

**¹С.К. Абильдин, ²П.А. Кропачев, ³Б.Б. Аубакирова, ⁴Н.С. Имамбаев,
⁵М.И. Евлоева**

¹канд. техн. наук, доцент, ²канд. техн. наук, доцент, ³докторант,
Карагандинский технический университет, ⁴магистр,
Северо-Казахстанский университет им. Манаша Козыбаева,
⁵докторант КарГТУ, Республика Казахстан

ПРОБЛЕМЫ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ И МОНИТОРИНГА СТРОИТЕЛЬСТВА ВЫСОТНОГО КОМПЛЕКСА

***Аннотация.** Строительство уникальных и технически сложных зданий и сооружений связано с повышенными требованиями к безопасности и технико-экономическими рисками, что требует проведения научно-технического сопровождения указанных объектов. Научно-техническое сопровождение и мониторинг строительства высотного комплекса «Бизнес-центр Москва» в г. Нур-Султане проведено с целью решения проблемы низкой прочности бетона в конструкциях несущего каркаса, возникшей при возведении указанного комплекса. Экспериментальные испытания стен и колонн, образцов кубов и призм выявили эффективность усиления конструкций монолитного каркаса армированием углеродными фиброволокнами МВТ-МВrase в четыре слоя, что позволило завершить строительство комплекса.*

***Ключевые слова:** научно-техническое сопровождение, мониторинг несущий каркас, углеродные фиброволокна, усиление колонны, композитный материал.*

В условиях интенсивного роста мегаполисов и развития агломераций в Казахстане все больше возводятся здания 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 строительного-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 позволяют 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 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 натуральных 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).



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



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



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



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



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



Рис. 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 В25-В30 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 поверочные 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.

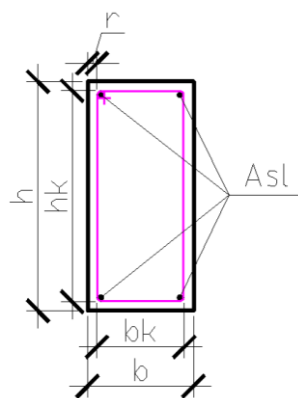


Рис. 7 – Колонна К-1

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: $\varepsilon_{co}=2\%$, $\varepsilon_{rc}=0,002$.

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 исполнена 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 исполнена класса А-I:

- расчетное сопротивление арматуры на растяжение – $f_{yk}=250$ Н/мм², $R_{sw}=255$ МПа;

- максимальные деформации арматуры – $\varepsilon_{su}=20\%$; $\varepsilon_{s0}=0,00112$.

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: учеб. / Жакулин А.С., Абильдин С.К., Кропачев П.А. – 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: учеб. 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.

Бірегей және техникалық жағынан күрделі ғимараттар мен құрылыстарды салу қауіпсіздікке қойылатын жоғары талаптармен және техникалық-экономикалық тәуекелдермен байланысты, бұл көрсетілген объектілерге ғылыми-техникалық сүйемелдеу жүргізуді талап етеді. Нұр-Сұлтан қаласындағы «Бизнес-центр Москва» биік кешені құрылысының ғылыми-техникалық сүйемелденуі және мониторингі көрсетілген кешенді салу кезінде туындаған салмақ түсетін қаңқа конструкцияларындағы бетонның төмен беріктігі проблемасын шешу мақсатында жүргізілді. Қабырғалар мен бағандарды, текшелер мен призмалардың үлгілерін эксперименттік сынау төрт қабатты МВТ-МВgase көміртекті талшықты арматурамен монолитті жақтау конструкцияларын күшейту тиімділігін анықтады, бұл кешеннің құрылысын аяқтауға мүмкіндік берді.

Түйін сөздер: *ғылыми-техникалық сүйемелдеу, тірек қаңқасын мониторингтеу, көміртекті талшықты талшықтар, колоннаны күшейту, композиттік материал.*

The construction of unique and technically complex buildings and structures is associated with increased safety requirements and technical and economic risks, which requires scientific and technical support of these objects. Scientific and technical support and monitoring of the construction of the high-rise complex «Business center Moscow» in Nur-Sultan was carried out in order to solve the problem of low strength of concrete in the structures of the supporting frame that arose during the construction of this complex. Experimental tests of walls and columns, samples of cubes and prisms revealed the effectiveness of strengthening the structures of the monolithic frame with carbon fiber reinforcement MW-Mbgase in four layers, which made it possible to complete the construction of the complex.

Key words: *scientific and technical support, monitoring of the load-bearing frame, carbon fiber fibers, column reinforcement, composite material.*