

Дорогие читатели!

По соглашению с Секретариатом Международной федерации по конструкционному бетону *fib* (www.fib-international.org) редколлекцией официального журнала *fib* «Structural Concrete» («Конструкционный бетон») и издательством Wiley (<https://www.wiley.com/>) редакция открывает в журнале «Бетон и железобетон» серию публикаций «SHORT PROJECT PAPERS» («Короткие статьи о проектах») на русском языке.

fib «Structural Concrete» является одним из ведущих зарубежных отраслевых изданий. Журнал выпускается издательством Ernst&Sohn (Wiley Group), индексируется WoS и Scopus и имеет импакт-фактор 3.131. ISSN: 1464-4177 (печатная версия); 1751–7648 (online).

Журнал публикует высококачественные рецензируемые статьи, посвященные проектированию, возведению, эксплуатационным характеристикам, оценке, техническому обслуживанию, усилению и сносу железобетонных конструкций, а также освещает более широкие проблемы, например оценку воздействия железобетона на окружающую среду. Почти половина публикуемых в журнале работ связана с практическими задачами, такими как способы производства строительных работ и анализ конкретных проектов; другая половина включает в себя результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Значительная часть публикаций связана с создаваемым *fib* Модельным кодексом проектирования железобетонных конструкций.

Каждый выпуск «Structural Concrete» включает также ежеквартальный информационный бюллетень *fib* «*fib-news*», в котором содержится актуальная информация от секретариата *fib* и последние новости о событиях в *fib*, его членах и новых публикациях.

Начиная с 2018 г. журнал публикует новый тип статей для поддержки строителей-практиков и содействия их работе — «SHORT PROJECT PAPERS». Они предназначены для описания значимых уже реализованных проектов или проектов, находящихся на стадии разработки. Размер таких статей ограничен четырьмя страницами. Для их рецензирования по сравнению с обычными статьями используется упрощенный процесс.

В 2007 г. издательство John Wiley&Sons («Джон Уайли и сыновья» <https://www.wiley.com/>) отметило двухсотлетие своего существования. На протяжении всех двухсот лет оно тесно связано с развитием и эволюцией науки, формированием глобального общества. Сегодня John Wiley&Sons снабжает своей продукцией читателей во всем мире. В центре интересов корпорации издание научных, технических и медицинских журналов, энциклопедий, книг, а также онлайн-продукция и услуги. Компания выпускает учебную, научную, научно-популярную литературу и беллетристику. В ее структуры входят различные издательства и торговые дома не только в США, но и Канаде, Европе, Азии, Австралии.

Редакция журнала «Structural Concrete» заинтересована в публикации статей российских авторов о наиболее интересных реализованных в России проектах, уникальных зданиях и сооружениях, теоретических и экспериментальных исследованиях, направленных на совершенствование норм проектирования в развитие *fib* Model Code 2010.

Предложения и пожелания о подготовке таких публикаций просьба направлять в адрес Национальной группы *fib*.

Руководитель Национальной группы *fib*
Почетный пожизненный член *fib*
В.Р. Фаликман
vfalikman@yandex.ru

Йост Вальравен, факультет гражданского строительства (jcwalraven@hotmail.com)
<https://orcid.org/0000-0003-3243-8878>

Делфтский технологический университет (PO Box 5, 2600 AA Delft, The Netherlands)

Комбинированный способ защиты и усиления железобетонных конструкций для продления их срока службы: ICCP-SS

Оригинальная статья: *Synthesized intervention method to prolong service life of reinforced concrete structures: ICCP-SS. Structural Concrete. 2021. Vol. 22, pp. 590–592. <https://doi.org/10.1002/suco.202000261>*

Joost Walraven, Faculty of Civil Engineering (jcwalraven@hotmail.com)
<https://orcid.org/0000-0003-3243-8878>
Delft University of Technology (PO Box 5, 2600 AA Delft, The Netherlands)

Synthesized intervention method to prolong service life of reinforced concrete structures: ICCP-SS

Original paper: *Synthesized intervention method to prolong service life of reinforced concrete structures: ICCP-SS. Structural Concrete. 2021. Vol. 22, pp. 590–592. <https://doi.org/10.1002/suco.202000261>*

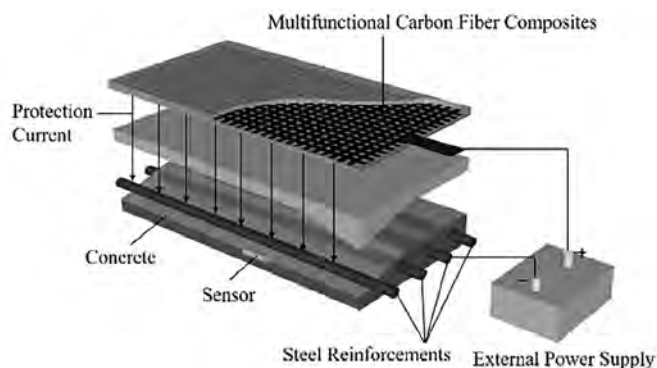


Рис. 1. Схематическое изображение подаваемого тока система катодная защита — усиление конструкции (ICCP-SS)

Fig. 1. Schematic representation of the impressed current cathodic protection-structural strengthening (ICCP-SS) system

Достоверному определению окончания срока службы конструкций в настоящее время уделяется большое внимание. В совершенствование моделей диффузии хлоридов, карбонизации, воздействия замораживания и оттаивания и щелочной реакции заполнителя вкладываются значительные усилия.

Однако не менее важным является вопрос продления срока службы существующих конструкций, которые подвержены износу и уже потеряли часть своей несущей способности из-за коррозии арматурной стали. В таком случае конструкция может быть усилена внешним армированием с применением композитных полимерных материалов, армированных волокном (FRP). Кроме того, процесс коррозии может быть остановлен с помощью защитных мер, таких как катодная защита. Большой интерес для исследователей представляет вопрос объединения усиления и катодной защиты в одной системе. Это возможно реализовать в случае, когда упрочняющий материал, обычно представляющий собой углепластик (CFRP), приклеенный к бетону адгезивом (эпоксидной смолой), мог бы одновременно использоваться в системе катодной защиты в качестве анода. Исследовательская группа, возглавляемая проф. Джи-Хуа Чжу из Шэньчжэньского университета в Китае, показала, что это реалистичный и очень перспективный вариант. Исследователи разработали комбинированный метод защиты и усиления, называемый ICCP-SS, где ICCP означает катодную защиту наложенным током, а SS — усиление конструкции.

Основы ICCP-SS

Для усиления бетонных конструкций часто используют внешнее армирование композитными материалами. Они состоят из большого количества непрерывных ориентированных волокон, обычно



Рис. 2. Установка катодной системы приложенного тока система защиты и усиления конструкций (ICCP-SS) опор автомагистрали Гуанчжоу—Шэньчжэнь

Fig. 2. Installation of impressed current cathodic protection-structural strengthening (ICCP-SS) system on piers of the Guangzhou-Shenzhen highway

встроенных в полимерную матрицу. Углепластики (CFRP) являются перспективными материалами, выполняющими двойную функцию: с одной стороны, они характеризуются высокой прочностью, малым весом и хорошей долговечностью, поэтому подходят для усиления. С другой стороны, они обладают электропроводящими свойствами, поэтому одновременно могут функционировать как анод в системе катодной защиты. Углеродное волокно существенно дешевле, чем титан, типичный материал для ICCP. На рис. 1 схематически представлена система ICCP-SS. Показана часть обычной железобетонной балки со стальными арматурными стержнями внизу. В верхней части композит из углеродного волокна соединяется с бетоном, чтобы усилить бетонный элемент и в то же время действовать в качестве анода в системе защиты (рис. 1).

Если слой углепластика будет прикреплен к бетону традиционным способом с помощью эпоксидной смолы, система будет функционировать плохо, поскольку сочетание углепластика и эпоксидной смолы не обладает проводимостью, что препятствует прохождению тока к арматуре через бетон. Однако в исследовании [1] в качестве альтернативы FRP — эпоксидной смолы представили адгезив на основе цементного вяжущего для снижения затрат и повышения долговечности. По сравнению с традицион-

ной эпоксидной смолой цементный раствор обладает собственными выгодными характеристиками, такими как хорошая электропроводность, высокая долговечность, простота монтажа, высокая огнестойкость и простая обратимость, т. е. возможность отменить ремонт без ущерба для первоначальной конструкции.

Кроме того, химические, физические и механические свойства цементных адгезивов совместимы со свойствами бетонной основы. Путем встраивания сетки из углеродной ткани в цементный раствор получается цементный композит, армированный углеродной тканью (C-FRCM), который в гораздо большей степени способен выполнять преследуемую двойную функцию усиления и защиты.

Исследование

Эффективность ICCP существенно зависит от выбора анода, который определяет электропроводность и скорость расходования, обусловленную рядом экологических и эксплуатационных факторов. Поэтому выбор наиболее подходящего материала анода и применение надлежащего тока будут в значительной степени способствовать предотвращению или минимизации повреждений анода, таких как его чрезмерный расход или потеря сцепления с бетоном.

Испытания колонн с корродированной арматурной сталью, защищенных системой ICCP-SS, показали, что система успешно работала как в отношении ее защитной функции, так и в отношении функции усиления [2–4].

Функциональность углепластикового анода была исследована в модельной системе ICCP с электродом, состоящим из 3% раствора NaCl, раствора NaOH и моделируемой поровой жидкости. С одной стороны, углепластик мог стабильно работать во всех трех растворах, и электрохимические характеристики существенно не снижались в течение 50 дней поляризации, когда приложенный ток достигал 6,15 А/м².

Список литературы / References

1. Triantafyllou T.C., Papanicolaou C.G., Zissimopoulos P., Laourdekis T. Concrete confinement with textile-reinforced mortar jackets. *Aci Structural Journal*. 2006. Vol. 103(1):28.
2. Su M.N., Wei L.L., Zhu J.H., Ueda T., Guo G.P., Xing F. Combined impressed current cathodic protection and FRCM strengthening for corrosion-prone concrete structures. *Journal of Composites for Construction*. 2019. Vol. 23(4):04019021. DOI: 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000949
3. Zhu J.H., Su M.N., Huang J.Y., Ueda T., Xing F. The ICCP-SS technique for retrofitting reinforced concrete compressive members subjected to corrosion. *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 167, pp. 669–679. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.01.096
4. Zhu J.H., Chen P., Su M.N., Pei C., Xing F. Recycling of carbon fibre reinforced plastics by electrically driven heterogeneous catalytic degradation of epoxy resin. *Green Chemistry*. 2019. Vol. 21 (7), pp. 1635–1647. <https://doi.org/10.1039/C8GC03672A>

С другой стороны, результаты испытаний углепластика после поляризации показали, что его прочность при растяжении уменьшается с увеличением плотности заряда в моделируемой системе ICCP-SS. На основе этих первых испытаний был сделан вывод, что система ICCP-SS способна восстановить несущую способность конструкции, ранее сниженную коррозией арматуры.

Применение ICCP-SS требует значительного количества углепластика. В интересах обеспечения устойчивого развития данного направления важно также предусмотреть вопрос утилизации отходов из углепластика. При исследовании деградации углепластикового анода выяснилось, что основным механизмом является разрушение полимерной матрицы. Это наблюдение приводит к новому методу переработки использованных композитов из углепластика, который позволяет восстанавливать волокно при атмосферном давлении и комнатной температуре.

Следовательно, новое изобретение эффективно справляется с уменьшением отходов углепластика за счет повторного использования его при производстве композитов из углепластика, стоимость которых намного ниже, чем у новых композитов, в то время как механические свойства одинаковы.

Опытное применение

Система ICCP-SS была установлена в одном из доков Китайской транспортной компании и на шоссе Гуанчжоу–Шэньчжэнь в провинции Гуандун, Китай (рис. 2). После вмешательства расчетная скорость коррозии была снижена с 6,5 мкм/г до менее 1,4 мкм/г, в то время как несущая способность опор и балок одновременно увеличивалась на 30–40%. Функционирование системы ICCP-SS в этой практической среде контролируется во времени путем регистрации плотности тока коррозии и проверок (визуальных, ультразвуковых, акустических).