

## ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО КРАНА ЕДК-2000 АВАРИЙНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ПОЕЗДА ПУТЕМ СВОЕВРЕМЕННОГО ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ В ПИРАМИДАЛЬНЫХ ОПОРНЫХ ПОДСТАВКАХ

Отока А.Г., Холодилов О.В.

*Цель.* Проанализировать возможность применения методов неразрушающего контроля для выявления скрытых поверхностных дефектов в пирамидальных опорных подставках железнодорожных кранов ЕДК-2000 аварийно-восстановительных поездов.

*Методы.* На основании физических свойств материала объекта контроля в качестве методов выявления дефектов применялась вихретоковая и капиллярная дефектоскопия.

*Результаты.* На практике капиллярный и вихретоковый контроль показали отличные результаты по выявлению эксплуатационных дефектов, которые невозможно определить при визуальном осмотре пирамидальных опорных подставок железнодорожных кранов типа ЕДК-2000. В зависимости от состояния поверхности опорных подставок и технических особенностей применения методов, влияющих на их чувствительность, целесообразнее проводить капиллярный контроль в комплексе с вихретоковым. Приведены фотографии с индикаторными рисунками дефектов, выявляемых капиллярным методом в пирамидальных подставках. Описана технология вихретокового контроля опоры с учетом настройки чувствительности по мере СОП 2353.08 из сплава Д16Т.

*Область применения исследований.* Железнодорожный транспорт.

*Ключевые слова:* безопасность, пирамидальные опорные подставки, кран ЕДК-2000, аварийно-восстановительный поезд, капиллярный контроль, вихретоковый контроль.

(Поступила в редакцию 18 декабря 2023 г.)

### Введение

ЕДК-2000 – самый мощный железнодорожный кран данной серии (рис. 1). Его грузоподъемность составляет 250 т, а масса крана без противовесов достигает 180 т. Краны этой серии производились на немецком предприятии KIROV, отошедшем СССР в качестве возмещения за ущерб, причиненный нацистами советской экономике. Завод решили не перевозить в СССР, а восстановить и запустить на месте. Через непродолжительное время завод возобновил работу и начал выпускать краны ЕДК. В 70-е гг. XX в. предприятие вошло в комбинат TAKRAF, в составе которого просуществовало до 1990 г., когда комбинат был ликвидирован в связи с воссоединением Восточной и Западной Германии. Таким образом, на сегодня возраст данных железнодорожных кранов, используемых в железнодорожной отрасли, свыше 30 лет, впрочем, для техники данного типа это не редкость.



Рисунок 1. – Внешний вид крана ЕДК-2000

Задачи, выполняемые краном ЕДК-2000:

- разбор завалов, оставшихся после железнодорожных катастроф (например, установка на рельсы сошедших с них вагонов и локомотивов);
- строительные и монтажные работы, выполняемые как на железнодорожных станциях, так и в полевых условиях, а также разгрузка стройматериалов;
- погрузка бревен, шпал с помощью специальных захватов.

Для выполнения работ краном необходимо поставить его на опоры. Для этого на грунт выкладываются штабелем специальные деревянные шпалы. С торцов бревна окрашены в различные цвета и укладываются друг на друга определенным образом [1; 2]. В качестве основного элемента опоры, воспринимающей нагрузку, служит пирамидальная подставка (рис. 2).



а – в верхнем поднятом (нерабочем) положении



б – в рабочем положении

Рисунок 2. – Пирамидальная подставка крана серии ЕДК

### Основная часть

**Состояние вопроса.** Конструкционная безопасность грузоподъемного крана в эксплуатации, нарушение которой может привести к аварии всего подъемного сооружения, всегда будет оставаться приоритетом при проведении погрузочно-разгрузочных работ.

В целях подтверждения соответствия требованиям паспортных данных, эксплуатационной документации и других нормативных документов грузоподъемные краны в процессе эксплуатации должны подвергаться годовому контролю технического состояния (ГКТС) и техническому освидетельствованию (ТО). При этом ТО проводится в случаях, предусмотренных в руководстве по эксплуатации (инструкциях) на оборудование, по усмотрению собственника крана, а также после его ремонта, технического диагностирования, реконструкции, модернизации и т.д.

При ГКТС грузоподъемного крана проводится:

- проверка наличия и ведения эксплуатационной документации, соблюдения требований промышленной безопасности при эксплуатации кранов, в том числе установленных технических (технологических параметров);
- осмотр и проверка работоспособности.

Особая роль отводится проверке состояния металлоконструкций грузоподъемного крана и его сварных (клепаных) соединений.

В сварных соединениях не допускаются:

- трещины всех видов и направлений, расположенные в металле шва, по линии сплавления и в околошовной зоне основного металла, в том числе микротрещины, выявляемые при микроскопическом исследовании;
- поры диаметром более 1 мм при толщине металла до 20 мм и более 1,5 мм при толщине металла свыше 20 мм в количестве 4 штук на длине шва 400 мм с расстоянием между дефектами менее 50 мм;
- поры, расположенные в виде сплошной сетки;
- шлаковые и твердые включения;
- другие дефекты.

Повышенное внимание уделяется неразрушающему контролю (НК) элементов грузоподъемных кранов ходовых колес кранов и тележек, барабанов, крюков, шкивов тормозных, тормозных накладок грузозахватных приспособлений.

Методами НК подвергают сварные швы стыковых соединений поясов и стенок корабчатых металлоконструкций балок, колонн, стрел, приспособлений для грузоподъемных операций.

При этом визуальный контроль в объеме 100 % сварных соединений должен предшествовать всем остальным методам контроля<sup>1</sup>.

В связи с отсутствием статистики редких факторов с тяжелыми (крупными) последствиями с участием грузоподъемных кранов, в частности кранов на железнодорожном ходу, в статье хотелось бы обратить внимание на редкие случаи разрушения пирамидальных опорных подставок кранов ЕДК-2000, которые воспринимают основную нагрузку и являются главными элементами устойчивости крана при выполнении погрузочно-разгрузочных работ.

На рисунке 3 показано разрушение пирамидальной опорной подставки, которое произошло в результате выполнения погрузочно-разгрузочных работ на железной дороге.



Рисунок 3. – Разрушение пирамидальной опорной подставки крана серии ЕДК-2000

Такое событие может привести к тяжелым последствиям. Чтобы их избежать, следует проводить с определенной периодичностью дополнительный визуальный осмотр и НК опорной пирамидальной подставки, который в целом не регламентирован для данного объекта нормативными документами.

Анализ характера разрушения показывает, что оно произошло в угловой части пирамиды с изломом ребра жесткости в виде треугольника.

<sup>1</sup> Об утверждении Правил по обеспечению промышленной безопасности грузоподъемных кранов [Электронный ресурс]: постановление Мин-ва по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь, 22 декаб. 2018 г., № 66 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21934170p>. – Дата доступа: 03.12.2023.

На практике в местах, наиболее подверженных разрушению, необходимо более тщательно осматривать поверхность пирамидальной опоры на наличие трещин, которые впоследствии устраняются сварочными работами.

С точки зрения физики процесса сваривания возникновение трещин в сварных соединениях маловероятно, поскольку металл при сварке находится сначала в жидкой фазе, а затем, при охлаждении, – в твердой. Однако факторы, обуславливающие образование сварного соединения, являются и факторами (условиями) образования в нем трещин: нагревание, плавление, кристаллизация, охлаждение в жестком закреплении, структурные, фазовые превращения, внутренние напряжения, микро- и макронеоднородности и т.п. Получение сварного соединения без трещин скорее исключение, чем правило.

Поэтому в любом сварном соединении (особенно при сварке плавлением) трещины (хотя бы микро-) присутствуют, причем в благоприятных условиях они схлопываются, а в неблагоприятных условиях – раскрываются и обнаруживают себя.

Участки, подверженные сварочным работам, необходимо повторно проверять на отсутствие трещин непосредственно после проведения работ (после ремонта). Это же относится и к сварным соединениям после предыдущего ремонта [3].

Нормативные технические документы, по которым можно было установить браковочный критерий к пирамидальным опорным подставкам, в настоящее время отсутствуют. Ремонт сваркой производится, как правило, при выполнении технического обслуживания или ремонта крана специализированной организацией.

Пирамидальная опорная подставка имеет массу 132 кг. Материал подставки представляет собой алюминий-кремниевый сплав Si 710 v (G-Al Si7 Cu 1 1w). Его химический состав и физические свойства приведены в таблице 1.

**Таблица 1. – Химический анализ и физические свойства материала пирамидальной опоры<sup>2</sup>**

Химический состав, %				
Mg	Si	Mn	Cu	Оставшаяся часть Al
0,2–0,6	6,5–8,0	0,2–0,5	1,0–2,0	
Физические свойства				
Предел текучести, кПа/мм <sup>2</sup>	Предел прочности при растяжении, кПа/мм <sup>2</sup>	Удлинение разрыва, %	Твердость по Бринелю, НВ	Нагрузка при испытаниях, МПа
18	22	0,5	90–120	495

Сплав AlSi обладает отличными литейными свойствами, однако в чистом виде его нельзя упрочнять. Добавление меди и магния способствует высокой термостойкости и закалке. При этом добавление магния усиливает прочность, коррозионную стойкость и удлинение при разрыве. Марганец снижает склонность к слипанию отливки к форме во время литья, но меньше влияет на механические свойства. Поэтому полученный такой сплав достаточно прочный и устойчивый к коррозии даже в среде с соленой водой.

Максимальная нагрузка пирамидальной опоры крана ЕДК-2000 составляет 2380 кН, а габаритные размеры 1,0×1,0×0,8 (0,8 м<sup>3</sup>).

**Методы и средства, применяемые на практике.** Если выбирать методы НК из перечня методов, используемых на железнодорожном транспорте и с учетом материала пирамидальной опоры (сплав AlSi – токопроводящий материал), то наиболее подходящими являются вихретоковый и капиллярные методы контроля. Данные методы возможно применять и в полевых условиях.

Применение других методов НК, например магнитопорошкового, невозможно, по причине того, что он применяется только для ферромагнитных материалов.

<sup>2</sup> ЕДК 2000. Пирамидальная подставка: сертификат качества завода тяжелого машиностроения им. С.М. Кирова в Лейпциге [VEB Schwermaschinenbau S.M. Kirow Leipzig]. – Лейпциг, 1988. – 1 с.



Ультразвуковой и радиографический контроль нецелесообразен по следующим причинам:

- методы направлены на выявление внутренних дефектов, а не поверхностных;
- процесс контроля трудоемок;
- достаточно сложная конструкция опоры и большая площадь контроля;
- для контроля требуется дорогостоящее оборудование;
- применение радиографического метода требует обеспечения специальных мер по охране труда и т.д.

Вихретоковый контроль (ВТК) предназначен для выявления поверхностных и подповерхностных дефектов на небольшой глубине (рис. 4). Например, при частоте вихретокового преобразователя 70 кГц глубина проникновения вихревых токов составляет  $\approx 0,3 \dots 0,4$  мм. Обнаружение подповерхностных дефектов в алюминиевых сплавах возможно на большей глубине по сравнению с ферромагнитными материалами (сталь, чугун) из-за магнитных характеристик, влияющих на глубину проникновения вихревых токов [4; 5].

Вихретоковый контроль хорошо зарекомендовал себя на практике при обнаружении трещин в сварном шве и зоне термического влияния (рис. 4б).



а – в основном металле



б – в зоне сварного шва и зоне термического влияния между двумя отверстиями, служащими для фиксации пирамиды в верхнем поднятом положении

**Рисунок 4. – ВТК контактного нижнего основания пирамидальной опорной подставки дефектоскопом ВД-100**

Для настройки чувствительности вихретокового дефектоскопа (рис. 5) использовалась мера СОП 2353.08 из материала наиболее близкого к материалу пирамиды Д16Т (из представленного комплекта завода-изготовителя).



**Рисунок 5. – Настройка чувствительности дефектоскопа ВД-100 по искусственному дефекту глубиной 0,6 мм с шероховатостью поверхности  $R_z = 40$  мкм**

Следует отметить некоторые моменты контроля:

- шаг сканирования вихретокового преобразователя не должен превышать его диаметр;
- превышение порога срабатывания дефектоскопа сигнализирует о наличии дефекта;
- в целях выявления разнонаправленных дефектов сканирование производят в двух направлениях;
- границы дефекта определяют по прекращению срабатывания автоматической сигнализации дефекта;
- ложные дефекты должны быть идентифицированы и во внимание не принимаются.

Второй метод неразрушающего контроля, о котором мы писали выше, это капиллярный метод. Он предназначен для выявления поверхностных дефектов с шириной раскрытия до 1–2 мкм.

Метод по чувствительности практически не уступает магнитопорошковому методу, который в нашем случае невозможно применить из-за немагнитного материала пирамидальной подставки.

Капиллярный контроль (КПК) прост по технологии выполнения, доступен практически каждому и не требует высокой квалификации специалиста при оценке наличия дефекта, по сравнению с ВТК. Все, что требуется для КПК, – это наличие трех аэрозольных баллонов, содержащих очиститель, пенетрант и проявитель. Как правило, они продаются в виде готовых наборов и не требуют подбора на совместимость.

Рассмотрим последовательность выполнения КПК.

На *первом этапе* наносится очиститель, которым удаляют любые загрязнения, затрудняющие проникновение пенетранта в область трещины, и обезжиривают поверхность.

На *втором этапе* наносится сам пенетрант. Широко используется пенетрант классического красного цвета (рис. 6).



*а* – сварной шов между двумя отверстиями, которые служат для фиксации пирамиды в верхнем поднятом положении



*б* – сварной шов рукоятки



*в* – сварной шов рукоятки и глубокий концентратор в виде вырыва

**Рисунок 6. – Нанесение пенетранта в месте проведения сварочных работ и глубоких концентраторов (механических повреждений)**



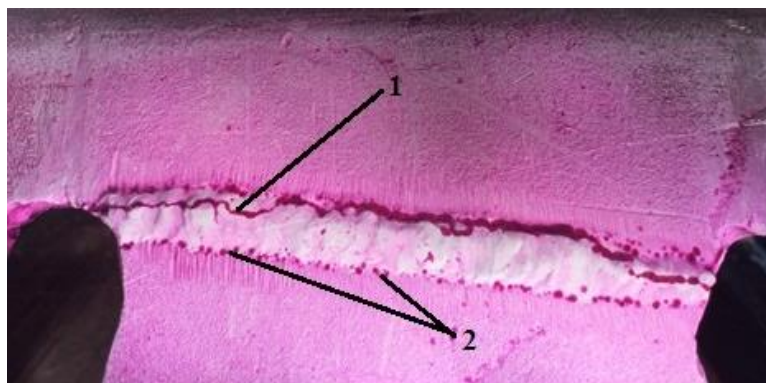
На третьем этапе удаляют излишки пенетранта (очистка осуществляется до его высыхания). Остатки пенетранта можно вытереть насухо ветошью через 5–10 мин после нанесения.

На четвертом этапе наносят проявитель и через 2–3 мин осматривают поверхность (рис. 7а) на наличие индикаторных следов глубоких дефектов, через 20–30 мин (рис. 7б) на наличие индикаторных следов мелких дефектов. В качестве проявителя используют контрастную белую краску из комплекта капиллярного набора из трех баллонов. Проявитель извлекает пенетрант из несплошностей, в результате чего формируется индикаторный след. Наличие такого цветного контраста облегчает обнаружение дефектов.

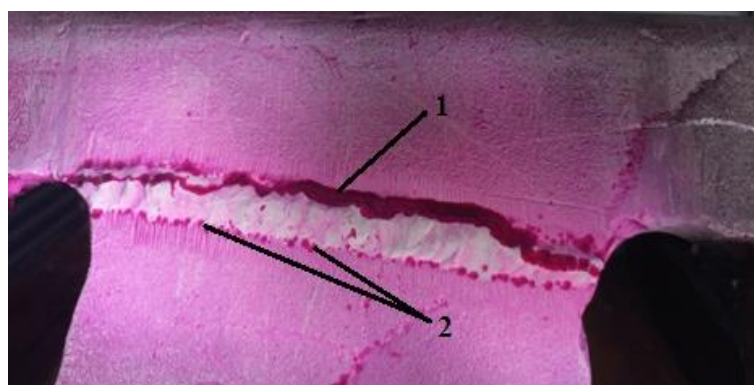
Особое внимание уделяется проявлению дефектов после выдержки 2–3 мин после нанесения проявителя. Яркость и ширина индикаторного следа косвенно указывают на развивающийся дефект. Чем больше яркость и ширина следа, тем больше дефект по своим размерам по сравнению с другими следами, обнаруженными в зоне контроля.

На пятом этапе осуществляется идентификация дефектов и регистрация результатов контроля. Так, линейный нитевидный след, как правило, свидетельствует о наличии дефекта типа трещина, заусенец, риска, царапина. След округлой формы, как правило, соответствует таким дефектам, как пора, раковина, межкристаллитная коррозия.

На шестом этапе производится окончательная очистка объекта контроля [6; 7].



а – индикаторный след после выдержки 5 мин



б – индикаторный след после выдержки 20 мин

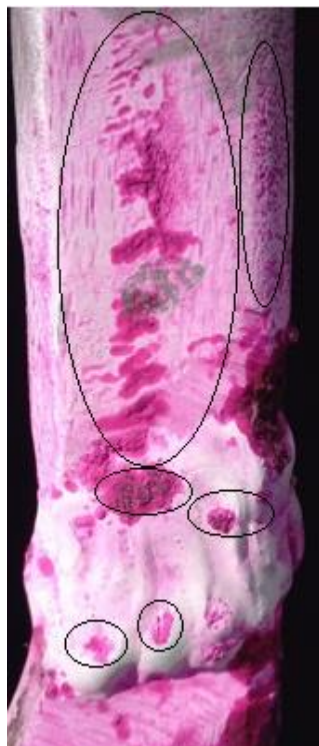
1 – трещина продольная; 2 – скопление пор

Рисунок 7. – Выявление трещины, сетки скопления пор в сварном шве и на границе сплавления

На рисунке 7а отчетливо видно внизу, на границе сплавления, сетку пор по всей длине сварного шва. Сверху, на границе сплавления с переходом на поверхность основного шва, обнаружена продольная трещина. При этом имеется поперечная трещина длиной 6 мм в виде ответвления от продольной трещины под углом  $\approx 90^\circ$ . Значительная глубина и ширина раскрытия продольной трещины наблюдаются с правой стороны со смещением от центра (середины) сварного шва (рис. 7б). Поэтому косвенно можно говорить, что эта зона является очагом развития дефекта.

На рисунках 8а и 8б хорошо видно, что рукоятки пирамидальной опоры подвержены более частым разрушениям, что подтверждается ремонтом их с помощью сварки. Если вернуться к рисунку 3, то имеется непосредственная связь обломавшегося фрагмента пирамидальной опоры с рукояткой. Отверстие рукоятки выполнено таким образом, что часть ее затрагивает нижнюю контактную часть пирамиды. Поэтому рукоятки, служащие для переноса и перемещения пирамидальной подставки в верхнее и нижнее положение, являются концентраторами напряжений. Также концентраторами напряжений следует считать зону между двумя отверстиями, которые служат для фиксации пирамиды в верхнем поднятом положении.

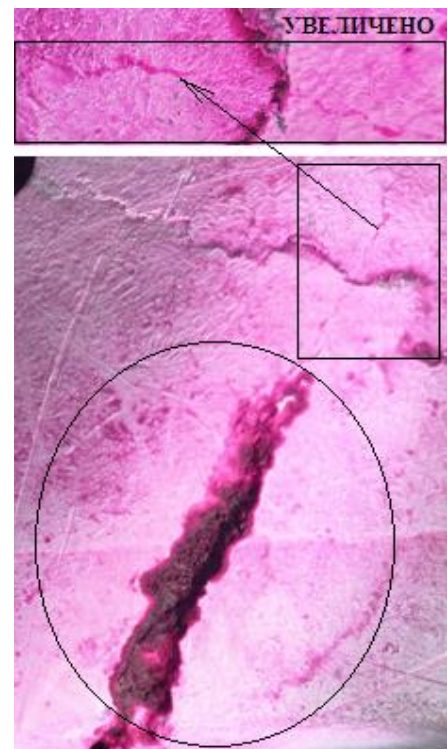
**Справочно:** концентраторами напряжений являются имеющиеся в металле трещины, несплошности и всевозможные включения с острыми краями, а также резкие переходы в детали от одного сечения к другому, отверстия, риски от механической обработки, впадины и выступы [8].



а – линейные нитевидные следы в виде растрескивания в основном металле, следы округлой формы в металле сварного шва и на границе сплавления в виде пор (рукоятка)



б – следы на границе сплавления сварного шва



в – нитевидный след в виде трещины, идущий от концентратора напряжений (вырыва)

Рисунок 8. – Обнаружение индикаторных следов

### Заключение

На основании проведенных исследований можно утверждать об эффективности обнаружения поверхностных дефектов методом КПК. Поэтому применять его следует в комплексе с вихретоковым методом. Например, в местах сварки целесообразнее проводить КПК, поскольку геометрия сварного шва не позволяет размещать вихретоковый преобразователь под углом 90°. На ровной поверхности ВТК не реагирует на грубые переходы литья, в то время как КПК отображает такие переходы в виде индикаторного следа.

В заключение хотелось бы отметить, что комплексное использование ВТК и КПК способствует повышению безопасности погрузочно-разгрузочных работ крупногабаритных грузов на железнодорожном транспорте. Своевременно обнаруженные дефекты позволяют избежать нештатных ситуаций и несчастных случаев. Приобретение набора баллонов для



КПК не приведет к серьезным финансовым затратам предприятия, а своевременный контроль является залогом надежной работы ответственного оборудования.

Для дальнейшей работы требуется лишь обучение и сертификация лица, ответственного за содержание грузоподъемных кранов в исправном состоянии по капиллярному и (или) вихретоковому методу, на уровень компетентности не ниже второго в соответствии с государственным стандартом<sup>3</sup>.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Томилин, И.П. Краны типа ЕДК. Устройство и эксплуатация: учеб. пособие для техн. школ / И.П. Томилин, Г.И. Новиков. – М.: УМК МПС России, 2000. – 157 с.
2. Восстановительные работы на железных дорогах / Н.В. Васильев [и др.]; под ред. В.М. Шитова, Н.А. Шелудько. – М.: Транспорт, 1993. – 167 с.
3. Отока, А.Г. Подтверждающий магнитопорошковый контроль после проведения сварочных работ на корпусе автосцепки СА-3 / А.Г. Отока // Сварщик в Белоруссии. – 2022. – № 2 (111). – С. 36–41.
4. Крюкова, А.И. Обоснование капиллярного метода контроля сварных швов металлоконструкции крана в АО «Северный порт» г. Москвы / А.И. Крюкова, А.И. Шевелёв // Инновационная наука. – 2022. – № 12-1. – С. 31–34. – EDN: QDASLQ.
5. Богачев, И.О. Выбор оптимального набора для капиллярной дефектоскопии / И.О. Богачев, М.Н. Давыдов, Ю.С. Ткаченко // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2018. – Т. 14, № 5. – С. 132–137. – EDN: VJWSCM.
6. Отока, А.Г. Чувствительность вихретоковых дефектоскопов различного типа при выявлении подповерхностных дефектов / А.Г. Отока, О.В. Холодилов // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2023. – № 1. – С. 23–29. – EDN: GTWYON.
7. Дымкин, Г.Я. О чувствительности вихретокового контроля деталей железнодорожного подвижного состава / Г.Я. Дымкин [и др.] // Дефектоскопия. – 2019. – № 8. – С. 47–53. – DOI: 10.1134/S0130308219080062. – EDN: QTUMEC.
8. Павлов, П.А. Сопротивление материалов: учеб. пособие / П.А. Павлов, Л.К. Паршин, Б.Е. Мельников. – СПб.: Лань, 2003. – 528 с.

---

<sup>3</sup> Контроль неразрушающий. Квалификация и сертификация персонала в области неразрушающего контроля: СТБ ISO 9712-2016. – Введ. 01.07.17. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2017. – 27 с.

**Повышение безопасности железнодорожного крана ЕДК-2000  
аварийно-восстановительного поезда путем своевременного выявления  
дефектов в пирамидальных опорных подставках**  
**Improving the safety of the EDK-2000 emergency recovery train railway crane  
by timely detecting defects in the pyramidal support stands**

***Отока Александр Генрикович***

Учреждение образования «Белорусский  
государственный университет транспорта»,  
кафедра «Вагоны», аспирант

Адрес: ул. Кирова, 34,  
246653, г. Гомель, Беларусь

Email: otokaa@mail.ru

SPIN-код: 2466-5708

***Alexander G. Otoka***

Educational institution «Belarusian  
State University of Transport»,  
Chair «Wagons», postgraduate student

Address: Kirova str., 34,  
246653, Gomel, Belarus

Email: otokaa@mail.ru

ORCID: 0009-0003-9926-9439

***Холодилов Олег Викторович***

доктор технических наук, профессор

Учреждение образования «Белорусский  
государственный университет транспорта»,  
кафедра «Вагоны», профессор

Адрес: ул. Кирова, 34,  
246653, г. Гомель, Беларусь

e-mail: olhol@tut.by

SPIN-код: 1818-4103

***Oleg V. Kholodilov***

Grand PhD in Technical Sciences, Professor

Educational institution «Belarusian  
State University of Transport»,  
Chair «Wagons», Professor

Address: Kirova str., 34,  
246653, Gomel, Belarus

e-mail: olhol@tut.by

ORCID: 0009-0005-5799-0097

## IMPROVING THE SAFETY OF THE EDK-2000 EMERGENCY RECOVERY TRAIN RAILWAY CRANE BY TIMELY DETECTING DEFECTS IN THE PYRAMIDAL SUPPORT STANDS

Otoka A.G., Kholodilov O.V.

*Purpose.* To analyze the possibility of using non-destructive testing methods to identify hidden surface defects in the pyramidal support stands of railway cranes EDK-2000 of emergency recovery trains.

*Methods.* Based on the physical properties of the material of the control object, eddy current and capillary flaw detection were used as methods for detecting defects.

*Findings.* In practice, capillary and eddy current control have shown excellent results in detecting operational defects that cannot be determined by visual inspection of pyramidal support stands of railway cranes of the EDK-2000 type. Depending on the condition of the surface of the support stands and technical features of the application of methods that affect their sensitivity, it is more expedient to carry out capillary control in combination with eddy current. The photographs with indicator drawings of defects detected by the capillary method in pyramidal stands are shown. The technology of eddy current control of the support is given, taking into account the sensitivity setting as SOP 2353.08 made of D16T alloy.

*Application field of research.* Railway transport.

*Keywords:* safety, pyramidal support stands, EDK-2000 crane, emergency recovery train, capillary control, eddy current control.

(The date of submitting: December 18, 2023)

### REFERENCES

1. Tomilin I.P., Novikov G.I. *Krany tipa EDK. Ustroystvo i ekspluatatsiya* [EDK type cranes. Design and operation]: tutorial. Moscow: Ministry of Railways of Russia, 2000. 157 p. (rus)
2. Vasil'ev N.V., Rodionov R.A., Komarov O.I., Shelud'ko N.A., Shitov V.M., Shkunov E.P. *Vosstanovitel'nye raboty na zheleznykh dorogakh* [Restoration work on railways]. Ed. by V.M. Shitova, N.A. Shelud'ko. Moscow: Transport, 1993. 167 p. (rus)
3. Otoka A.G. Podtverzhdayushchiy magnitoporoshkovyy kontrol' posle provedeniya svarochnykh rabot na korpuse avtostseпки SA-3 [Confirmatory magnetic particle testing after welding work on the body of the SA-3 automatic coupler]. *Svarshchik v Belorussii*, 2022. No. 2 (111). Pp. 36–41. (rus)
4. Kryukova A.I., Shevelev A.I. Obosnovanie kapillyarnogo metoda kontrolya svarnykh shvov metallokonstruktsii krana v AO «Severnnyy port» g. Moskvy [Justification of capillary method of control of welded seams of crane metal structure in Severnyy Port, Moscow]. *Innovation science*, 2022. No. 12-1. Pp. 31–34. (rus). EDN: QDASLQ.
5. Bogachev I.O., Davydov M.N., Tkachenko Yu.S. Vybor optimal'nogo nabora dlya kapillyarnoy defektoskopii [Comparative characteristics of kits for capillary defectoscopy]. *Bulletin of Voronezh State Technical University*, 2018. Vol. 14, No. 5. Pp. 132–137. (rus). EDN: VJWSCM.
6. Otoka A.G., Kholodilov O.V. Chuvstvitel'nost' vikhretokovykh defektoskopov razlichnogo tipa pri vyavlenii podpoverkhnostnykh defektov [Sensitivity of various types of eddy current flaw detectors when detecting subsurface defects]. *Nerazrushayushchiy kontrol' i diagnostika*, 2023. No. 1. Pp. 23–29. (rus). EDN: GTWYON.
7. Dymkin G.Y., Shevelev A.V., Kurkov A.V., Smorodinskii Y.G. On the sensitivity of eddy current testing of parts of railway rolling stock. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2019. Vol. 55, No. 8. Pp. 610–616. DOI: 10.1134/S1061830919080059. EDN: KLXPIU.
8. Pavlov P.A., Parshin L.K., Mel'nikov B.E. *Soprotivlenie materialov* [Strength of materials]: tutorial. Saint Petersburg: Lan', 2003. 528 p. (rus)