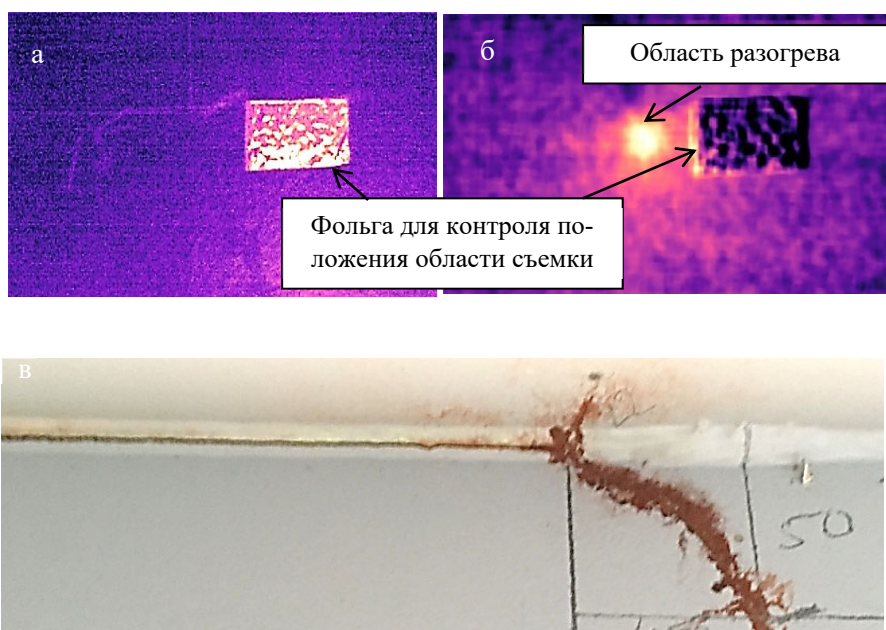
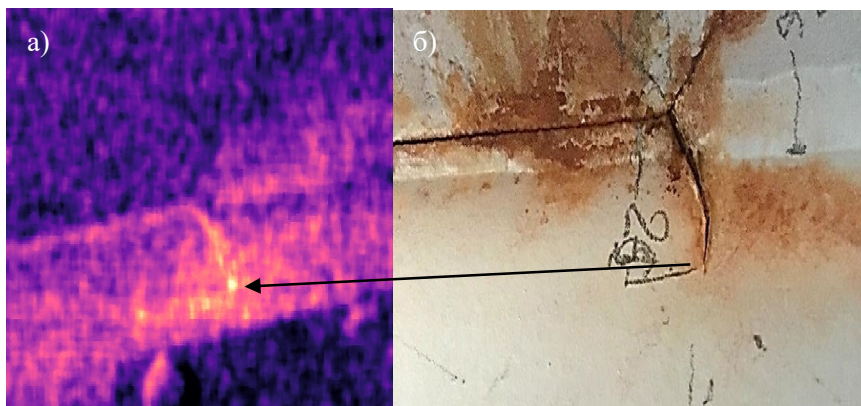


Рис. 16. Результаты инфракрасной съёмки трещины типа 3:
а) исходная термограмма; б) распределение коэффициента a ;
в) фотоснимок трещины



*Рис. 17. Результаты инфракрасной съёмки трещины типа 3
а) распределение коэффициента a ; б) фотоснимок трещины*

Диагностика трещин типа 5

Пролётное строение с ортотропной плитой проезжей части большого моста (**рис. 18**).

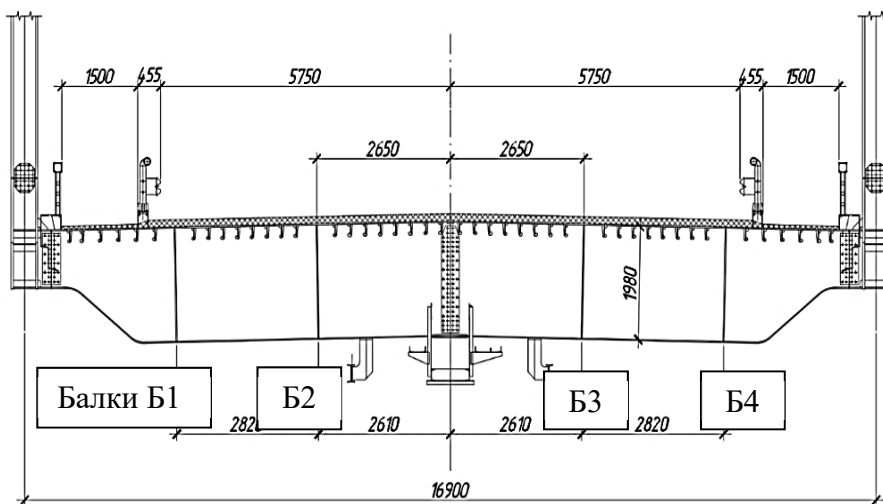


Рис. 18. Поперечное сечение пролётного строения

Во время выполнения работ по обследованию были обнаружены многочисленные трещины в сварных швах прикрепления вертикального ребра жёсткости к листу настила ортотропной плиты проезжей части (**рис. 19**).

Поскольку при проведении капиллярного исследования поверхность металла была зачищена от краски, то для проведения теплового контроля зона трещины была обработана графитным спреем. Расположение оборудования представлено на **рис. 20**. Контроль выявленных усталостных трещин проводился под обрабатываемой нагрузкой с расстояния 20-25 см.

По результатам инфракрасной съёмки был получен пакет термограмм, который далее был обработан по алгоритму, описанному ранее. Полученное итоговое изображение с распределением коэффициента a представлено на **рис. 21**, на котором четко выявляется саморазогрев материала в области трещины.

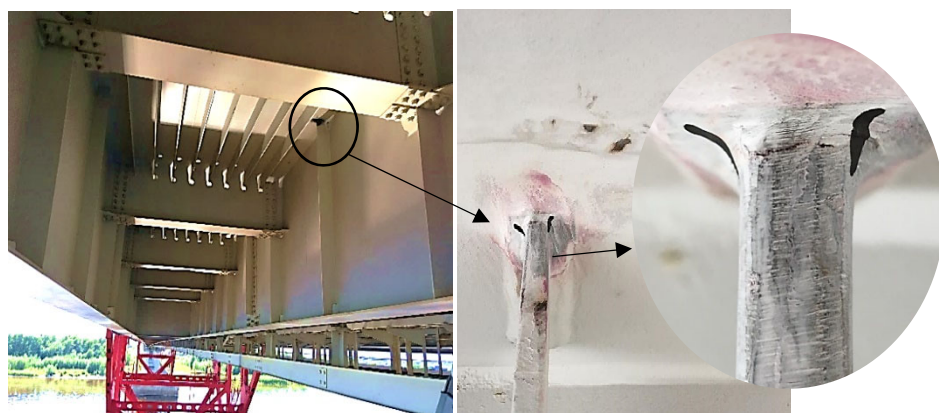
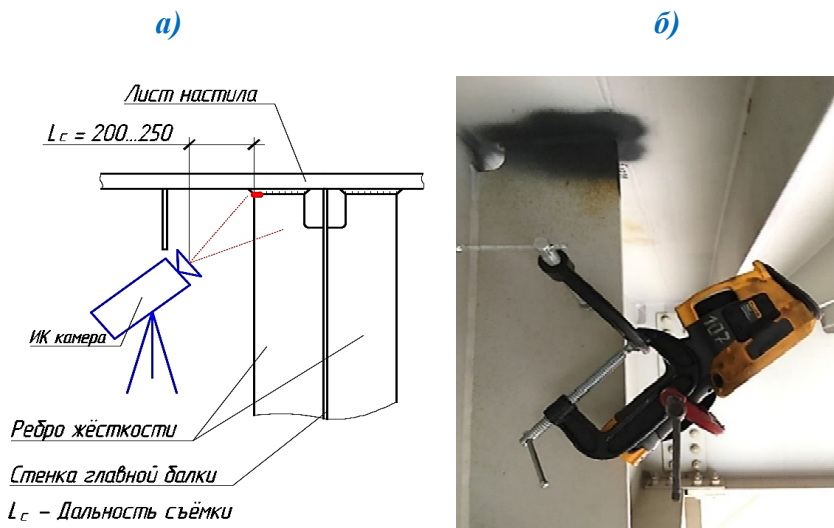


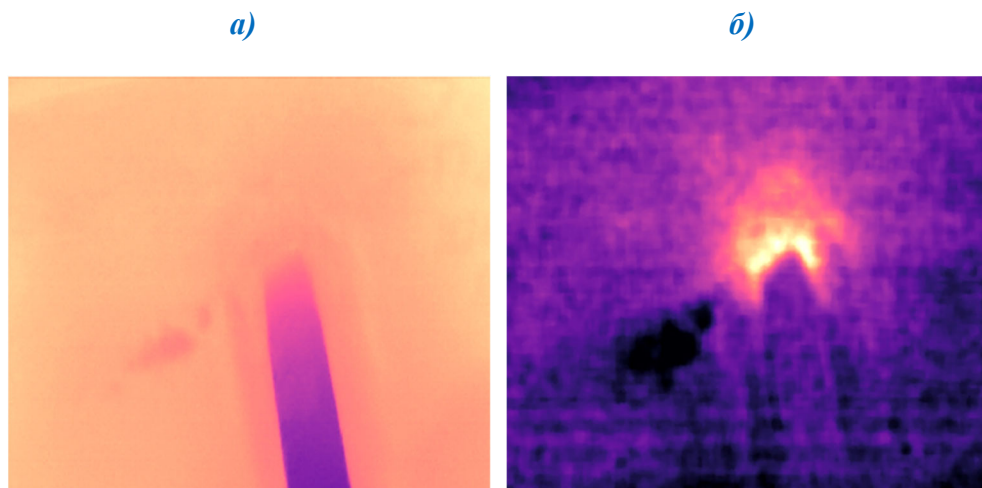
Рис. 19. Образование усталостной трещины в сварном узле конструкции

Выявление скрытых повреждений

С помощью метода инфракрасной термографии на конструкции, рассмотренной выше, также был проведен контроль скрытых усталостных повреждений, не отразившихся ещё на поверхности. Тепловизионный контроль показал, что не все трещины были выявлены капиллярным способом, визуальным осмотром, а также ультразвуковой диагностикой. На **рис. 22** показан узел конструкции, не имеющий видимых усталостных повреждений.



*Рис. 20. Расположение оборудования для инфракрасной съёмки
а) схема; б) фотоснимок размещения приборов*



*Рис. 21. Результаты инфракрасной съёмки сварного узла:
а) исходная термограмма; б) распределение коэффициента α*

На **рис. 23** показан результат обработки пакета термограмм сварного шва без видимых трещин. Из **рис. 23** видно, что при проходе авто-

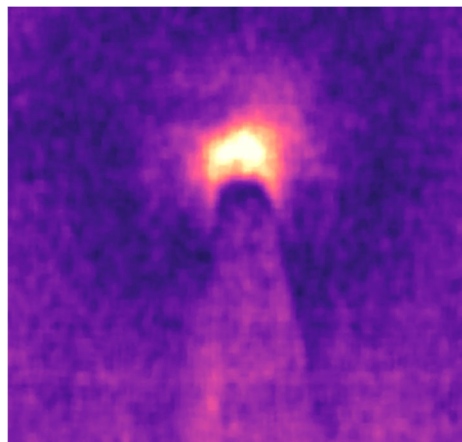
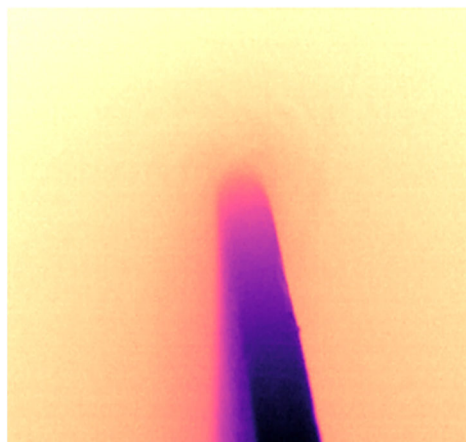
мобильной нагрузки в сварном шве наблюдается интенсивный саморазогрев материала. Это свидетельствует о протекающем процессе развития микрповреждений и указывает на появление в этой зоне видимой трещины в ближайшем времени.



Рис. 22. Изображение узла без видимой усталостной трещины

а)

б)



*Рис. 23. Результаты инфракрасной съёмки сварного узла без видимой усталостной трещины:
а) исходная термограмма; б) распределение коэффициента α*

ВЫВОДЫ

Представленные работы, выполненные на четырех автодорожных мостах, показали эффективность разработанной методики бесконтактной диагностики усталостных трещин. При этом был рассмотрен случай диагностирования образования усталостных трещин ещё до их проявления на поверхности элемента конструкции. Показана связь между интенсивностью саморазогрева вершин трещин и склонностью их к развитию. Применён метод обработки результатов инфракрасной съёмки, который позволяет получать результат даже при низкоинтенсивной нерегулярной нагрузке от тяжеловесных автотранспортных средств. Зафиксирован саморазогрев внешне бездефектной зоны, что указывает на протекающий процесс развития микроповреждений, который не был выявлен ни визуальным осмотром, ни капиллярным способом, ни ультразвуковой диагностикой. Это подтверждает возможность диагностирования скрытых дефектов методом инфракрасной термографии.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке Федерального дорожного агентства в рамках ГК 18/1-2020.

ЛИТЕРАТУРА

1. Jong F. B. P. *Overview fatigue phenomenon in orthotropic bridge deck in the Netherlands // Orthotropic Bridge Conf., California, USA. – Sacramento, 2004. – Pp. 489-512.*
2. *Протокол заседания круглого стола «Метод МПМ. Назначение, область применения и оценка эффективности» / Территория NDT. – 2017. – № 2. – С. 6-7.*
3. Соловьёв Л.Ю. *Новые технологии в обследовании мостов / Л.Ю. Соловьёв, А.Л. Соловьёв // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2020. – № 3 (54). – С. 14-20.*
4. Соловьёв Л.Ю. *Исследование тепловыделения в металлах в условиях одноосного напряженного состояния как параметра усталостных повреждений в металлических мостах // Транспортные сооружения. – 2019. – Т. 6. – № 3. – С. 10.*
5. *Thompson W. (Lord Kelvin). Trans. Roy. Soc. – Edinburgh, 1853. – Vol. 20. – 261 p.*
6. *Boyce B.R. Thermoelastic Measurement Techniques Enabled by Self-reference / B.R. Boyce, J.R. Lesniak [Электронный ресурс] //*

Link.springer.com. – Режим доступа: https://doi.org/10.1007/978-3-319-95074-7_24.

7. Sakagami T. *Nondestructive Evaluation of Fatigue Cracks in Steel Bridges Based on Thermoelastic Stress Measurement* / T. Sakagami, T. Izumi, Y. Shiozawa, D. Fujimoto, T. Mizokami, Y. Hanai // *Procedia Structural Integrity*. – 2016. – Pp. 2132-2139.
8. Sakagami T. *Remote nondestructive evaluation technique using infrared thermography for fatigue cracks in steel bridges* // *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*. – 2015. – 38. – Pp. 755-779.

L I T E R A T U R A

1. Jong F. B. P. *Overview fatigue phenomenon in orthotropic bridge deck in the Netherlands* // *Orthotropic Bridge Conf., California, USA.* – Sacramento, 2004. – Pp. 489-512.
2. *Protokol zasedaniya kruglogo stola «Metod MPM. Naznachenie, oblast' primeneniya i oценка effektivnosti»* / *Territoriya NDT*. – 2017. – № 2. – S. 6-7.
3. Solov'yov L. Yu. *Novye tekhnologii v obsledovanii mostov* / L.Yu. Solov'yov, A.L. Solov'yov // *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya*. – 2020. – № 3 (54). – S. 14-20.
4. Solov'yov L.Yu. *Issledovanie teplovydeleniya v metallah v usloviyah odnoosnogo napryazhennogo sostoyaniya kak parametra ustalostnykh povrezhdenij v metallicheskih mostah* // *Transportnye sooruzheniya*. – 2019. – T. 6. – № 3. – S. 10.
5. Thompson W. (Lord Kelvin). *Trans. Roy. Soc.* – Edinburgh, 1853. – Vol. 20. – 261 p.
6. Boyce B.R. *Thermoelastic Measurement Techniques Enabled by Self-reference* / B.R. Boyce, J.R. Lesniak [Elektronnyj resurs] // *Link.springer.com.* – Rezhim dostupa: https://doi.org/10.1007/978-3-319-95074-7_24
7. Sakagami T. *Nondestructive Evaluation of Fatigue Cracks in Steel Bridges Based on Thermoelastic Stress Measurement* / T. Sakagami, T. Izumi, Y. Shiozawa, D. Fujimoto, T. Mizokami, Y. Hanai // *Procedia Structural Integrity*. – 2016. – PP. 2132-2139.
8. Sakagami T. *Remote nondestructive evaluation technique using infrared thermography for fatigue cracks in steel bridges* // *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*. – 2015. – 38. – Pp. 755-779.

.....
**APPLICATION OF THERMAL CONTROL METHOD OF FATIGUE
DAMAGE IN WELDED SPANS OF ROAD BRIDGES**

*Ph. D. (Tech.), Associate Professor L.Yu. Solovyov,
Postgraduate Student V.A. Fedorenko
(Siberian State Transport University (SSTU))
Contact information: lys111@yandex.ru;
sky.97@bk.ru*

The article deals with the application of infrared thermography during surveys and diagnostics of road steel bridges to detect fatigue damages. The results of data analysis of fatigue cracks on the bridges located on federal roads of the Russian Federation are presented. It is reported on the results of successful experience of the application of infrared thermography for the diagnostics of fatigue cracking in road bridges in the field. Based on the least squares methods and self-synchronized thermography, the algorithm for processing thermograms has been developed that allowed to obtain results under random loading. As a result of studying the metal self-heating process at the ends of welded joints in the nodes of operated road bridges under random loading the effectiveness of the infrared thermography method for detecting fatigue damages that were not revealed by visual examination has been proved. The studies have shown the applicability of the infrared thermography method for detecting and assessing the fatigue damage development in welded spans of road bridges under random loads.

Key words: *infrared thermography, fatigue cracks, metal bridges, orthotropic deck, crack development.*

Рецензент: канд. техн. наук В.А. Селивёрстов (ФАУ «РОСДОРНИИ»).
Статья поступила в редакцию: 20.10.2021 г.