

UDC 528.3
IRSTI 36.23.27
RESEARCH ARTICLE

GEODETIC MONITORING OF DEFORMATIONS OF BEARING REINFORCED CONCRETE STRUCTURES OF AN UNDERGROUND MULTI-FUNCTIONAL PUBLIC CENTER

M. Sailygarayeva^{1*} , A. Nurlan² , Zh. Baigurin¹ 

¹Satbayev University, 050000, Almaty, Kazakhstan

²LLP EliteStroy, 050023, Almaty, Kazakhstan

Abstract. *The article highlights the stages of carrying out measurement and survey work of an underground multifunctional public center to assess the technical condition of the load-bearing structural elements of block 1 and the entrance group in order to carry out reconstruction on the above-ground part of the building. The reconstruction consisted of installing metal structures on the eastern and western sides of the dome and a metal canopy over the entrance group. As a result of a technical examination and geodetic observations, cracks with an opening width of 0.5 mm and significant deflections in the floor slabs and crossbars at the upper and lower levels were identified in the load-bearing structures. To ensure safe operation and timely detection of dangerous values of deformation of a unique building with an increased class of responsibility, an effective method of geodetic monitoring of deflections of reinforced concrete floor slabs and crossbars and recommendations for their strengthening, taking into account the location of the construction site at the intersection of zones of influence of several tectonic faults, are proposed. Geodetic observations of deformation processes were carried out. Based on the results of the measurements, it was decided to strengthen the reinforced concrete structures by gluing fiber-reinforced composite materials to the lower part of the floor slabs. A comparative analysis of the obtained quantitative parameters of shifts of load-bearing structures makes it possible to assess the technical condition of an underground building and its individual structures before and after strengthening measures.*

Keywords: *underground buildings, geodetic monitoring, trigonometric leveling, deformation marks, floor slabs, fiber-reinforced plastic.*

***Corresponding author**

Mariya Sailygarayeva, e-mail: mariya_23365@mail.ru

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.1-11>

Received 07 November 2023; Revised 08 December 2023; Accepted 24 January 2024

ӨОЖ 528.3
ҒТАМР 36.23.27
ҒЫЛЫМИ МАҚАЛА

ЖЕР АСТЫ КӨП ФУНКЦИЯЛЫ ҚОҒАМДЫҚ ОРТАЛЫҚТЫҢ ТІРІГІШТІ ТЕМІР-БЕТОН ҚҰРЫЛЫСТАРЫНЫҢ ДЕФОРМАЦИЯЛАРЫНА ГЕОДЕЗИЯЛЫҚ БАҚЫЛАУ

М.А. Сайлығараева^{1*} , А.Н. Нурлан² , Ж.Д. Байгурын¹ 

¹ Satbayev University, 050000, Алматы, Қазақстан

² «EliteStroy» ЖШС, 050023, Алматы, Қазақстан

Андатпа. Мақалада ғимараттың жерүсті бөлігін реконструкциялау мақсатында I блоктың және кіреберіс тобының жүк көтергіш құрылымдық элементтерінің техникалық жағдайын бағалау бойынша жерасты көпфункционалды қоғамдық орталығының өлшеу-іздістіру жұмыстарының кезеңдері көрсетілген. Қайта құру күмбездің шығыс және батыс жағындағы металл конструкцияларды және кіреберіс тобының үстіндегі металл шатырды орнатудан тұрды. Техникалық сараптау және геодезиялық бақылаулар нәтижесінде жүк көтергіш құрылымдарда ашылу ені 0,5 мм болатын жарықтар және еден плиталары мен тіректердің жоғарғы және төменгі деңгейлерінде айтарлықтай ауытқулары анықталды. Қауіпсіз жұмыс істеуді қамтамасыз ету және жауаптылығы жоғары бірегей ғимараттың деформациясының қауіпті мәндерін уақтылы анықтау үшін темірбетонды еден плиталары мен тіректердің ауытқуларын геодезиялық бақылаудың тиімді әдісі және оларды нығайту бойынша ұсыныстар ұсынылады. құрылыс алаңының бірнеше тектоникалық бұзылулардың әсер ету аймақтарының қиылысында орналасуын есепке алу. Деформация процестеріне геодезиялық бақылаулар жүргізілді. Өлшеу нәтижелері бойынша еден плиталарының түбіне талшықты композициялық материалдарды желімдеу арқылы темірбетон конструкцияларын нығайту туралы шешім қабылданды. Жүк көтергіш құрылымдардың жылжуларының алынған сандық параметрлерін салыстырмалы талдау жер асты ғимаратының және оның жеке құрылымдарының күшейту шараларына дейін және одан кейінгі техникалық жағдайын бағалауға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: жер асты ғимараттары, геодезиялық бақылау, тригонометриялық нивелирлеу, деформация белгілері, еден плиталары, талшықты арматураланған пластик.

*Автор-корреспондент

Мария Сайлығараева, e-mail: mariya_23365@mail.ru

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.1-11>

Алынды 07 қараша 2023; Қайта қаралды 08 желтоқсан 2023; Қабылданды 24 қаңтар 2024

УДК 528.3
МРНТИ 36.23.27
НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ДЕФОРМАЦИЙ НЕСУЩИХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОДЗЕМНОГО МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ОБЩЕСТВЕННОГО ЦЕНТРА

М.А. Сайлыгараева^{1*} , А.Н. Нурлан² , Ж.Д. Байгурин¹ 

¹ Satbayev University, 050000, Алматы, Казахстан

² ТОО «EliteStroy», 050023, Алматы, Казахстан

Аннотация. В статье освещены этапы проведения обмерно-изыскательских работ подземного многофункционального общественного центра по оценке технического состояния несущих конструктивных элементов блока I и входной группы с целью проведения реконструкции наземной части здания. Реконструкция заключалась в установке металлоконструкций на восточной и западной сторонах купола и металлического навеса над входной группой. В результате технического обследования и геодезических наблюдений в несущих конструкциях выявлены трещины шириной раскрытия 0,5 мм и значительные прогибы плит перекрытия и ригелей на верхних и нижних уровнях. Для обеспечения безопасной эксплуатации и своевременного выявления опасных величин деформаций уникального здания повышенного класса ответственности предлагается эффективный метод геодезического контроля прогибов железобетонных плит перекрытий и ригелей и рекомендации по их усилению с учетом расположения площадки строительства на пересечении зон влияния нескольких тектонических разломов. Проведены геодезические наблюдения за деформационными процессами. По результатам замеров было принято решение усилить железобетонные конструкции путем приклеивания фиброкомпозитных материалов к нижней части плит перекрытия. Сравнительный анализ полученных количественных параметров смещений несущих конструкций позволяет оценить техническое состояние подземного здания и отдельных его конструкций до и после усиливающих мероприятий.

Ключевые слова: подземные здания, геодезический мониторинг, тригонометрическое нивелирование, деформационные марки, плиты перекрытия, фиброармированный пластик.

*Автор-корреспондент

Мария Сайлыгараева, e-mail: mariya_23365@mail.ru

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.1-11>

Поступило 07 ноября 2023; Пересмотрено 08 декабря 2023; Принято 24 января 2024

ACKNOWLEDGEMENTS/SOURCE OF FUNDING

The study was conducted using private sources of funding.

CONFLICT OF INTEREST

The authors state that there is no conflict of interest.

АЛҒЫС / ҚАРЖЫЛАНДЫРУ КӨЗІ

Зерттеу жеке қаржыландыру көздерін пайдалана отырып жүргізілді.

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ

Авторлар мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

БЛАГОДАРНОСТИ/ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование проводилось с использованием частных источников финансирования.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что конфликта интересов нет.

1 ВВЕДЕНИЕ

В последние несколько десятков лет важнейшая отрасль человеческой деятельности – строительство получило мощный импульс в развитии. Научный прорыв в области строительных технологий позволил возводить в короткие сроки высотные и уникальные здания и большепролетные инженерные сооружения. При проектировании и строительстве объектов с повышенным классом ответственности особое внимание уделяется вопросам безопасной и длительной их эксплуатации, учитывается множество требований по конструктивным, физико-механическим, эстетическим параметрам. К особенностям возведения зданий подобного типа относится применение крупных сборных элементов и узлов, повышенные требования к эвакуационным маршрутам, звуковому шуму, составу воздуха, освещению, к архитектурным решениям в плане эстетики и всего облика здания (Steckij et al., 2014).

Для обеспечения надежности и устойчивости зданий и инженерных сооружений в настоящее время успешно применяются новейшие технологии строительства, используются износостойкие и легкие материалы и сплавы металлов, усовершенствованный состав бетонных смесей для возведения несущих конструкций, фиброармированные полимеры для их усиления (Ovchinnikov et al., 2014; KazNISSA, 2013; Esipov, 2020).

В процессе эксплуатации железобетонные конструкции здания подвергаются различным воздействиям. Собственный вес здания и вес его несущих элементов оказывают на здание постоянные нагрузки, полезные нагрузки от веса оборудования и людей, находящихся в помещении, техногенные факторы и вибрации от агрегатов и транспорта, инженерно-геологические и гидрогеологические условия внешней среды, а также постоянное воздействие сейсмических колебаний земной поверхности оказывают большое воздействие на устойчивость здания. Вышеперечисленные факторы приводят к снижению несущей способности конструкции, появлению деформаций, прогибов, трещин (Sajlygaraeva, 2021; Fel'dman & Merezhko, 2010; Building regulations RK 2.03-30-2017, 2018).

2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Проблемы мониторинга технического состояния высотных и большепролетных зданий и сооружений остаются актуальными, и в связи с этим вопросам устойчивости строительных объектов посвящено множество научно-исследовательских работ (Malinnikova et al., 2008)

Согласно строительным нормам, при расчете и проектировании железобетонных строительных конструкций высотных и уникальных зданий и инженерных сооружений используется метод предельного состояния. Предельное состояние – это состояние, когда конструкция перестает удовлетворять требованиям, предъявляемым к ней в процессе эксплуатации или при сборке конструктивных элементов. Предельные состояния подразделяются на две группы.

К первой группе относятся предельные состояния, при наступлении которых происходит разрушение здания или нарушение несущей способности какого-либо из основных соединений.

Ко второй группе относятся предельные состояния здания, при котором в несущих изгибаемых конструктивных элементах наблюдаются превышающие допустимые значения прогибы. При этом наблюдаемая величина прогиба не должна превышать норм, заданных в СП (Shekhovcov, 2009; Building regulations RK 2.01.07-85, 1996).

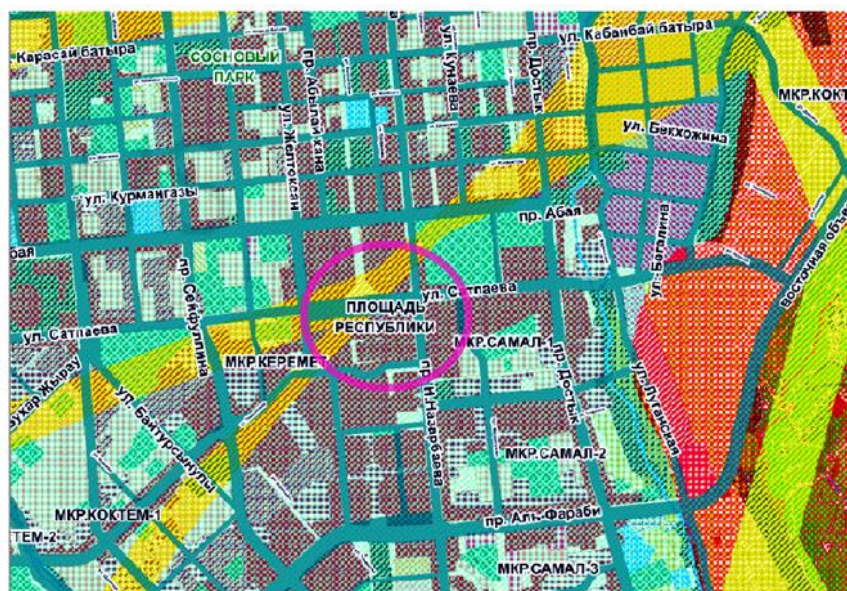
Для обеспечения безопасной эксплуатации и своевременного выявления опасных величин деформаций высотных и уникальных зданий и инженерных сооружений с повышенным классом по безопасности выполняется геодезический мониторинг. Геодезический мониторинг включает в себя специально разработанную методику для выполнения инструмен-

тальных наблюдений и получения количественных параметров осадки фундамента здания, отклонения от вертикального положения диафрагм жесткости, прогиба основных и второстепенных ригелей и железобетонных плит перекрытия.

Схема геодезического мониторинга включает такие основные этапы, как инструментальные наблюдения, закрепление результатов наблюдений в журнале ведомостей, их математическую обработку, вычисление параметров деформаций и составление технического заключения (Sailygarayeva et al., 2023; Belyaeva & Kudryavcev, 2019).

3 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования – уникальное подземное трехэтажное здание многофункционального общественного центра. По объемно-планировочному типу относится к зальным со сосредоточением большого количества людей. Относится к строительным объектам с повышенным классом ответственности. Построено под центральной площадью мегаполиса, на площади проходит одна из самых оживленных автомагистралей в городе с шириной дорожного полотна 10 м, с западной и восточной сторон площадь ограничивают транспортные потоки улиц Желтоқсан и проспекта Назарбаева. На **Рисунке 1** показан участок строительства, расположен на пересечении зон влияния Диагонального и Жанатурмысского тектонических разломов (A manual, 1986).



Сейсмическое микрорайонирование г. Алматы

9 баллов
10 баллов

тектонический разлом
объект строительства

Рисунок 1 – Схема сейсмического зонирования и тектонических разломов в районе строительства подземного здания многофункционального общественного центра (материал авторов).

Объект сдан в эксплуатацию в 2009 году, в 2020 году предложен проект реконструкции – надстройка отдельно стоящих металлических навесов в форме лепестков на покрытии блока 1, устройство навеса над входной группой, что вызовет изменения расчетных нагрузок на несущие конструкции здания. В связи с чем решено провести обследование конструкций входного блока и блока 1 для оценки технического состояния здания. На **Рисунке 2** изображен схематичный план надстраиваемых металлических конструкций.

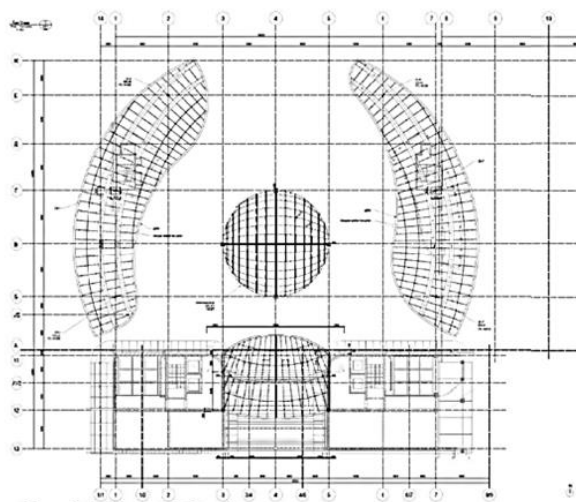


Рисунок 2 – План надстраиваемого сооружения (материал авторов).

Были выполнены обмерно-обследовательские работы зданий входного блока и блока 1 с сопоставлением результатов обследования с предоставленным рабочим проектом марки КЖ (конструкции железобетонные). В планировочном отношении здания входного блока и блока 1 относятся к торговому павильону №1, и разделены между собой антисейсмическими швами. Блок 1 – двухэтажное подземное здание прямоугольной формы в плане размерами в осях 49,0×54,0 м. Высота верхнего подземного этажа переменная от 5,1 – 5,5 м, высота нижнего подземного этажа 5,1 м. Блок 1 и входная группа изображены на [Рисунке 3](#).

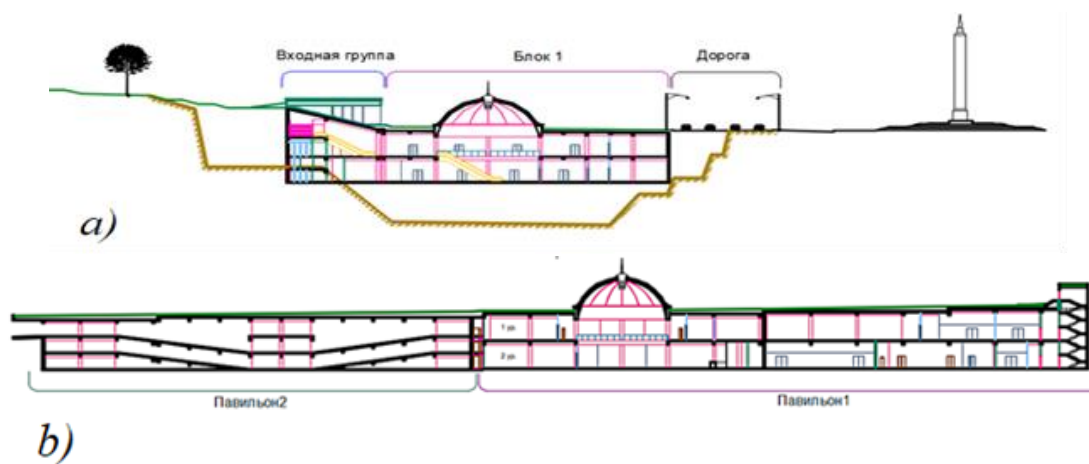


Рисунок 3 – Схема подземного здания многофункционального общественного центра:
а) Схема поперечного разреза, б) Схема продольного разреза (материал авторов).

Элементы конструкций перекрытия нижнего этажа и покрытия Блока 1 относятся к железобетонным конструкциям 3-ей категории трещиностойкости, для которой допускается ограниченное по ширине непродолжительное раскрытие трещин $a_{ср1} = 0,4$ мм и продолжительное раскрытие трещин $a_{ср2} = 0,3$ мм ([Building regulations RK 1.04-110-2017, 2017](#); [KazNISSA, 2009](#); [Building regulations RK 2.03.01-84, 1989](#)). Установленное при обследовании раскрытие трещин в ригелях и плитах перекрытий превышает эти допустимые значения, что свидетельствует об их несоответствии требованиям по трещиностойкости и требует мероприятий по усилению. На [Рисунке 5](#) изображена схема расположения трещин в плитах перекрытия нижнего уровня. Величины раскрытия трещин интерполировали для получения наглядной поверхности, изображенной на [Рисунке 6](#).

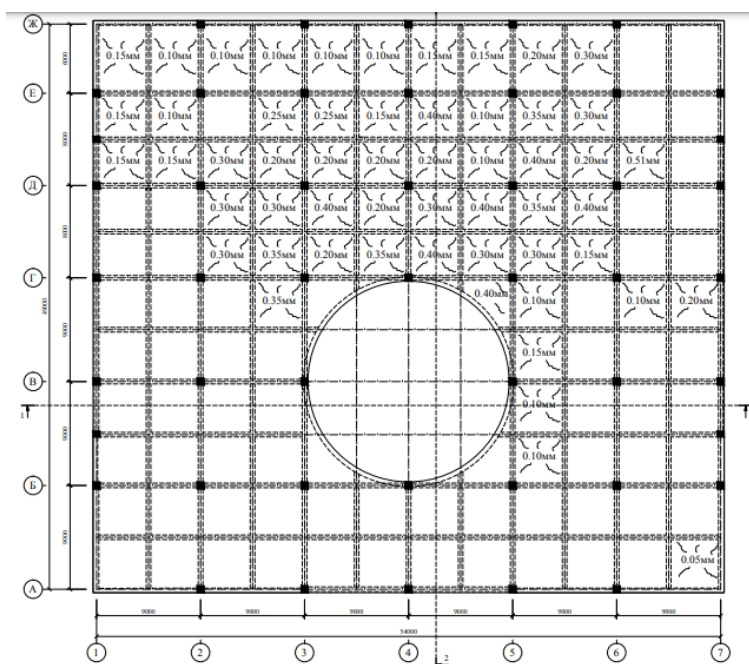


Рисунок 5 – Схема раскрытия трещин в плитах перекрытия нижнего уровня на отметке 0,000 (Павильон 1, блок 1) (материал авторов).

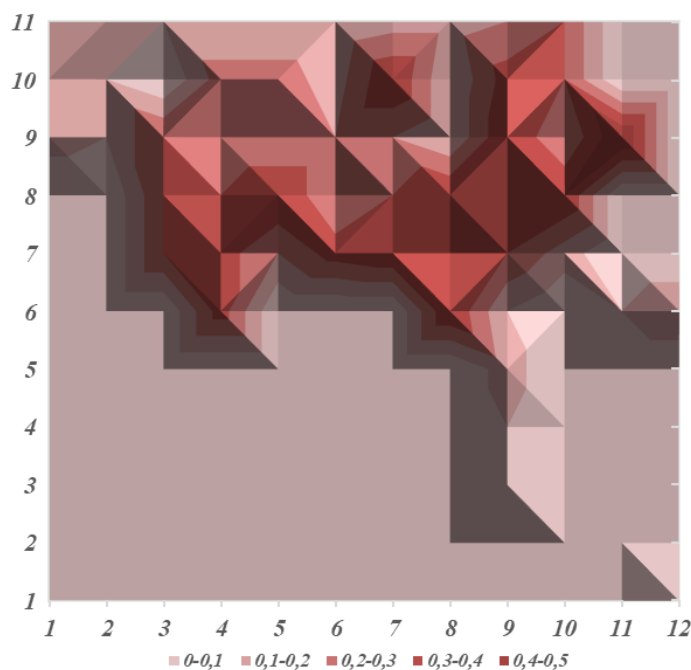


Рисунок 6 – Интерполированная схема поверхности раскрытия трещин в плитах перекрытия нижнего уровня на отметке 0,000 (Павильон 1, блок 1) (материал авторов).

Геодезический мониторинг прогибов плит перекрытий в потолке нижнего уровня выполнялся тригонометрическим нивелированием с использованием электронного тахеометра с точностью 0,5 мм. Деформационные марки фиксировали на плите перекрытия с двух сторон около ригелей и посередине. Суть тригонометрического нивелирования заключается в наведении зрительной трубы тахеометра последовательно на марки и точного фиксирования отсчета по вертикальному кругу (угла наклона Z) и наклонного расстояния S до марки, используя угловое и линейное значения вычисляем превышения нивелируемых точек h над отметкой станции тахеометра.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

В **Таблице 1** в числителе дроби приведены зарегистрированные величины вертикальных прогибов в железобетонных перекрытиях, в знаменателе – ширина раскрытия трещин. П – плита, Гр – главные ригели, Вр – второстепенные ригели. Эти величины позволяют сопоставить эти параметры на всех стадиях выполнения работ по поверхностному усилению железобетонных конструкций, предварительно напряженных фиброармированными композитными материалами. Причем, за величину прогибов принят прогиб середины плиты относительно опорных сечений плиты (около ригелей), а величина прогибов ригелей соответствует прогибу середины. Аналогичным способом измерены величины прогибов плит перекрытий нижнего уровня по осям Д-Ж/2-3, 3-4, 4-5, 5-6, Г-Д/2-3, 3-4, 4-5, 5-6, В-Г/ 2-3, 5-6.

Таблица 1

Замеры прогибов и ширины раскрытия трещин в элементах перекрытия в потолке нижнего уровня Блока 1 по осям Д-Ж/1-2, 4-5, 5-6

Оси здания	Марка точки замера	При первичном обследовании	После усиления плиты и ригелей
Д-Ж/1-2	П1	30,0/0,15	8,0/0
	П2	30,0/0,15	15,2/0
	П3	28,0/0,10	2,0/0
	П4	26,0/0,15	7,5/0
	П5	27,0/0,10	1,0/0
	П6	24,0/0,15	2,0/0
Д-Ж/4-5	П1	9,7/0,2	4,2/0,10
	П2	13,2/0,30	12,0/0,10
	П3	12,7/0,20	6,5/0,20
	П4	7,0/0,30	7,2/0,15
	П5	27,5/0,30	25,7/0,10
	П6	12,5/0,35	7,5/0,10
Д-Ж/5-6	П1	10,0/0,35	7,7/0,05
	П2	8,7/0,20	6,2/0,05
	П3	23,0/0,30	2,7/0,10
	П4	17,0/0,40	4,0/0,10
	П5	14,0/0,45	10,5/0,25
	П6	18,0/0,50	0/0,15

Восстановление эксплуатационной пригодности потолочных плит перекрытия над нижним этажом выполнялось наклеиванием на нижнюю поверхность однонаправленных фиброармированных сеток, работы проводились в следующей последовательности:

- ячейка перекрытия с поврежденными конструкциями приподнимается телескопической стойкой или стойкой с домкратом на величину прогиба элементов;
- устанавливаются временные дополнительные стойки;
- производится наклеивание фиброармированных сетки MBRACE FIB CF 230/4900/530g/5.50m FIBARMTAPE 530/300 шириной 300 мм на зачищенную и обработанную нижнюю поверхность плит;
- после набора требуемой прочности клея производится демонтаж временных стоек (**Building regulations RK 10-83, 1986**).

На **Рисунке 7** изображена схема расположения фиброармированных сеток.

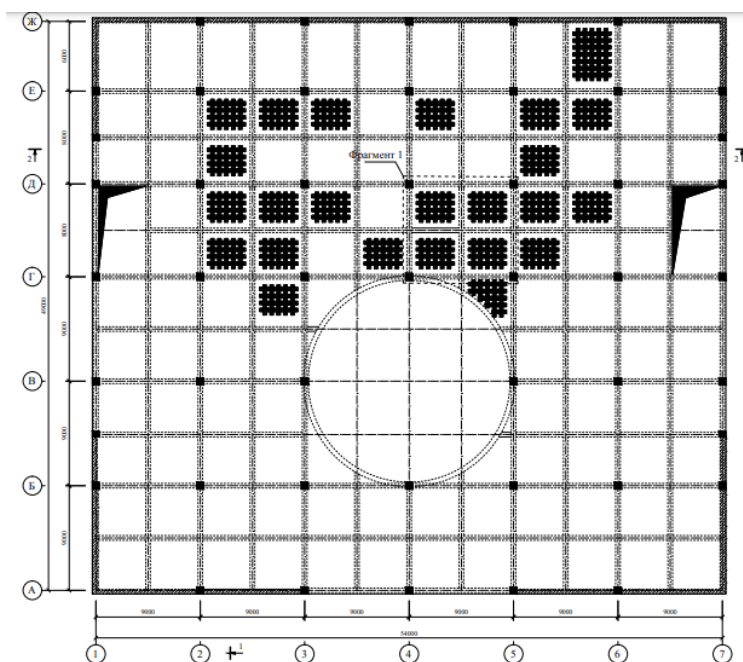


Рисунок 7 – Схема усиления железобетонных плит перекрытия потолка нижнего уровня на отметке 0,000 фиброармированными пластиками (материал авторов).

Выполненное усиление привело к снижению прогибов и уменьшению ширины раскрытия трещин в ригелях и плитах перекрытий. Средняя величина прогибов плит перекрытия над нижним этажом составляла 12 мм, а после усиления элементов перекрытия уменьшилась на 45% в соответствии с графиком на **Рисунке 8**. Ширина раскрытия трещин в плитах перекрытия над нижним этажом при первичном обследовании здания в среднем составляла 0,19 мм, после усиления элементов перекрытия она уменьшилась на 32% в соответствии с графиком на **Рисунке 9**. На **Рисунках 10, 11** изображены эпюры ширины раскрытия трещин в плитах перекрытий при первичном обследовании и после усиления в осях Д-Ж/4-5, 5-6 соответственно.

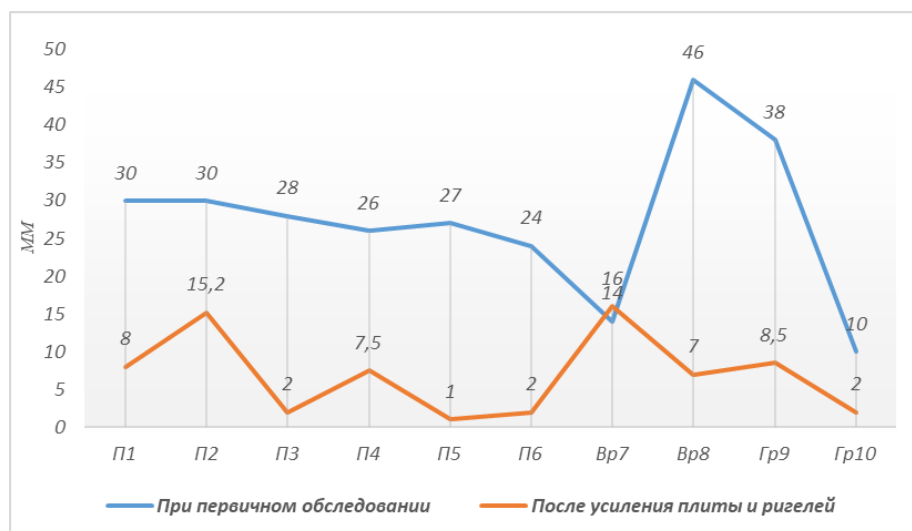


Рисунок 8 – Эпюр величины прогиба плит перекрытий при первичном обследовании и после усиления в осях Д-Ж/1-2 (материал авторов).

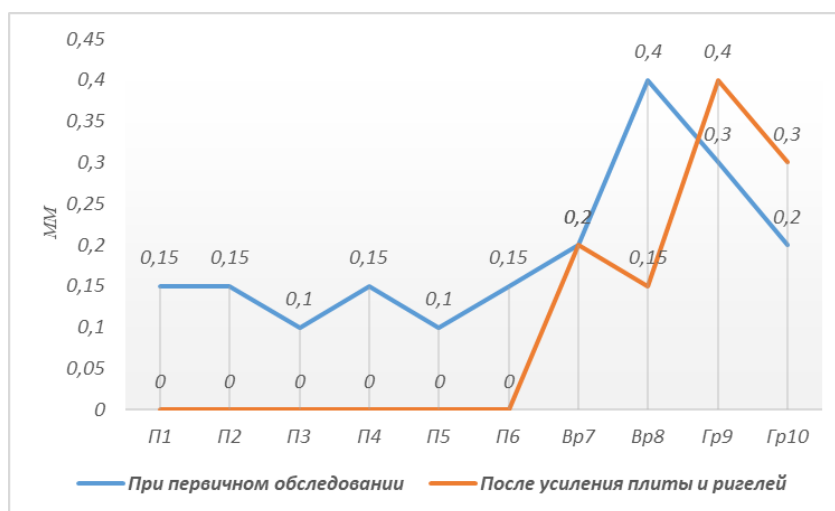


Рисунок 9 – Эпюр ширины раскрытия трещин в плитах перекрытий при первичном обследовании и после усиления в осях Д-Ж/1-2 (материал авторов).

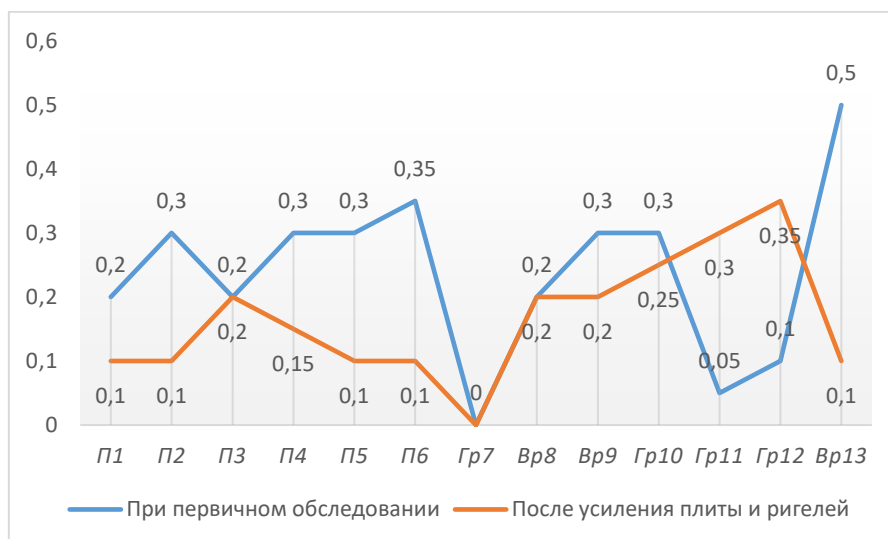


Рисунок 10 – Эпюр ширины раскрытия трещин в плитах перекрытий при первичном обследовании и после усиления в осях Д-Ж/4-5 (материал авторов).

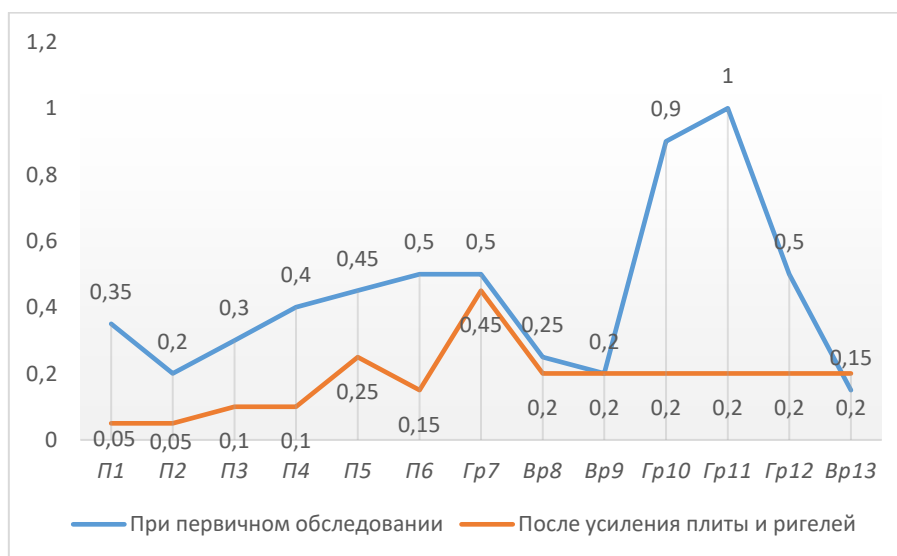


Рисунок 11 – Эпюр ширины раскрытия трещин в плитах перекрытий при первичном обследовании и после усиления в осях Д-Ж/5-6 (материал авторов).

5 ВЫВОДЫ

Для выполнения плана по реконструкции надземной части многофункционального общественного центра путем устройства тяжелых металлических конструкций с западной и восточной сторон от купола над покрытием блока 1 и металлическим навесом над входной группой были выполнены обмерно-обследовательские работы всех несущих железобетонных конструкций с целью оценки технического состояния и проверки соответствия объемно-планировочных и конструктивных решений требованиям действующих строительных норм, а также проверки соответствия конструктивных элементов с рабочими чертежами марки КЖ. Наряду с проведением геодезических наблюдений были проведены проверочные расчеты несущих конструкций с учетом планируемых изменений при реконструкции. И, наконец, разработка рекомендаций по внесению изменений в конструктивные элементы и их усилению.

По результатам проведенных обследований несущих железобетонных конструкций нижнего этажа блока 1:

1. В плитах перекрытия нижнего уровня подземного здания обнаружены трещины, в осях Д-Ж/4-5, 5-6 величина достигает 0,4-0,5 мм.

2. В плитах перекрытия нижнего уровня обнаружены прогибы. Геодезические наблюдения за прогибами плит показали наибольшие величины в осях Д-Ж/1-2 46,0 мм.

3. Предложена эффективная методика геодезического мониторинга за прогибами в плитах перекрытия и ригелях с учетом конструктивной сложности, и уникальности возводимого подземного многофункционального общественного здания.

4. Для безопасной эксплуатации здания были проведены мероприятия по усилению несущих плит перекрытия путем наклеивания на нижнюю часть сетки из фиброармированных материалов, что привело к существенному повышению прочности элементов перекрытий, а также восстановлению эксплуатационной пригодности перекрытий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **A manual** for examining and assessing the seismic resistance of buildings and existing buildings (1986). Alma-Ata (In Russ.).
2. **Belyaeva, Z. V., & Kudryavcev, S. V.** (2019). Calculation and design of elements of metal structures: educational and methodological manual [Расчет и проектирование элементов металлических конструкций: учебно-методическое пособие]. Ural un-ty publ., Ekaterinburg. (In Russ.).
3. **Building regulations RK 1.04-110-2017.** (2017). Inspection, assessment of technical condition and seismic strengthening of buildings and structures [Обследование, оценка технического состояния и сейсмостойкости зданий и сооружений]. Astana (In Russ.).
4. **Building regulations RK 2.03.01-84.** (1989). Concrete and reinforced concrete structures [Бетонные и железобетонные конструкции]. Moscow (In Russ.).
5. **Building regulations RK 10-83.** (1986). A manual for strengthening load-bearing structures of buildings and structures, reconstructed enterprises located in zones II and III of Almaty [Пособие по усилению несущих конструкций зданий и сооружений, реконструируемых предприятий, расположенных во II и III зонах г. Алматы]. Almaty. (In Russ.).
6. **Building regulations RK 2.01.07-85.** (1996). Loads and impacts [Нагрузки и воздействия], Moscow (In Russ.).
7. **Fel'dman, V. D., & Merezko, L. M.** (2010) Methodology for geodetic monitoring of the technical condition of high-rise and unique buildings and structures [Методика геодезического мониторинга технического состояния высотных и уникальных зданий и сооружений]. MDS 13-22.2009/000 «ТЕКТОПЛАН». Moscow. (In Russ.).

8. **Esipov, S.M.** (2020). Strengthening of bendable reinforced concrete elements with external composite reinforcement taking into account operating conditions. Abstract of the dissertation for the degree of candidate of technical sciences [Usilenie izgibaemyh zhelezobetonnyh elementov vnesnim kompozitnym armirovaniem s uchetom uslovij ekspluatatsii. Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk], Belgorod (In Russ.).
9. **KazNIISA.** (2013). Recommendations for strengthening reinforced concrete structures with fiber-reinforced plastics [Rekomendacii po usileniyu zhelezobetonnyh konstrukcij fibroarmirovannymi plastikami], Almaty (In Russ.).
10. **KazNIISA.** (2009). «Technical specifications for the design of the underground multifunctional public center "Almaly" in Almaty city [Tekhnicheskie usloviya na proektirovanie podzemnogo mnogofunkcional'nogo obshchestvennogo centra «Almaly» v Almaty»]. Almaty. (In Russ.).
11. **Malinnikova, O. N., Zaharov, V. N., Filippov, Y. A., & Kovpak, I. V.** (2008). Geospatial modeling of the interaction of high-rise buildings and structures with rock masses. Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal) [Geoprostranstvennoe modelirovanie vzaimodejstviya vysotnyh zdaniy i sooruzhenij s massivom gornyh porod. Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-tekhnicheskij zhurnal)], (In Russ.).
12. **Ovchinnikov, I. I., Ovchinnikov, I. G., Chesnokov, G. V., Tatiev, D. A., & Pokulaev, K.V.** (2014). Reinforcement of metal structures with fiber-reinforced plastics: part 1. state of the problem [Usilenie metallicheskih konstrukcij fibroarmirovannymi plastikami: chast' 1. sostoyanie problem]. Naukovedenie, 3, 1-27 (In Russ.).
13. **Sailygarayeva, M., Nurlan, A., Rysbekov, K., & Baygurin, Z.** (2023). Predicting of vertical displacements of structures of engineering buildings and facilities. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, (2), 077-083. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-2/077>
14. **Sajlygaraeva, M. A.** (2021). Monitoring displacements of high-rise buildings in urban areas. Collection of materials from the 15th International Scientific School of Young Scientists and Specialists. [Monitoring smeshchenij vysotnyh zdaniy na urbanizirovannyh territoriyah. Sb.materialov 15 Mezhdunarodnoj nauchnoj shkoly molodyh uchenyh i specialistov]. Moscow IPKON RAN, 352-357. (In Russ.).
15. **Shekhovcov, G. A.** (2009). Modern geodetic methods for determining deformations of engineering structures: monograph [Sovremennye geodezicheskie metody opredeleniya deformacij inzhenernyh sooruzhenij: monografiya], Nizhny Novgorod. State architect-builds university. (In Russ.).
16. **Steckij, S. V., Larionova, инК. О., & Nikonova, E. V.** (2014). Fundamentals of architecture and building structures: a short course of lectures, Moscow: MGSU [Osnovy arhitektury i stroitel'nyh konstrukcij: kratkij kurs lekciy]. (In Russ.).