

Абильдин Саят Кошкимбаевич, Кропачев Петр Александрович,
Аубакирова Бахытгуль Бохаевна,

**ПРОБЛЕМЫ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ И
МОНИТОРИНГА СТРОИТЕЛЬСТВА ВЫСОТНОГО КОМПЛЕКСА**

В условиях интенсивного роста мегаполисов и развития агломераций в Казахстане все больше возводятся зданий и сооружений, отличающихся уникальными строительными и технологическими параметрами и сложными конструктивными решениями, что связано с повышенными требованиями к безопасности и технико-экономическими рисками. Решение комплекса проблем, обусловленных реализацией таких проектов, требует высокой квалификации всех участников строительного процесса – изыскателей, проектировщиков, подрядчиков.

Важными факторами при возведении подобных объектов являются достаточно короткие сроки изысканий, проектирования и возведения при наличии серьезных проблем, вызываемых плотной городской застройкой, сложными инженерно-геологическими условиями, нестандартными нагрузками и воздействиями, производством строительно-монтажных работ на значительной высоте.

Согласно требованиям действующего в нашей стране стандарта [1] для объектов повышенного уровня ответственности, к которым относятся все уникальные и технически сложные здания и сооружения, устанавливается обязательное проведение научно-технического сопровождения с мониторингом несущих конструкций на всех этапах строительства. Следует отметить, что научно-техническое сопровождение и мониторинг таких объектов являются дополняющими существующие формы контроля действенными инструментами по обеспечению требуемого уровня безопасности и качества строительства. Эффективность их проявляется главным образом за счет научно обоснованных технических и организационных решений по оперативному выявлению, прогнозированию и предотвращению рисков [2].

Научно-техническое сопровождение и мониторинг позволяет решить сложные конструктивно-технические и строительно-технологические проблемы, которые могут возникнуть на любых этапах жизненного цикла уникальных и технически сложных зданий и сооружений ввиду отсутствия аналогов в отечественной и мировой практике.

Одним из условий научно-технического сопровождения и мониторинга указанных объектов является то, что эти работы должны осуществляться аккредитованной организацией, которая не разрабатывала проект. Это обусловлено тем, что действующие в Казахстане строительные нормы в большинстве случаев не содержат требований к проектированию технически сложных и уникальных объектов, которые характеризуются особыми и, как правило, ранее не применяемыми архитектурными, объемно-планировочными, конструктивными, инженерно-технологическими решениями. Комплекс работ по научно-техническому сопровождению уникальных и технически сложных объектов является в этом случае основой для выработки недостающих нормативных положений или разработки отсутствующих норм.

Таким образом, основной целью научно-технического сопровождения строительства уникальных и технически сложных зданий и сооружений

является обеспечение высокого качества выполняемых строительно-монтажных работ, надежности несущих конструкций и безопасности объектов в целом в процессе возведения, а также при последующей эксплуатации за счет заблаговременного прогнозирования и предотвращения возможных рисков.

На этапе возведения указанных объектов аттестованные эксперты привлекаемой в качестве исполнителя аккредитованной организации осуществляют комплекс работ в рамках выборочного входного, лабораторного, операционного и инспекционного контроля качества строительных материалов, изделий и конструкций, производства основных видов строительно-монтажных работ и различных видов мониторинга ответственных несущих конструкций [3].

В процессе данного этапа научно-технического сопровождения объекта исполнитель осуществляет разработку:

- рекомендаций и предложений по совершенствованию технологии строительно-монтажных работ и применению новых эффективных материалов и технологий на основе лучших зарубежных и отечественных практик;

- проектов восстановления значительно поврежденных и деформированных несущих конструкций, оснований и фундаментов.

В необходимых случаях составляется заключение о необходимости корректировки проекта, в частности, усиления или замены несущих конструкций в процессе строительства объекта.

Одним из примеров такого усиления несущих конструкций в рамках научно-технического сопровождения строительства уникального сооружения является решение проблемы недостаточной прочности монолитного железобетонного каркаса высотного комплекса «Бизнес-центр Москва».

Проект высотного комплекса «Бизнес-центр Москва» разработан для строительства в IV климатическом районе г. Астана (ныне – г. Нұр-Сұлтан).

Степень огнестойкости сооружения – 1.

Уровень ответственности – 1.

Конструктивно высотная и стилобатная части комплекса решены со связевым каркасом, в котором основные несущие конструкции образуются системой монолитных железобетонных колонн, горизонтальных дисков – монолитных железобетонных перекрытий, а также вертикальных монолитных железобетонных стен.

Толщина стен – 60 см.

Сечение колонн – 60×130 см.

Фундаменты – комбинированные свайно-плитные. Ростверк – монолитная железобетонная плита.

Наружные стены – монолитные с утеплителем PAROC.

Проектный класс бетона в конструкциях несущего каркаса и фундаментов – В40.

Перегородки – кладка из кирпича глиняного обыкновенного М125 на цементно-песчаном растворе М150.

Анализ фактически выполненного конструктивного решения высотного комплекса «Бизнес-центр Москва» показал, что оно в целом соответствует требованиям действующих норм и проекта.

В процессе мониторинга технического состояния возводимых несущих конструкций указанного комплекса для оценки фактической прочности бетона выполнены испытания на контрольных участках согласно требованиям действующих стандартов [4,5]. Были испытаны контрольные кубы в возрасте 28 суток с установленной даты заливки с 11 элементов несущего каркаса на исследуемом участке высотного комплекса. На 42-е сутки с установленной даты заливки указанные конструкции были также испытаны в натурных условиях с помощью поверенного прибора ИПС МГ4.03 на семи и извлечения кернов – на двух контрольных участках.

Результаты этих испытаний показали низкую фактическую прочность бетона в ряде элементов: менее 80% проектного класса В40 (В25-В30).

Для дополнительного контроля низкопрочных конструкций аккредитованной лабораторией выполнены натурные испытания с применением ИПС МГ.3, молотка Шмидта, а также методом отрыва со скалыванием с помощью прибора ПОС.50МГ4 «Скол», которые полностью подтвердили полученные результаты.

В связи с этим основной целью научно-технического сопровождения строительства высотного комплекса стала оценка фактического технического состояния возведенных монолитных железобетонных конструкций по несущей способности и эксплуатационной пригодности с решением на ее основе вопроса о возможности и условиях завершения строительства уникального объекта. Проблема усугублялась тем, что результаты геотехнического мониторинга и поверочных расчетов основания и фундаментов данного объекта показали наличие незначительных резервов по дополнительной нагрузке на них, что не позволяло усилить несущий каркас традиционным методом, с помощью массивных стальных обойм.

С учетом этого обстоятельства научно-техническое сопровождение строительства высотного комплекса включило:

- проведение экспериментальных испытаний по выбору наиболее эффективного варианта усиления низкопрочных монолитных железобетонных конструкций несущего каркаса значительно более легким композитным материалом;
- оценку фактической прочности бетона, несущей способности и эксплуатационной пригодности несущего каркаса на основе экспериментальных испытаний по исследованию эффективности выбранного варианта усиления низкопрочных конструкций композитным материалом;
- поверочные расчеты конструкций несущего каркаса по данным экспериментальных испытаний и разработку на их основе рекомендаций по усилению низкопрочных конструктивных элементов.

Экспериментальные испытания были проведены по исследованию эффективности усиления низкопрочных конструкций несущего каркаса

композитным материалом - углеродными фиброволокнами MBT-MBrase [6].
Выполнены четыре серии испытаний таких конструкций (см. рисунки 1-6).



Рисунок 1 – Бетонные образцы-кубы, армированные углеродными фиброволокнами MBT-MBrase



Рисунок 2 – Бетонные образцы-призмы, армированные углеродными фиброволокнами MBT-MBrase



Рисунок 3 – Экспериментальное испытание бетонного образца-куба, не имеющего армирование углеродными фиброволокнами MBT-MBrase



Рисунок 4 – Экспериментальное испытание бетонного образца-куба, армированного двумя слоями углеродных фиброволокон MBT-MBrase



Рисунок 5 – Экспериментальное испытание неармированного углеродными фиброволокнами MBT-MBrase бетонного призмического образца



Рисунок 6 – Экспериментальное испытание бетонного призмического образца, армированного углеродным фиброволокном MBT-MBrase

Анализ результатов экспериментальных испытаний монолитных железобетонных конструкций несущего каркаса высотного комплекса показал, что для усиления элементов с фактической прочностью B25-B30 требуется нанесение не менее четырех слоев композитного материала – углеродных фиброволокон MBT-MBrase.

Для оценки несущей способности монолитного железобетонного каркаса с учетом усиления монолитных железобетонных колонн композитным материалом проведены проверочные расчеты. За основной метод расчета принят метод предельных состояний. Определение усилий в элементах конструкций производился с учетом данных, полученных в процессе научно-технического сопровождения строительства объекта. Расчет внутренних усилий в конструкции определен на основе гипотезы плоских сечений.

В расчете усиления принято отсутствие взаимных смещений между стальной арматурой и бетоном, а также между наклеенной внешней арматурой и бетонным основанием. Расчет усиления монолитной железобетонной колонны выполнен согласно [7].

В частности, расчет монолитной железобетонной колонны, усиленной углеродными фиброволокнами MBT-MBrase (см. рисунок 7), показал следующее.

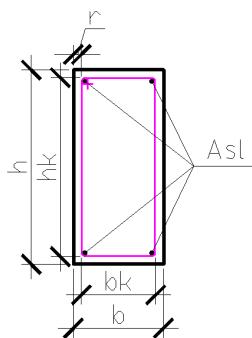


Рисунок 7 – Колонна К-1

Геометрические характеристики сечения:

- ширина сечения: $\delta=600$ мм;
- высота сечения: $h=1300$ мм;
- ширина сечения без учета защитного слоя: $b_k=544$ мм;
- высота сечения без учета защитного слоя: $h_k=1244$ мм;
- расстояние до центра арматуры: $r=60$ мм;
- площадь арматуры: $A_{sl}=3376$ мм²;
- площадь растянутой арматуры: $A'_s = \frac{A_{sl}}{2}$;
- шаг поперечной арматуры $s_t=200$ мм.

Материал: бетон класса B35.

Расчетное сопротивление бетона на сжатие: $f_{ck,cyl}=20$ Н/мм², $R_b=19,5$ МПа.

Максимальные деформации бетона на сжатие: $\varepsilon_{co}=2\text{‰}$, $\varepsilon_{rc}=0,002$.

Коэффициент, учитывающий долгосрочное воздействие на предел прочности при сжатии: $\alpha=0,85$.

Коэффициент надежности по бетону при сжатии для предельных состояний I группы: $\gamma_c=1,5$; $\gamma_c=1,3$.

Продольная арматура выполнена класса А-III:

- расчетное сопротивление арматуры на растяжение - $f_{yk}=415$ Н/мм², $R_s=365$ МПа;
- расчетное сопротивление на сжатие аналогично расчетному сопротивлению на растяжение $\varepsilon_s=\varepsilon_c$, $R_{sc}=R_s$;
- модуль упругости арматуры - $E_s=200000$ Н/мм², $E_s=200000$ МПа;
- коэффициент надежности по арматуре - $\gamma_s=1,15$; $\gamma_s=1,1$.

Поперечная арматура выполнена класса А-I:

- расчетное сопротивление арматуры на растяжение - $f_{yk}=250$ Н/мм², $R_{sw}=255$ МПа;
- максимальные деформации арматуры - $\varepsilon_{su}=20\text{‰}$; $\varepsilon_{s0}=0,00112$.

Усиление низкопрочных конструкций производится армированием углеродными фиброволокнами серии MBT-MBrace CF-240, имеющими высокий модуль (CF-углеродных фиброволокон):

- модуль эластичности: $E_f=240000$ МПа;
- сила прочности при растяжении - $f_{fk}=3800$ МПа;

- толщина дизайна статического веса/ плотность - $t_f=0,117$ мм;
- фактор безопасности для статического дизайна (физическая слоистость/UD материал) - $\gamma_E=1,2$.

Коэффициент надежности трехосной прочности бетона: $\gamma_{cc}=1,5$.

Коэффициент Пуассона: $\nu=0,5$.

Максимальные деформации фиброволокон при разрыве: $\varepsilon_{fu}=15,5\%$.

Предел деформации фиброволокон: $\varepsilon_{f,lim}=5\%$.

Количество слоев фиброволокон: $n=4$.

Проектная сжимающая сила: продольная сила $N_{Sdf}=110000$ кН.

Несущая способность колонны: продольная сила $N_{\phi}=9985$ кН.

Ограничивающая деформация в обойме углеродных фиброволокон, если элемент испытывает деформации сжатия и сдвига: $\varepsilon_{fe}=0,004\%$; $\varepsilon_{fe}\leq 0,75\varepsilon_{fu}$.

Ограничивающее давление, обеспечиваемое обоймой из углеродных фиброволокон:

$$\rho_f = \frac{2 \cdot n \cdot t_f \cdot (b + h)}{b \cdot h} = 0,00228.$$

Коэффициент армирования стержневой арматурой сжатых элементов:

$$\mu = \frac{A'_s}{b \cdot h} = 0,00216.$$

Коэффициент эффективности усиления для квадратных и прямоугольных сечений:

$$k_a = 1 - \frac{b_k^2 + h_k^2}{3 \cdot b \cdot h \cdot (1 - \mu)} = 0,21048.$$

Прочность бетона в обойме из углеродных фиброволокон:

$$\sigma_f = \frac{k_a \cdot \rho_f \cdot \varepsilon_{fe} \cdot E_f}{2} = 0,23035 \text{ МПа.}$$

Прочность на сжатие прямоугольного бетонного элемента с напряжением в обойме σ_f :

$$R_{bf} = R_b \cdot \left(2,25 \cdot \sqrt{1 + 7,9 \cdot \frac{\sigma_f}{R_b}} - 2 \cdot \frac{\sigma_f}{R_b} - 1,25 \right) = 21,00321 \text{ МПа.}$$

Коэффициент запаса: $\psi_f=0,95$.

Для ненапряженных железобетонных элементов со стальной поперечной арматурой:

$$N = 0,8 \cdot \left[0,85 \cdot \psi_f \cdot R_{bf} \cdot (b \cdot h - A_s) + R_s \cdot A_s \right] = 11053,1 \text{ кН.}$$

Несущая способность до усиления: $N_{Rd0}=9985,01$ кН.

Проектная сжимающая сила: $N_{Sdf}=11000$ кН.

Таким образом, установлено следующее:

- наиболее эффективным является метод усиления низкопрочных монолитных железобетонных конструкций несущего каркаса строящегося высотного комплекса с помощью четырех слоев углеродных фиброволокон MBT-MBrase;
- при усилении колонн несущего каркаса с фактической прочностью на сжатие, соответствующей 60-80% проектной, четырьмя слоями углеродных фиброволокон MBT-MBrase обеспечено увеличение несущей способности на величину, равную 1068 кН, то есть с превышением проектного усилия на 53,1 кН.

Литература

1. Научно-техническое сопровождение строительства зданий и сооружений / Жакулин А.С., Абильдин С.К., Кропачев П.А.- Учебник, Караганда: Изд-во КарГТУ, 2018. – 245 с.
2. МГСТ ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения». - М.: «Стандартинформ», 2015. – 18 с.
3. Кропачев П.А. Контроль качества, обследования и испытания в строительстве. - Уч. пособие, Караганда: Изд-во КарГТУ, 2016. – 117 с.
4. ГОСТ 18105-2018 «Бетоны. Правила контроля прочности». - М.: «Стандартинформ», 2018. – 14 с.
5. ГОСТ 22690-2015 «Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля». - М.: «Стандартинформ», 2015. – 24 с.
6. Байджанов Д.О., Токанов Д.Т., Кропачев П.А. и др. Натурные исследования усиление монолитных железобетонных конструкций углеродными фиброволокнами / Труды университета, Караганда: КарГТУ, 2009, вып.3(36).- С.52-54.
7. Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами.- М.: НИИЖБ, 2006. – 48 с.