

Повышение надежности железобетонных конструкций при ЧС (зарубежный опыт)

(на основании статьи в Журнале "Высотные здания" №3, 2007 13.09.2007, работ Crawford J.E., Malvar L.J. Morrill K.B., Ferritto J.M. и сайта www.concrete-union.ru)

Строительство высотных зданий в крупных городах делает наиболее актуальной проблему защитных мер против опасности обрушения строительных конструкций в результате чрезвычайных ситуаций, таких как взрывы, огневые воздействия, землетрясения. Эти здания потенциально наиболее опасны с точки зрения возможности и последствий прогрессирующего разрушения. Конструктивные элементы таких зданий и сооружений являются особо нагруженными и требуют применения конструкционных материалов с повышенными физико-механическими характеристиками.

Одним из перспективных направлений для решения комплекса проблем является применение **внешнего армирования опорных и изгибаемых балочных и плитных конструкций с помощью эффективных композиционных материалов.**

За рубежом и в России накоплен большой опыт внешнего армирования железобетонных конструкций, как для восстановления их несущей способности, так и для усиления с целью возможности восприятия увеличенных нагрузок. Для этого широко используют углеродные ткани, наклеиваемые на поверхность усиливаемых конструкций. В качестве клеев, как правило, применяют эпоксидные компаунды.



Рис. 1. Экспериментальное здание для испытания колонн на взрывную нагрузку

В последние годы резко увеличился объем научных исследований и конструкторских разработок по созданию базы для расчетных обоснований предотвращения обрушения строительных конструкций.



а) колонна неусиленная



б) колонна усиленная углепластиком

Имеется достаточно большой опыт научно-экспериментальных работ, свидетельствующий о возможности существенного (до 50%) повышения прочности центрально и внецентренно сжатых опорных конструкций (колонн круглого, квадратного и прямоугольного сечений) - основных элементов в системе, обеспечивающих устойчивость зданий и сооружений, а также изгибаемых конструкций (плит, балок, ригелей и пр.). В то же время практически отсутствовали данные о характере разрушения таких конструкций при воздействии на них ударной волны, так как моделирование подобных ситуаций сопряжено с весьма большими материальными затратами.

Рис. 2. Вид колонн после взрывного воздействия

Поэтому особый интерес представляют экспериментальные исследования эффективности усиления строительных конструкций внешним армированием, проводимые за рубежом в лабораторных условиях и на натуральных образцах на крупноразмерных фрагментах.

Так, в работе Crawford J.E., Malvar L.J. Morrill K.B., Ferritto J.M. предлагается расчетный аппарат для определения прочности железобетонных колонн на срез и изгиб при восприятии взрывных нагрузок. Компьютерные расчеты были подтверждены результатами сравнений испытаний на натурном фрагменте четырехэтажного здания (рис. 1) с обычными и усиленными внешним армированием композитными материалами колоннами. На рис. 2 наглядно видна разница в полученных повреждениях сравниваемых колонн. Аналогичные сравнения проводились и в лаборатории (рис. 3), где были получены зависимости нагрузка/деформация (рис. 4), также свидетельствующие об эффективности предлагаемого технического решения.



Рис. 3. Колонна усиления после испытаний в лаборатории

Изучение влияния внешнего армирования на восприятие взрывной волны горизонтальными железобетонными плитами было проведено в университете Миссури (США). Во взрывной камере испытывали плиты размером 12090 x 1200 x 90 мм (рис. 5). Были сделаны выводы, что для восприятия нагрузки от взрывной волны желательна наклейка усиливающего композиционного материала на обе поверхности плиты.

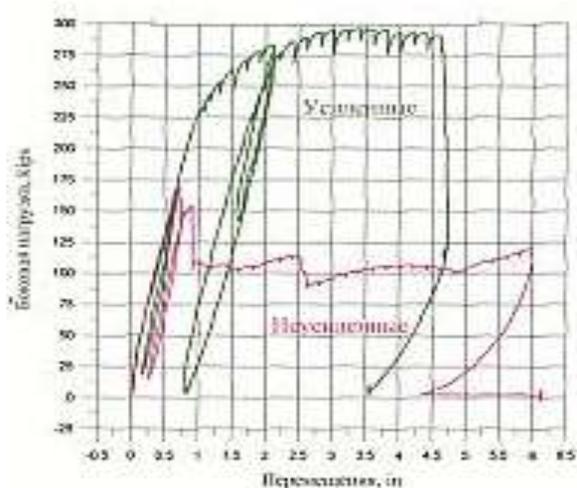


Рис. 4. Сравнение деформирования от боковой нагрузки усиленной двумя слоями CFRP и не усиленной колонны



Рис. 5. Лабораторные испытания плиты на взрывную нагрузку

Композитные системы, используемые для усиления строительных конструкций, во многих случаях, включая многоэтажные здания, потребуют соответствующей тепловой защиты, препятствующей потере функциональных свойств конструкции при пожаре.

Концепция огнезащиты усиленных углепластиком конструкций должна учитывать особенности поведения в температурном поле как собственно композита, так и эпоксидной матрицы, применяемой для приклейки ткани к поверхности конструкции.

Полимерные затвердевшие клеевые составы начинают деградировать при температурах от 65 до 150°C, вплоть до возгорания с выделением токсичных газов. В то же время собственно углеродная ткань не является огнеопасной и имеет температуру возгорания свыше 1000°C.

По заказу ООО «ИнтерАква» совместно с ОАО «Ленметрогипротранс» в Независимом испытательном центре пожарной безопасности МЧС России были проведены испытания углепластиковых накладок, используемых для усиления строительных конструкций.

По результатам испытаний сделано заключение, что углепластиковые накладки относятся к слабогорючим строительным материалам группы Г-1 (группы трудносгораемых по СТ СЭВ 2437-80) и к умеренно воспламеняемым материалам группы В-2 с высокой дымообразующей способностью группы Д-3.

Результаты испытаний образцов из углепластикового композита являются весьма обнадеживающими, однако свидетельствуют о необходимости выполнения огнезащитного покрытия на усиливаемых конструкциях.

Для уточнения требований к такому покрытию в США были проведены специальные исследования - полномасштабные огневые испытания железобетонных колонн круглого сечения ($L = 3734,0 = 400$ мм), усиленных одним слоем однонаправленной углеродной ткани, наклеенной на поверхность колонн с помощью эпоксидного адгезива.

В отличие от обычной практики огнезащиты железобетонных или стальных конструкций была поставлена задача предотвратить достижение на поверхности углепластика температуры свыше 1000°C за расчетную продолжительность времени.

Применение эффективной теплоизоляции усиленных композитами железобетонных конструкций позволило при пожаре сохранить температуру на поверхности углепластика ниже температуры стеклования в течение нескольких часов, что должно было предотвратить отказ системы усиления в этот промежуток времени.

В качестве основного критерия огнестойкости принимали потерю колонной несущей способности. Кроме того, рассматривали возможность отказа системы усиления из-за потери сцепления углепластиковой накладки с поверхностью колонн при деградации адгезива, а также сгорания композита.

Особенностью испытательной схемы было расположение колонн во время огневых испытаний внутри силовой рамы с возможностью передачи на них испытательной нагрузки и ее изменения в ходе опыта. Такие испытания проводились в единственной в Северной Америке специальной печи, воспроизводящей температурные условия реального пожара с достижением температуры 1000°C.

Испытания показали, что для достижения температуры 100°C (условная величина температуры стеклования эпоксидного адгезива) потребовалось [180 мин. для колонны с изоляцией толщиной 57 мм](#) и [82 мин. для колонны с изоляцией толщиной 32 мм](#). Эксперимент не мог подтвердить либо опровергнуть нарушение сцепления композитных накладок с поверхностью колонны. Авторы исследований лишь высказывают предположение о возможном повышении «температурной устойчивости» адгезива при его работе совместно с углеродной тканью внутри композитной структуры. В этом случае фактическая огнестойкость конструкции будет соответствовать более высокой температуре на поверхности усиливающей накладки и будет обеспечена при большей продолжительности огневого воздействия.

Возгорание композита на обеих колоннах отмечалось после 5-часового огневого воздействия.

В целом обе испытываемые колонны показали более чем 5-часовую огнестойкость. **Отказ колонны (разрушение) произошел после [увеличения испытательной нагрузки](#) через 5,5 часа приблизительно на 180% против рабочей.**

В дальнейшем аналогичные исследования были проведены на натурных колоннах квадратного сечения (406 x 406 x 3800 мм), Т-образных балках и плитах толщиной 150 мм. На рис. 6 приведены результаты измерения температур в огневой камере и по показаниям термомпар, установленных на

поверхности теплоизоляции, в клеевом слое между бетоном и композитной накладкой, а также на поверхности стальной арматуры внутри колонны.

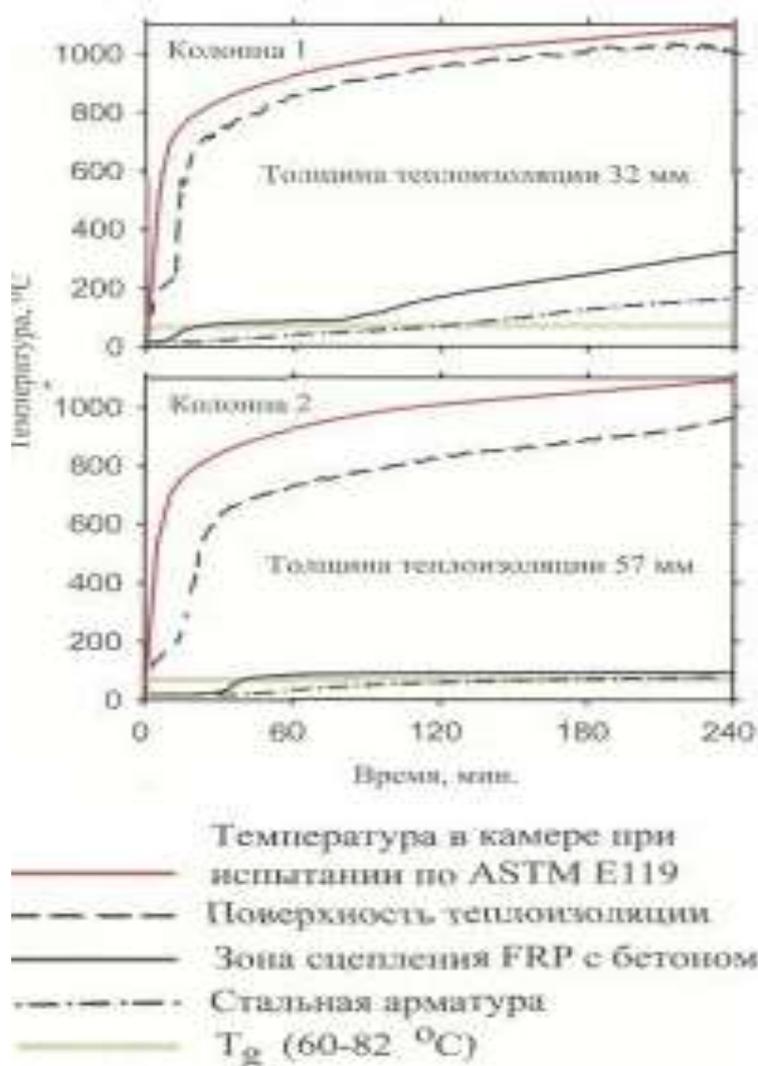


Рис. 6. Изменение роста температуры при пожаре в различных точках сечения колонны

Полученные результаты подтвердили возможность применения композитных материалов для испытанных конструкций с достижением более чем 4-часовой огнестойкости при соответствующей огнезащите.

Результаты проведенных полномасштабных исследований свидетельствуют о высокой эффективности внешнего армирования железобетонных конструкций усиливающими накладками из углеродной ткани не только для повышения их несущей способности, но и для увеличения упругости и вязкости конструктивных систем. Эти свойства являются определяющими в системе мер, предотвращающих внезапное обрушение зданий и сооружений при природных и технических катастрофах, а также в случае террористических действий.

Применение эффективной теплоизоляции усиленных композитами железобетонных конструкций позволяет при пожаре сохранить на поверхности углепластика температуру ниже температуры стеклования в течение нескольких часов, что должно предотвратить отказ системы усиления в этот промежуток времени.

Расширяющееся использование композитных материалов для внешнего усиления железобетонных конструкций с целью противодействия различным чрезвычайным ситуациям находит все большее отражение в специальной нормативной и инструктивной литературе, выпускаемой авторитетными организациями в Северной Америке и Европе. В частности, крупнейшая независимая лаборатория Underwriters Laboratories, Inc., сертифицирующая продукцию по критериям безопасности (в первую очередь - пожаробезопасность), в своих руководствах и справочниках предусматривает усиление железобетонных балок и колонн с огнезащитой, обеспечивающей 4-часовой период огнестойкости.

Кроме того, метод внешнего армирования железобетонных конструкций композитными материалами рассматривается как одна из эффективных мер в «Руководстве по снижению опасности

террористических атак на здания» (FEMA - 426), выпущенном в США Федеральным агентством по чрезвычайным ситуациям.

Повышение этажности, сложности и ответственности возводимых в России зданий и сооружений, бесспорно, требует учета современных достижений в области обеспечения их безопасности. В этом направлении целесообразно использовать подробные публикации результатов проводимых за рубежом научно-экспериментальных работ, а композиционные материалы должны занять подобающее место в соответствующих инструктивных и нормативных документах.