

## Особенности применения резистивного электроконтактного метода для контроля напряженно-деформированного состояния стальных конструкций

*Старший преподаватель А.В. Улыбин\*;  
магистр Г.А. Кукушкина,*

*ГОУ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет*

В процессе эксплуатации стальные конструкции подвергаются силовым, механическим, физическим и химическим воздействиям, результатом которых являются физический износ, деформации и снижение несущей способности. Для разработки мероприятий по восстановлению эксплуатационных качеств конструкций необходимо проведение обследования с целью определения их технического состояния.

Одной из основных задач, решение которой необходимо для достоверной оценки технического состояния элементов конструкций, является определение величины фактических механических напряжений в элементах конструкций, выявление их распределения по сечению и длине элемента, а также контроль над их изменением в процессе эксплуатации.

В настоящее время для решения вышеуказанной задачи разрабатываются и применяются разнообразные методы неразрушающего контроля механических напряжений.

Из теории напряженно-деформированного состояния (НДС) твердого тела известно, что существует взаимосвязь между механическими и электрофизическими свойствами металлов. В отличие от механических, электрофизические параметры сравнительно легко поддаются измерению, поэтому могут быть использованы в качестве диагностических параметров.

Сравнительно новым является резистивный электроконтактный (РЭ) метод определения напряжений в металлических элементах, разработанный и запатентованный сотрудниками ПИМаш в 2006 г. Метод основан на зависимости эффективного удельного электрического сопротивления (ЭУС) материала образца от его деформированного состояния. ЭУС соответствует удельному электрическому сопротивлению материала  $\rho$ , умноженному на отношение расстояния между контактами датчика  $l$  к ширине распространения тока  $b$  [1]:

$$\rho_s = \rho \frac{l}{b}.$$

Измерение ЭУС металлического образца может осуществляться с помощью аппаратуры СИТОН-ТЕСТ.

Основной целью РЭ метода является контроль остаточных напряжений в поверхностных слоях конструкций и изделий из металлов и сплавов [1]. Но остаточные и эксплуатационные напряжения имеют одинаковую природу, а параметры прибора позволяют создавать электрическое поле и измерять его параметры на некоторой глубине от поверхности образца. Поэтому РЭ метод был предложен для оценки НДС стальных конструкций, обусловленного воздействием эксплуатационных нагрузок [2].

На основе экспериментальных исследований, представленных в статьях [2,3], выявлено следующее:

- зависимость ЭУС от одноосных напряжений растяжения-сжатия в зоне упругих деформаций является линейной и прямо пропорциональной;
- при переходе металла в зону пластических деформаций зависимость меняется на обратно пропорциональную;
- при нагружении и разгрузке материала наблюдается гистерезис зависимости;
- при циклической нагрузке и разгрузке петля гистерезиса в каждом последующем цикле практически полностью повторяет предыдущую.

В данной статье рассмотрены результаты исследований, проведенных с целью определения факторов, влияющих на измерения при применении РЭ метода, таких как температура окружающего воздуха, марка стали, толщина образца и сила прижатия датчика.

С точки зрения квантовой теории электропроводности, электрическое сопротивление в проводнике возникает в результате рассеяния электромагнитной энергии при взаимодействии электромагнитных волн с атомами при нарушении правильного строения кристаллической решетки.

Основными источниками, вызывающими искажение кристаллической решетки, являются: тепловые колебания и движение атомов, внедрение инородных атомов других металлов, структурные изменения в сплавах, а также наличие различных несовершенств (вакансии, дислокации и т. п.).

При повышении температуры электрическое сопротивление металлических проводников возрастает, а с понижением уменьшается. Температурный фактор является одним из основных для определения возможности использования полученных зависимостей при натурном обследовании эксплуатируемых конструкций. На рис.1 представлены результаты измерений зависимости ЭУС от растягивающих напряжений при разных значениях температуры воздуха. Как видно из графиков, начальное значение ЭУС изменяется, однако зависимость не изменяет угол наклона и остается линейной.

Испытания, результаты которых описаны в статьях [2,3], проводились на стальных образцах марки СтЗсп.

На рис. 2 приведена зависимость относительного изменения ЭУС от отношения напряжений  $\sigma/\sigma_y$  при растяжении и сжатии образца из стали марки 09Г2С. Сталь марки 09Г2С классифицируется как конструкционная низколегированная для сварных конструкций и используется для изготовления различных деталей и элементов сварных металлоконструкций.

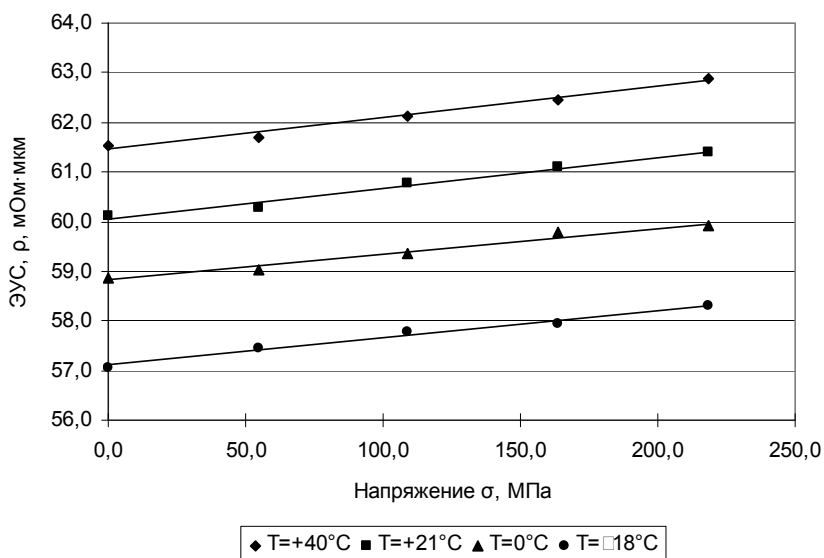


Рисунок 1. Зависимость ЭУС от напряжения при разной температуре окружающего воздуха

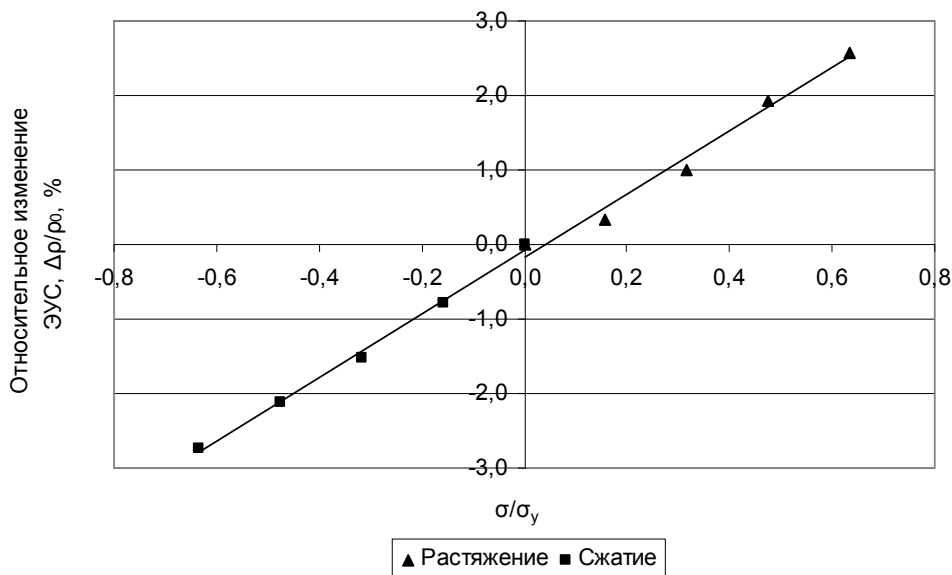


Рисунок 2. Зависимость относительного изменения ЭУС стального образца марки 09Г2С от отношения напряжений  $\sigma/\sigma_y$  при растяжении и сжатии

По графику (рис. 2) видно, что зависимость на стали другой марки также линейна и прямо пропорциональна как при сжимающих, так и при растягивающих напряжениях.

Толщина металлических элементов варьируется от 3 до 36,5 мм (полный каталог профилей ГОСТ). С целью определения влияния толщины исследуемого элемента на результаты измерений были проведены испытания на нескольких образцах различной толщины: от 4,71 до 10,15 мм. Результаты испытаний представлены на рис. 3. По результатам экспериментов выявлено, что толщина стального элемента не влияет на зависимость ЭУС от напряжения.

При использовании аппаратуры СИТОН-ТЕСТ измерение электрических параметров осуществляет специальный электроконтактный датчик. Сила прижатия датчика к поверхности образца зависит от многих параметров, таких как затяжение струбины, сила прижатия «от руки» и других косвенных факторов. Одним из основных параметров, зависящих от степени прижатия датчика, является чистота электрического контакта. Учитывая необходимость использования метода не в лаборатории, на различных конструкциях, при разных прочих условиях, влияние данного фактора на зависимость необходимо оценить.

Улыбин А.В., Кукушкина Г.А. Особенности применения резистивного электроконтактного метода для контроля напряженно-деформированного состояния стальных конструкций

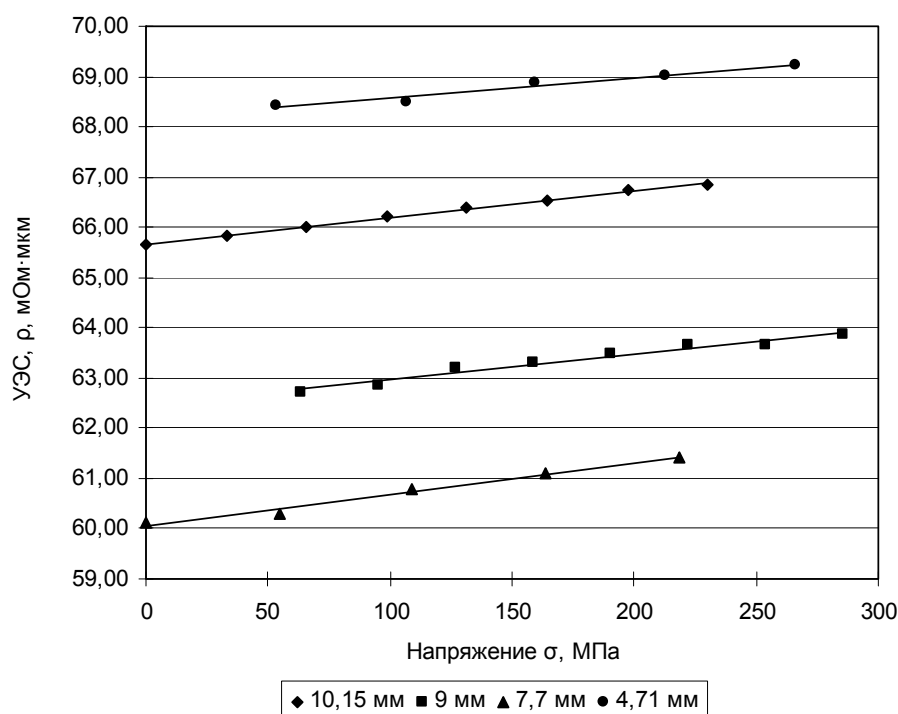


Рисунок 3. Зависимость ЭУС от напряжения при разной толщине образцов

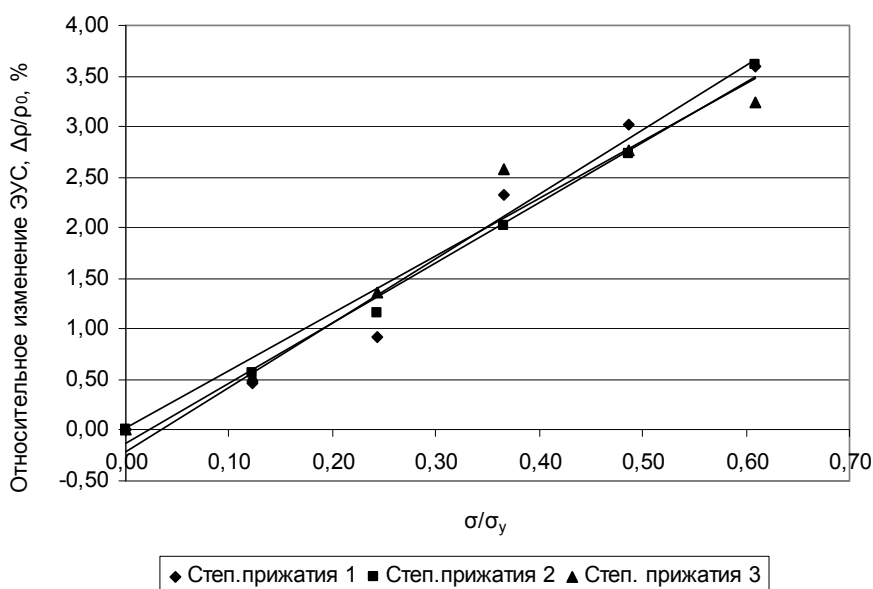


Рисунок 4. Зависимость относительного изменения ЭУС от отношения напряжений  $\sigma/\sigma_y$  при разной степени прижатия датчика измерительного прибора

На рис. 4 представлены результаты испытаний образца на растяжение при разной степени прижатия электроконтактного датчика.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы. При применении РЭ метода для определения НДС элементов конструкций такие факторы как температура окружающего воздуха, марка стали, толщина образца и степень прижатия датчика не влияют на характер зависимости ЭУС от механических напряжений при деформации образца в пределах зоны упругости.

Однако следует учитывать, что начальное электрическое сопротивление стального элемента зависит от его температуры и марки стали, из которой он изготовлен и прочих параметров.

Литература

1. Васильков С.Д., Улыбин А.В. Оценка напряженно-деформированного состояния и ресурса стальных балок с помощью резистивного электроконтактного метода // Материалы XIII научно-методической конференции ВИТУ «Дефекты зданий и сооружений. Усиление строительных конструкций». СПб.: ВИТУ, 2009. С. 39-43.
2. Улыбин А.В., Васильков С.Д. Использование резистивного электроконтактного метода для контроля напряженно-деформированного состояния элементов стальных конструкций // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2009. № 6. С. 155-160.
3. Улыбин А.В. Методы оценки напряженно-деформированного состояния стальных конструкций мостов // Транспортное строительство. 2009. №10. С. 22-25.
4. Улыбин А.В., Федотов С.Д. Применение ультразвукового метода для оценки зоны повреждения железобетона после пожара // Инженерно-строительный журнал. 2009. №7. С. 38-40.

\* Алексей Владимирович Улыбин, Санкт-Петербург  
Тел. раб.: +7(812)535-57-82; эл. почта: ulybin@mail.ru