



Критерий оценки качества ремонтных работ стоек опор ЛЭП

*Егорочкина И.О.¹, Шляхова Е.А.¹, Черпаков А.В.²,
Заровный А.Г.¹, Кучеренко Д.Ю.¹, Лежнев В.Н.¹*

¹Донской государственный технический университет
²Южный федеральный университет

Аннотация: Предложен критерий оценки качества ремонта железобетонной стойки опоры ЛЭП - величина относительной адгезии ремонтных слоев к основанию (бетону стойки), определяемая методом вибродиагностики. Выполнено моделирование колебаний конструкции опоры стойки ЛЭП и проведены расчеты в конечно-элементном комплексе (КЭ) Ansys. Построена зависимость параметров собственных частот колебаний от величины повреждения при различных величинах площадей адгезии. Получены уравнения зависимости изменения собственных частот колебаний от величины адгезии определена величина относительной адгезии. Приведен расчет величины относительной адгезии ремонтного состава к бетону модельной конструкции стойки для заданных размеров области повреждения.

Ключевые слова: вибродиагностика, критерий качества, ремонт конструкций, дефект, адгезия, собственные частоты.

Одними из массово эксплуатируемых железобетонных конструкций являются железобетонные опоры воздушных линий электропередач (ЛЭП). Срок службы большинства элементов ЛЭП составляет около 40 лет, в течение которых данные конструкции подвергаются периодическому обследованию, текущему и плановому капитальному ремонту. Своевременное выполнение данных видов работ является залогом обеспечения надежной работы и продления срока эксплуатации всех элементов ЛЭП.

Существующие рекомендации по ремонту железобетонных конструкций содержат последовательность ремонтных работ, устанавливают требования к ремонтным материалам и техническим средствам для выполнения данных работ [1]. Результаты ремонтных работ оцениваются методами визуального контроля - отмечается сплошность и однородность отремонтированной поверхности, отсутствие поверхностных дефектов. Однако, для объективной оценки целостности, надежности и прочности



конструкции только визуального или выборочного инструментального контроля недостаточно. Одним из методов неразрушающего контроля является метод вибрационной диагностики, основанный на анализе параметров частот собственных колебаний конструкции. Анализ исследовательских работ показывает, что применение вибрационного метода позволяет установить интегральные характеристики прочности конструкции в целом [2-7].

Для контроля качества ремонтных работ по восстановлению целостности конструкции требуется установление оценочных критериев.

Целью исследовательской работы является установление критерия оценки качества выполнения ремонтных работ по восстановлению стоек опор ЛЭП.

Объект исследования. В качестве объекта исследований выбрана железобетонная опора стойки ЛЭП типа СВ 95–3, представляющая собой полнотелую конструкцию, находящуюся в эксплуатации более 20 лет, с разрушением защитного слоя бетона в основании и нарушением сечения конструкции, что является необходимым условием выполнения ее капитального ремонта.

Моделирование. Моделирование колебаний конструкции опоры стойки ЛЭП и расчеты проведены в конечно-элементном комплексе (КЭ) Ansys. При проведении ремонтных работ подбирались составы ремонтных смесей с учетом технических требований к конструкции, экономической эффективности и специфики региона [8-11]. В качестве ремонтного состава использован модифицированный мелкозернистый бетон, характеризующийся свойствами: модуль упругости $26,0 \cdot 10^3$ МПа, прочность в 28-суточном возрасте 35,8 МПа, плотность смеси 2360 кг/м^3 , адгезия с бетоном основания 1,6 МПа.

Для оценки качества выполненного ремонта по восстановлению

железобетонной стойки опоры ЛЭП предложен оценочный критерий - величина относительной адгезии ремонтных слоев к основанию (бетону стойки), определяемая методом вибродиагностики. Для моделирования области с имитацией различных вариантов величин адгезии ремонтных слоев к основанию рассмотрен случай, когда в отремонтированной конструкции одновременно присутствует полное сцепление слоев между собой, частичное и практически отсутствующее. В расчетах рассмотренные варианты выражены геометрической величиной площадей адгезии.

В процессе моделирования строится зависимость параметров собственных частот колебаний от величины повреждения при различных величинах площадей адгезии.

Конечно-элементная модель железобетонной опоры с дефектом в области основания представлена на рис. 1.

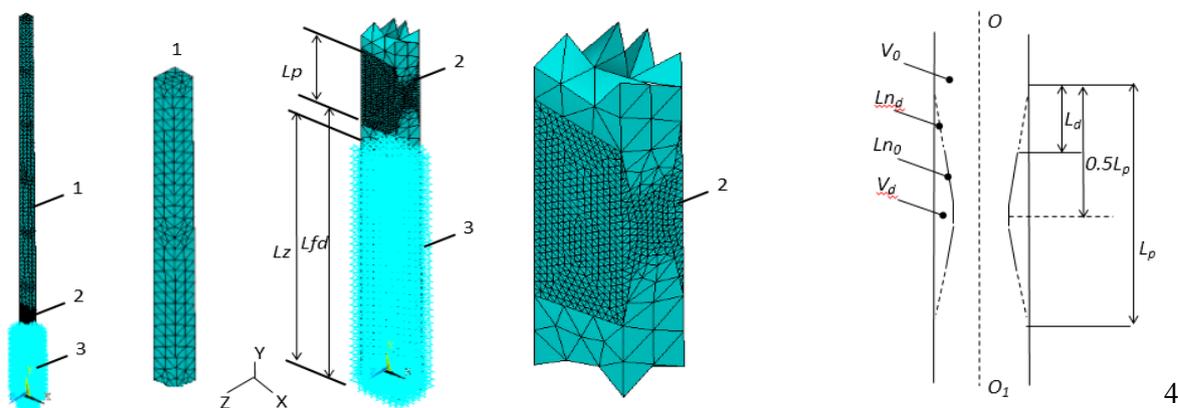


Рис.1 - Конечно-элементная модель железобетонной стойки опоры с дефектом в области основания: 1- фрагмент опоры без повреждений; 2 - поврежденная область, 3 - область основания опоры с жесткой фиксацией узлов КЭ сетки на поверхности; 4 – расчетная схема для определения адгезии: L_p - длина (протяженность) области повреждения; Ln_0 - область полного сцепления ремонтного и базового слоев; Ln_d – область с нарушением сцепления ремонтного и базового слоев; L_{fd} – расстояние от основания опоры до поврежденной области с повреждением.



Относительная величина адгезии ($\bar{\tau}$), определяется отношением длины области с нарушением контакта между отремонтированным и базовым слоем к общей длине поврежденной области:

$$\bar{\tau} = \frac{L_p - 2 \cdot L_d}{L_p}$$

Произведены расчеты собственных частот колебаний модели опоры стойки ЛЭП без повреждения, используемые как базовые, а также собственные частоты колебаний и их относительные изменения при величине адгезии $\bar{\tau} = 0,95$. Получены корреляционные уравнения зависимости оцениваемых относительных собственных частот 1 - 4 мод колебаний $\bar{\tau}_{Mi}(\omega_{di})$ к величине адгезии с достоверностью аппроксимации $R > 0,95$ (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты моделирования

Мода	Корреляционное уравнение $y = -25,523x^2 + 44,887x - 19,657$
1	$\bar{\tau}_{M1} = -0,0004\Delta\omega_1^3 - 0,0129\Delta\omega_1^2 - 0,1586\Delta\omega_1 + 0,0928$
2	$\bar{\tau}_{M2} = -0,0244\Delta\omega_2^3 - 0,1982\Delta\omega_2^2 - 0,6245\Delta\omega_2 + 0,0394$
3	$\bar{\tau}_{M3} = -0,0024\Delta\omega_3^3 - 0,0413\Delta\omega_3^2 - 0,2769\Delta\omega_3 + 0,0847$
4	$\bar{\tau}_{M4} = -0,0648\Delta\omega_4^3 - 0,3711\Delta\omega_4^2 - 0,8634\Delta\omega_4 + 0,0153$

Построены уравнения зависимости величины адгезии от относительного изменения собственных частот для заданных размеров области повреждения, определена величина относительной адгезии, составляющая в данном примере $\bar{\tau}_{cp} = 0,794$.

Заключение

Предложен критерий оценки качества ремонтных работ по восстановлению сечения конструкции – величина относительной адгезии. Представлен пример построения зависимости относительных собственных частот колебаний полнотелой конструкции от величины адгезии. Приведен



расчет оценки величины адгезии ремонтного состава к бетону модельной конструкции стойки.

Работа выполнена при частичной поддержке Минобрнауки России (проект № БЧ0110-11/2017-20), а также РФФИ (проекты № 16-08-00740, 17-08-00621, 17-08-01373).

Литература

1. Рекомендации по ремонту железобетонных опор и фундаментов металлических опор ВЛ с применением современных цементосодержащих материалов // СПО ОРГРЭС. 2006 г. – 32 с.
 2. Акопьян В.А., Рожков Е.В., Соловьев А.Н., Шевцов С.Н., Черпаков А.В. Идентификация повреждений в упругих структурах: подходы, методы, анализ: монография. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета. 2015. - 74 с. ISBN 978-5-9275-1517-2.
 3. Cherpakov, A.V., Soloviev, A.N., Gricenko, V.V., Goncharov, O.U. Damages identification in the cantilever-based on the parameters of the natural oscillations // Defence Science Journal, 2016, №1. pp. 44-50.
 4. Егорочкина И.О., Шляхова Е.А., Черпаков А.В., Соловьев А.Н. Анализ влияния дефектов в основании опоры ЛЭП на параметры собственных поперечных колебаний на основе аналитической модели. //Инженерный вестник Дона. 2015. №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2015.
 5. Акопьян В.А., Соловьев А.Н., Кабельков А.Н., Черпаков А.В. Оценка влияния поврежденности элемента строительной конструкции на параметры его спектра собственных частот методом конечных элементов // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2009. № 1. С. 55-58.
 6. Егорочкина И.О., Костыря Я.И. Алгоритм проведения комплексной диагностики конструкций незавершенного строительства // Инженерный вестник Дона, 2015, № 4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2015.
-



7. A.N. Soloviev, A.V.Cherpakov, I.O.Egorochkina, E.A.Shlyakhova, I.A. Parinov. Analytical Modeling Influence of Defects in the Base of Transmission Tower on the Parameters of its Own Transverse Vibrations // In Proceedings of the 2016 International Conference on Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications. - Nova Science Publishers, New York, 2017. pp. 379-386.
8. Способ приготовления бетонной смеси: пат. 2548263 С1 Рос. Федерация: МПК С04В 40/00 (2006.01)/ Шляхова Е.А., Питерский А.М., Шляхов М.А. и др. заявитель и патентообладатель РГСУ (RU); опубл. 20.04.2015, Бюл.№ 11.
9. Егорочкина И.О. Рекомендации по подбору состава бетонов на вторичных заполнителях с разномодульными включениями //Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2014. № 3. С. 49-53.
10. Шляхова Е.А., Холостова А.И. К вопросу повышения качества мелкозернистых бетонов на мелких песках // Инженерный вестник Дона, 2013, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2110/.
11. Шляхова Е.А., Шляхов М.А. Новый способ приготовления мелкозернистых бетонных смесей // Инженерный вестник Дона, 2015, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3377.

References

1. Rekomendatsii po remontu zhelezobetonnykh opor i fundamentov metallicheskih opor VL s primeneniem sovremennykh tsementosoderzhashchikh materialov [Guidelines for repair of reinforced concrete supports and foundations of metal supports of overhead lines with application of modern materials cimentoacademy]. SPO ORGRES. 2006. 32 p.
2. Akop'yan V.A., Rozhkov E.V., Solov'ev A.N., Shevtsov S.N., Cherpakov A.V. Identifikatsiya povrezhdeniy v uprugikh strukturakh: podkhody, metody, analiz: monografiya. [Identification of damage in elastic structures: approaches, methods,



- analysis] Rostov-na-Donu: Izdatel'stvo Yuzhnogo federal'nogo universiteta. 2015. 74 p. ISBN 978-5-9275-1517-2.
3. Cherpakov, A.V., Soloviev, A.N., Gricenko, V.V., Goncharov, O.U. Defence Science Journal 2016, №1. pp. 44-50.
 4. Egorochkina I.O., Shljahova E.A., Cherpakov A.V., Solov'ev A.N Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3432.
 5. Akop'jan V.A., Solov'ev A.N., Kabel'kov A.N., Cherpakov A.V. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Serija: Tehnicheskie nauki, 2009, № 1. pp. 55-58.
 6. Egorochkina I.O., Kostyrya Ya.I. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2015, № 4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3433.
 7. A.N. Soloviev, A.V. Cherpakov, I.O. Egorochkina, E.A. Shlyakhova, I.A. Parinov. New York: Nova Science Publishers, 2017. pp. 379-386.
 8. Sposob prigotovleniya betonnoy smesi [A method of forming a concrete mix]: pat. 2548263 S1 Ros. Federatsiya: MPK C04B 40/00 (2006.01). Shlyakhova E.A., Pitserskiy A.M., Shlyakhov M.A. i dr. zayavitel' i patentoobladatel' RGSU (RU); opubl. 20.04.2015, Byul. № 11.
 9. Egorochkina I.O. Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura, 2014, V. 14, № 3. pp. 49-53.
 10. Shlyakhova E.A., Kholostova A.I. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2110/.
 11. Shlyakhova E.A., Shlyakhov M.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2015/3377.
-