

ИССЛЕДОВАНИЕ И НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ПРИ РАЗРАБОТКЕ НОВЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*Клименов В.А.^{1,2}, Овчинников А.А.¹, Осипов С.П.²,
Устинов А.М.¹, Штейн А.М.², Данильсон А.И.¹*

¹Томский государственный архитектурно-строительный университет

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Введение

Как известно в строительстве основным способом соединения стержневой арматуры являются сварка и соединение «внахлест». Однако в современном строительстве, когда повышаются требования по эксплуатационной безопасности сложных сооружений и повышенной устойчивости сооружений в условиях сейсмических воздействий, все чаще применяют механические соединения стержневой арматуры с помощью обжимных муфт [1]. Основной показатель качества такого арматурного соединения – это его равнопрочность. Условие равнопрочности в данном случае выполняется тогда, когда при действии разрушающих нагрузок разрушение происходит по свободному сечению арматуры, а не по обжимной муфте. В связи с тем, что в реальных строительных конструкциях такое соединение подвергается самым различным воздействиям, в лабораторных условиях были проведены исследования поведения соединения арматурных стержней обжимными муфтами при действии растягивающих и сжимающих сил, а также фрагментов строительных конструкций на действие эксплуатационных статических и кратковременных динамических воздействий.

Достоинством метода механического соединения арматурных стержней обжимными муфтами является то, что в отличие от сварки, когда требуется полный контроль качества сварных швов [2], допускается проводить контроль на стадии отработки технологии, либо по выборочным узлам. При этом в конструкциях зданий и сооружений высокого уровня ответственности контроль соединений арматурных стержней, выполненных при помощи обжимных муфт, возможен только рентгенографическим методом неразрушающего контроля [2, 3].

Экспериментальные исследования механических соединений арматурных стержней при помощи обжимных муфт методами механических (разрушающих) испытаний и неразрушающего контроля позволит не только оценить прочностные характеристики таких соединений, но и спрогнозировать их поведение в сложных эксплуатационных условиях, например при действии сейсмических воздействий.

Материалы и методы исследования разрушением

В качестве обжимных муфт для соединения арматурных стержней периодического профиля используются стальные бесшовные горячедеформированные или холоднодеформированные трубы по ГОСТ 8732-78 и ГОСТ 8734-74, материал Ст10, Ст15, Ст20, по ГОСТ 1050-88. В исследуемых конструкциях предусмотрена рабочая арматура диаметром 28 мм класса А500СП, для соединения которых предусмотрены обжимные муфты СО500-28РП с наружным диаметром от 48 до 53 мм, с внутренним диаметром до 32 мм, согласно ТУ 4848 026-77625325 – ГЛЮУ (ЗАО «ГД Энерпром»). Обжатие осуществляется прессом арматурным ПА-80 с рабочим давлением обжатия 800 атм. Общий вид образцов для испытаний на сжатие и растяжение представлен на рис.1.

Испытания на разрыв проводились на автоматизированной разрывной машине МР-500 с максимальным усилием растяжения 500 кН (50 тс), рис.2. Нагрузка создавалась по линейному закону со скоростью нагружения не более 1 кН/сек.



Рис. 1. Общий вид готовых к испытаниям арматурных стержней, соединенных обжатием муфт СО500-28РП



Рис. 2. Общий вид испытания на разрыв в испытательной машине МР-500

По результатам проведенных испытаний на растяжение соединения арматурных стержней обжимными муфтами замечено, что разрушение происходит по достижению арматурой предела текучести с образованием «шейки» при использовании обжимной муфты с наружным диаметром 53 мм (в соответствии с ТУ 4848 026-77625325), что говорит о переходе арматуры в пластическую стадию. При использовании обжимных муфт с наружным диаметром 47,8 и 48 мм в одном случае произошло разрушение также по достижению в арматуре предела текучести, а во втором случае частичное проскальзывание арматурного стержня в теле муфты, что недопустимо. Уточним, что в соответствии с ТУ 4848 026-77625325 и РД ЭО 0657-2006 «Положение по применению механических соединений арматуры для железобетонных конструкций зданий и сооружений атомных станций» для соединения арматурных стержней диаметра 28 мм обжимными муфтами необходимо использовать обжимные муфты с наружными диаметрами 51-53 мм. Объективность данных требований были подтверждены экспериментально проведенными исследованиями.

Испытание образцов на сжатие (рис. 3) осуществлялось на универсальной испытательной машине UTM 4500 (GTCS, USA) с максимальным сжимающим усилием 450тс (рис. 4). Данная испытательная машина укомплектована цифровой оптической системой Vic3D. Эта система использует принцип корреляции цифровых стереоскопических изображений с поверхности исследуемых образцов, обработанных специальными контрастными красящими материалами. Нагружение, создаваемое испытательной машиной UTM 4500 по линейному закону, не превышало скорости 1 кН/сек.

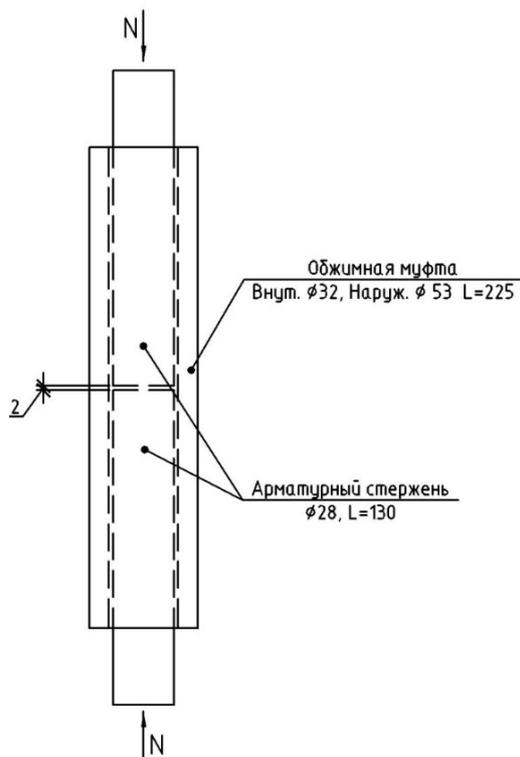


Рис. 3. Схема испытания на сжатие



Рис. 4. Общий вид испытательной машины UTM 4500

Результаты испытаний представлены в виде диаграммы деформирования «деформации-время» (рис. 5). Красным цветом показана кривая средних деформаций по всему образцу. Все остальные показывают значения деформации экстензометров, установленных по высоте образца.

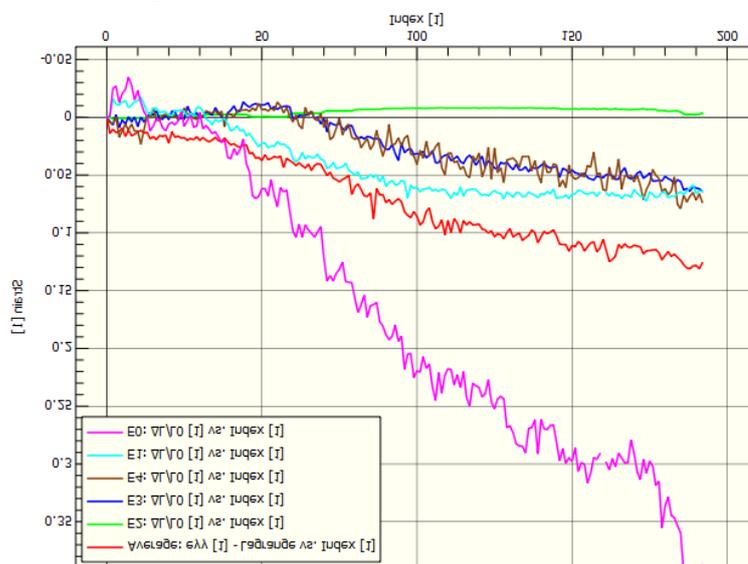


Рис. 5. Диаграмма деформирования «деформации-время»

Цифровая оптическая система Vis3D использует принцип корреляции цифровых стереоскопических изображений: программно вычисляются геометрические параметры поверхности (координаты X, Y, Z для каждой анализируемой точки), а также перемещение в каждой точке (U, V и W, указывающие перемещения по осям X, Y и Z соответственно) (рис. 6, 7, 8), относительные деформации (ϵ_{xx} – по оси X, ϵ_{yy} – по оси Y,

еху – деформации сдвига), скорости изменения перемещения и деформаций, кривизну поверхности.

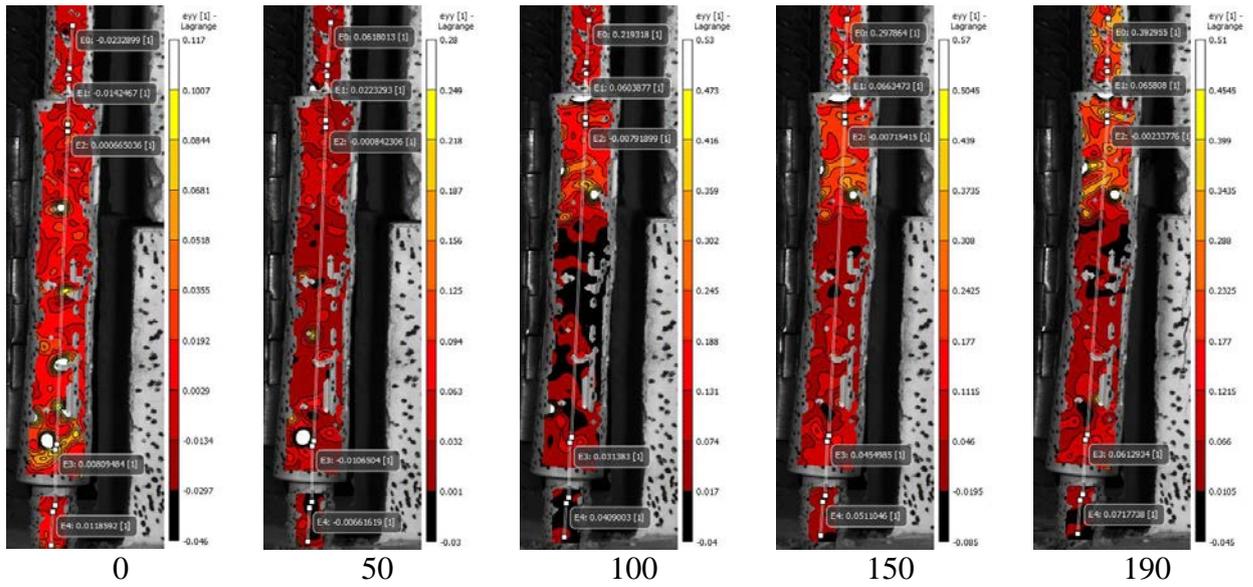
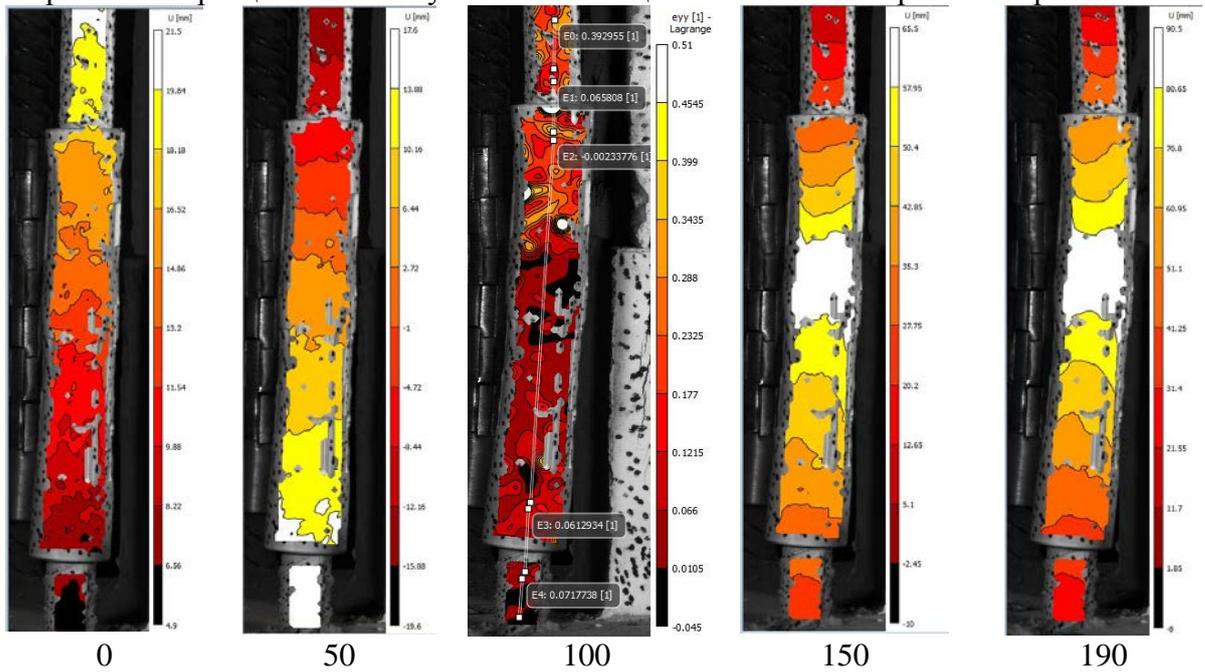


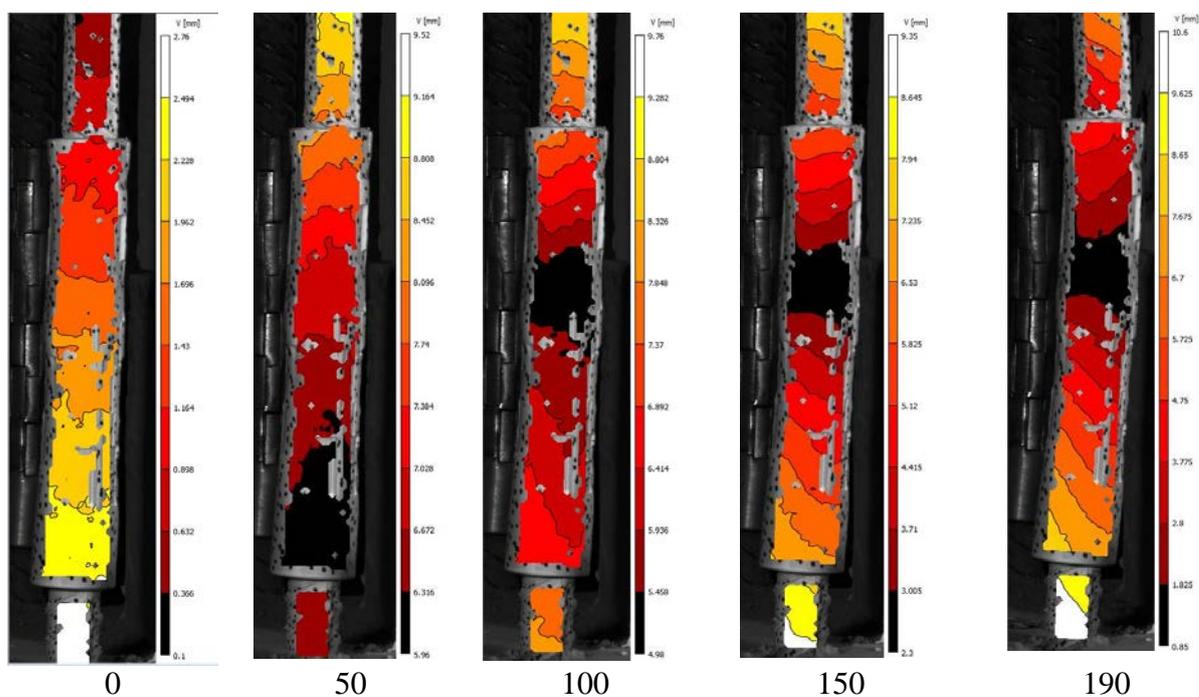
Рис. 6. Изополя распределения вертикальных и горизонтальных деформаций

Представлены картины полей распределения вертикальных и горизонтальных деформаций по поверхности образца, соответствующие времени на графике. Цвет поля на поверхности образца соответствует значениям цветовой шкалы справа от картины.



Поля горизонтальных перемещений точек поверхности

Рис. 7. Изополя распределения горизонтальных перемещений точек поверхности



Поля вертикальных перемещений точек поверхности

Рис. 8. Изополя распределения вертикальных перемещений точек поверхности

На полях вертикальных перемещений видно, что на границах муфта-арматура поля имеют одинаковый цвет, что говорит о совместной работе элементов стыка.

Данные диаграмм показали, что применение обжимных муфт для соединения арматурных стержней обеспечивает работу арматуры без проскальзывания.

Контроль соединения неразрушающим методом

Обработка технологии производства соединения арматуры анализируемым способом невозможна без применения неразрушающих методов испытаний [4, 5]. В силу особенностей объекта испытаний (ОИ) единственным методом, с помощью которого можно исследовать ОИ, является цифровая радиография. В качестве источника фотонного излучения могут быть использованы радиоизотопы, рентгеновские аппараты и бетатроны. Для оценки принципиальной возможности анализа соединения арматуры на предмет выявления дефектов были получены радиографические изображения двух тестовых образцов ОИ. Изображения сформированы с помощью цифровой радиографической системы на основе рентгеновского аппарата, излучающего фотоны с максимальной энергией 160 кэВ. Для уменьшения доли низкоэнергетических рентгеновских фотонов в спектре излучения поток отфильтровывали пластинами меди толщиной 2 и 4 мм. Используемая максимальная энергия рентгеновского излучения далека от оптимальной, поэтому для улучшения отношения «сигнал-шум», результирующее радиографическое изображение получалось усреднением 16 кадров. Рентгеновское излучение регистрировали с помощью матричного детектора Remote RadEye 200 с размером пикселя 96 мкм. Объект испытаний был максимально приближен к матрице детекторов, поэтому геометрическое увеличение было незначительным. Эффективный размер пикселя составил 88–90 мкм.

На рис. 9 приведено теневое радиографическое изображение объекта с максимальным поперечным размером 47 мм (наружный диаметр обжимной муфты), а на рис. 10 с максимальным поперечным размером 51 мм (наружный диаметр обжимной муфты). Из анализа полученных изображений можно сформулировать ряд выводов, связанных с оценкой параметров испытанных соединений арматуры.

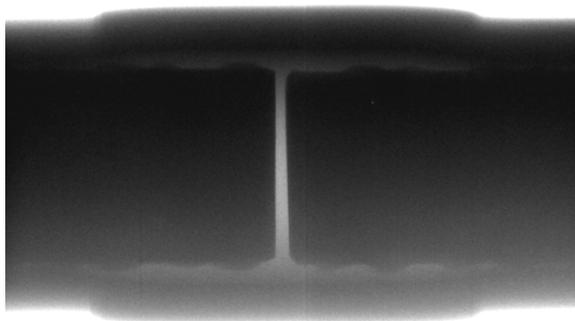


Рис. 9. Радиографическое изображение соединения арматуры с максимальным поперечным размером 47 мм

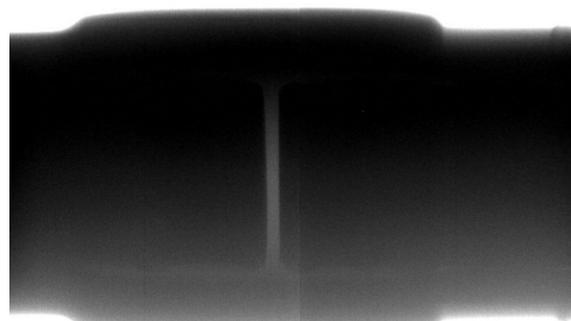


Рис. 10. Радиографическое изображение соединения арматуры с максимальным поперечным размером 51 мм

Анализ результатов рентгенографического исследования:

1. С высокой точностью (не менее чем 0,1 мм) можно измерить расстояние между двумя соединяемыми фрагментами арматуры. Для образца, радиографическое изображение которого представлено на рис. 9, расстояние между фрагментами арматуры изменяется от 0,704 мм до 1,6 мм. Для второго образца указанное расстояние изменяется в пределах от 1,6 мм до 2,05 мм.

2. Из вывода 1 следует возможность измерения отклонения плоскостей торцов фрагментов арматуры, соединяемых друг с другом, с пиксельной, а с учетом граничных эффектов, и субпиксельной точностью.

3. Наличие светлых пятен на границах контакта фрагментов арматуры и обжимных гильз свидетельствуют о недостаточно качественном соединении. Для первого образца (рис.9) указанные светлые пятна обнаруживаются даже визуально. На втором изображении светлая полоса в районе контакта арматуры и обжимной гильзы заметна только с одной стороны изображения, но не очень явно.

4. В результате обработки радиографической информации можно оценить и дополнительные геометрические характеристики исследуемого соединения арматуры, например, конечную длину и профиль обжатой муфты и т.п.

Заметим, что заключение о дефектности или отсутствии дефектов соединения возможно только на основе необходимой нормативно-технической документации. При отсутствии такой документации она должна быть разработана с учетом сопоставления радиографических изображений соединения арматуры с помощью обжимных гильз с результатами механических испытаний соединения.

Экспериментальные исследования фрагмента строительной конструкции

Испытания узлов сопряжения конструкций конструктивной системы «КУПАСС» на действие статических нагрузок (рис. 11, 12) проводились в соответствии с ГОСТ 8829-94 «Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением» и программы испытаний, разработанной специалистами лаборатории испытаний строительных конструкций кафедры «Железобетонные и каменные конструкции» Томского государственного архитектурно-строительного университета.



Рис. 11. Общий вид стыка ригель-колонна, собранного с применением обжимных муфт



Рис. 12. Общий вид испытания стыка ригель-колонна на статическую нагрузку

Нагружение при проведении экспериментальных исследований стыка ригель-колонна по системе КУПАСС производилось этапами, равными долями с величиной нагружения, составляющей 10% от разрушающей нагрузки. Исследования проводились для определения прочности, жесткости и трещиностойкости конструкции. Между этапами производилась выдержка в 10 минут для релаксации напряжений в конструкциях стыка, а на контрольных этапах (при определении прочности, жесткости и трещиностойкости) производилась выдержка в течение 30 минут согласно ГОСТ 8829-94.

По результатам проведенных экспериментальных исследований на прочность, жесткость и трещиностойкость [6] стыка ригель-колонна, собранного по конструктивной системе КУПАСС сделан вывод о том, что соединение рабочей арматуры посредством механического обжатия стальными муфтами по ТУ 4848 026-77625325, обеспечивает надежность выполнения данного узла.

Выводы по результатам исследований

1. Соединение арматуры механическим методом обжимными муфтами при выполнении требований ТУ 4848 026-77625325 обеспечивает надежное соединение, при котором разрушение происходит вне стыка по сечению арматуры, а не по узлу соединения.

2. Рентгенография как неразрушающий метод контроля качества выполнения соединения арматуры механическим методом обжимными муфтами показывает объективные данные, позволяющие контролировать качество сборки строительных конструкций без применения разрушающих методов, что значительно упрощает процесс контроля качества строительства.

3. Применение в строительных конструкциях обжимных муфт для соединения рабочей арматуры обеспечивает надежное выполнение узлов, позволяющих

проектировать и возводить здания и сооружения в сейсмически опасных районах, испытывающих как статические, так и кратковременные динамические воздействия.

Работы выполнены в рамках реализации проекта по ПП №218 (02.G25/31/0022) и частичной поддержки проекта РФФИ № 13-08-98027.

Список использованных источников

1. РД ЭО 0657-2006 «Положение по применению механических соединений арматуры для железобетонных конструкций зданий и сооружений атомных станций».
2. Эйнав И., Артемьев Б., Азизова Е., Азизова А. Неразрушающий контроль в строительстве : учебное пособие /под общ. ред. В.В. Ключева. – М.: Издательский дом «Спектр», 2012. – 311 с.
3. ГОСТ 17625-83. Конструкции и изделия железобетонные. Радиационный метод определения толщины защитного слоя бетона, размеров и расположения арматуры. – М.:
4. Алхимов Ю.В., Штейн А.М., Касьянов С.В., Бабилов С.А., Батрагин А.В., Осипов С.П. Применение и развитие методов цифровой радиографии для технической диагностики неразрушающего контроля и инспекции // Контроль Диагностика–2013– №13– С. 31–42
5. Штейн А.М., Чепрасов А.И., Клименов В.А., Князев С.В., Чахлов С.В., Белкин Д.С. Непрерывный контроль крупногабаритных изделий литейного производства // Известия высших учебных заведений. Физика–2013– Т. 56–№ 1/2–С. 267–270
6. Hadi M.N.S, Tran T.M. Seismic rehabilitation of reinforced concrete beam-column joints by bonding with concrete covers and wrapping with FRP composites //Materials and Structures– January 2015–19p.

ОСОБЕННОСТИ РЕНТГЕНОВСКОЙ АБСОРБЦИОННОЙ ПЛОТНОМЕТРИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ОБЪЕКТОВ С ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНОЙ

Осипов С.П., Чахлов С.В., Осипов О.С., Бадьин С.С., Абашкин А.Д.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

1 Введение

Задачи оценки плотности и величин, связанных с ней, характерны для многих отраслей науки, промышленности и строительства, и эффективно решаются с помощью методов, основанных на измерении ослабления гамма-излучения [1–5]. В ряде случаев применение измерителей плотности на основе источников гамма-излучения ограничено. Ограничения связаны с требованиями радиационной безопасности, недостаточно высокой активностью источника гамма-излучения, значительной толщиной объектов контроля (ОК) и т.п. В настоящее время для измерения плотности широко применяются методы цифровой радиографии, в которых в качестве источника фотонов используются источники рентгеновского излучения [6–10]. Существует ряд факторов [11–13], существенно влияющих на величину систематической погрешности оценки параметров ОК по поглощению рентгеновского или гамма-излучения. При контроле объектов с переменной толщиной наиболее значимым является эффект ужесточения пучка рентгеновского излучения, влияние которого уменьшают несколькими способами. Для однородного объекта эффективна специальная калибровка, основанная на измерении зависимости массового коэффициента ослабления рентгеновского излучения от толщины ослабляющего фильтра. В рентгеновской вычислительной томографии применяются компенсирующие фильтры [14], но этот способ отличается сложностью в технической реализации. Метод дуальных энергий (МДЭ) позволяет одновременно оценивать