

Натурные испытания как способ верификация результатов поверочных расчетов

Ю.С. Кунин, Г.А. Григорян, А.Л. Ермак

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет; г. Москва, Россия

Аннотация: В статье представлен сравнительный анализ результатов поверочных расчетов монолитной железобетонной плиты перекрытия и натурных испытаний, а также сформулированы основные факторы, влияющие на точность определения несущей способности монолитных железобетонных конструкций при выполнении поверочных расчетов. В соответствии с нормативной документацией, несущая способность строительных конструкций определяется путем выполнения поверочных расчетов по действующим нормам проектирования и проведения натурных испытаний (при необходимости) для подтверждения несущей способности, установленной расчетами. В современной практике технического обследования натурные испытания выполняются крайне редко из-за их большой трудоемкости и сложности интерпретации результатов. Однако именно натурные испытания позволяют наиболее точно определить несущую способность конструкции. Это дает возможность корректно оценить техническое состояние, оптимизировать разработку проектов усиления за счет обоснованного выбора метода, точного расчета необходимых объемов работ и, как следствие, минимизировать материальные затраты.

Ключевые слова: несущая способность, натурные испытания, поверочный расчет, железобетон, перекрытие, прогиб, группы предельных состояний, техническое обследование.

Введение

Одной из ключевых задач при выполнении технического обследования зданий и сооружений является точное определение несущей способности строительных конструкций. Согласно статистике в последние 10 лет в России отмечается рост аварийности монолитных железобетонных конструкций, 15% аварий связаны с некорректной оценкой несущей способности.

Несущая способность строительных конструкций определяется путём выполнения поверочных расчетов.

Наиболее трудоёмко в рамках технического обследования определять несущую способность монолитных железобетонных конструкций, которые обладают значительной вариативностью свойств из-за: неоднородности бетона; возможных отклонений в армировании; наличия скрытых дефектов

внутренней структуры бетона и арматуры; значительного влияния условий бетонирования и твердения.

Повышение точности определения несущей способности монолитных железобетонных конструкций в рамках технического обследования позволит:

1. Более достоверно оценить фактическое техническое состояние конструкции.

2. Оптимизировать разработку проектов усиления за счет: обоснованного выбора методов усиления, точного расчета необходимых объёмов усиления и минимизации материальных затрат.

Что в свою очередь позволит обеспечить рациональный подход в принятии решений относительно: изменения функционального назначения здания; целесообразности реконструкции или демонтажа; выбора между усилением или заменой отдельных конструктивных элементов.

Материалы и методы

Современная практика расчета монолитных железобетонных конструкций требует дифференцированного подхода к выбору методов. Для типовых случаев достаточно классических методов, тогда как для ответственных и нестандартных конструкций необходимо применять нелинейный анализ и МКЭ. Наиболее перспективным направлением является развитие вероятностных методов, позволяющих оптимально сочетать надежность и экономическую эффективность.

Также в рамках выполнения поверочных расчетов необходимо учитывать дефекты и повреждения конструкции, выявленные по результатам обследования.

Учет дефектов осуществляется через корректировку геометрических параметров, свойств материалов и внедрения коэффициентов условий работы.

В статьях: Волкова А.С. «Влияние дефектов строительства на несущую способность железобетонных конструкций монолитного каркасного здания»

[1], Колесникова А.В. «Методы расчета и определения несущей способности монолитных железобетонных конструкций в строящихся каркасных зданиях с учетом образования трещин и дефектов, возникающих при строительстве» [2], Сударикова К. П. «Особенности расчета монолитных железобетонных конструкций с учетом полученных дефектов при строительстве» [3]; Кабанцева О.В. «Оценка влияния локальных дефектов перекрытия на основе учета поэтапного изменения расчетной схемы под нагрузкой», Дрокина С.В. «Влияние дефектов на прочность и деформативность элементов перекрытий каркасных конструктивных систем» [4], Гарькина И.Н. «Деформативно-прочностные свойства монолитных железобетонных перекрытий» [5], Бабушкиной Д.Р. «Расчет монолитных железобетонных плит перекрытий высотного жилого комплекса с учетом физической нелинейности» [6] поднимаются локальные вопросы выполнения расчетов монолитных железобетонных конструкций с учетом дефектов и повреждений, истории нагружения и анализируются результаты более детализированных расчетов с классическими вариантами.

Приближение расчетной модели к реальным условиям работы, путём учета физической нелинейности материалов, дефектов и повреждений, а также истории нагружения конструкции позволяют более корректно оценивать НДС и точнее определять несущую способность конструкции.

В статье Кабанцева О.В. и Лапшинова А.Е. «Обзор мирового опыта по проведению натурных испытаний существующих железобетонных конструкций» [7] указано, что уровень оценки результатов натурных испытаний довольно ограничен. Могут применяться только простые критерии оценки, такие как соотношение постоянной и максимальной деформации, но они не могут быть признаны в качестве реальных критериев предельного состояния. В Российской Федерации стандарт на осуществление натурных испытаний существующих конструкций на данный момент не разработан.

В данной работе на основании анализа результатов технического обследования был выполнен поверочный расчет монолитной железобетонной плиты перекрытия здания школы в программном комплексе «ЛИРАСАПР 2021». Результаты поверочных расчетов сравнивались с результатами натурных испытаний.

Результаты исследования

Рассматриваемый объект – монолитная железобетонная плита перекрытия толщиной 250 мм, изготовленная с применением бетона класса В25. Фактическое армирование плиты, определенное по результатам обследования выполнено арматурными стержнями Ø10 класса А500С, расположенными с шагом 200 мм вдоль буквенных и цифровых осей (рис. 1).

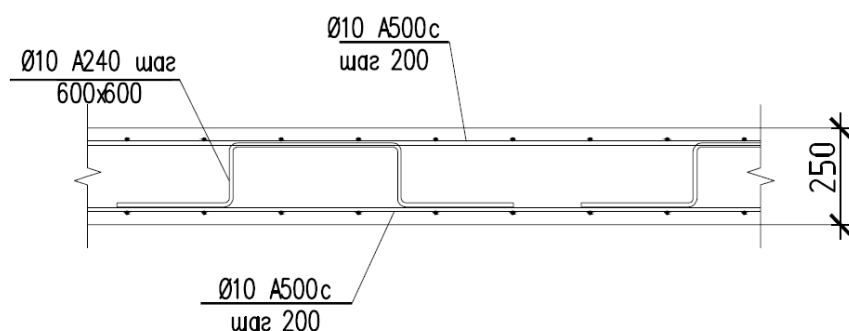


Рис. 1. Поперечное сечение плиты перекрытия

В рамках визуально-инструментального обследования на верхней и нижней поверхностях плиты перекрытия были выявлены трещины шириной раскрытия до 0,2 мм.

На основании результатов обследования и анализа проектных данных выполнено моделирование расчетной схемы (рис. 2) блока здания школы в осях «1-12.2/С.2-Ч», в котором расположена обследуемая конструкция плиты.

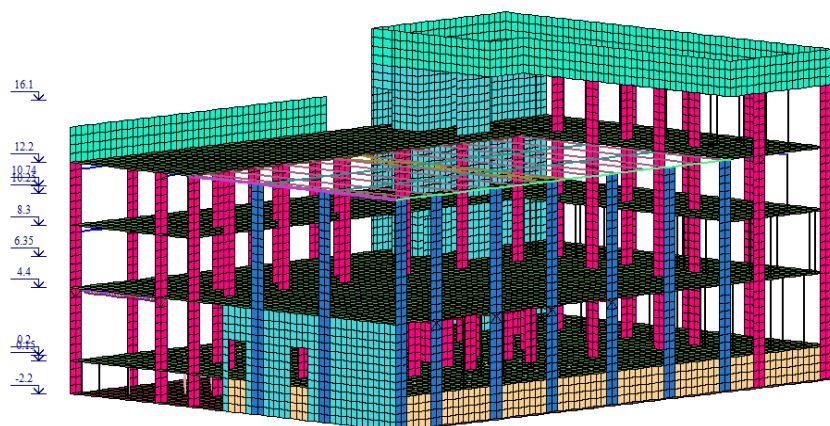


Рис. 2. Расчетная схема блока здания школы

Нагрузки на расчетную схему приняты по результатам обследования, анализа проектной документации, а также в соответствии с нормативной документацией.

Для оценки несущей способности по первой группе предельных состояний будем использовать критерий – коэффициент запаса армирования по прочности для пластин, доступный в ПК «ЛИРАСАПР 2021».

По результатам поверочных расчетов (рис. 3) предельно допустимая нагрузка (по критериям первой группы предельных состояний) на конструкцию плиты, перекрытия составляет 310 кг/м^2 .

Для определения несущей способности конструкции перекрытия, необходимо выполнить проверку по II группе предельных состояний.

Определение деформаций монолитных железобетонных конструкций согласно действующими нормам проектирования, учебным пособиям и научным статьям [8-9], корректно выполнять с учетом физической нелинейности. Но ввиду большой трудоёмкости выполнения расчетов, а также наличия результатов натурных испытаний конструкции плиты перекрытия, дающих возможность оценить относительно достоверно определить несущую способность по второй группе предельных состояний.

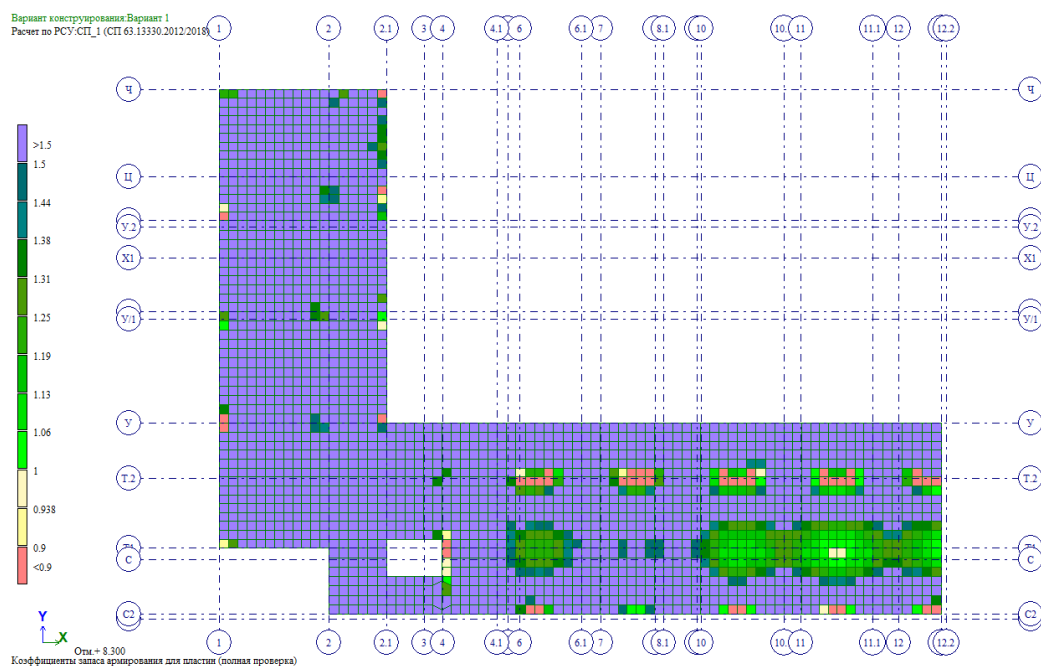


Рис. 3. Коэффициенты запаса армирования по прочности для пластин

Целью выполнения натуральных испытаний перекрытия является - контроль прочности, жесткости и трещиностойкости монолитной железобетонной плиты перекрытия с учетом конструкций усиления.

Прогиб и ширина раскрытия трещин измеряется фактически от кратковременных нагрузок, что подразумевает учет только кратковременной ползучести, проявляемой сразу после приложения нагрузки [10-11]. Ввиду специфики и краткосрочности испытаний полная ползучесть не определяется.

Натурное испытание конструкции перекрытия выполнялось в 7 этапов (рис 4).

По завершению каждого этапа испытания фиксировалась ширина раскрытия трещин по верхней и нижней поверхности плиты перекрытия.

Завершением испытаний является достижение контролируемых параметров (ширины раскрытия трещин, прогибов) предельно допустимых значений, либо обеспечение выдержки конструкции при контрольной нагрузки в течение не менее 60 минут.



Рис. 4. Размещение грузов на плите перекрытия

По результатам натурных испытаний, установлено, что предельно допустимая нагрузка на конструкцию монолитной железобетонной плиты перекрытия, составляет 240 кг/м^2 .

Разница между предельно допустимыми нагрузками на плиту перекрытия, определенными по результатам поверочных расчетов и натурных испытаний составляет 70 кг/м^2 .

По сколько натурные испытания были остановлены по достижений контролируемых параметров по второй группе предельных состояний предельных значений, а по результатам поверочных расчетов устанавливалась предельно допустимая нагрузка по критериям первой группы предельных состояний, несущей способность плиты является именно нагрузка определенная по результатам натурных испытаний.

Выводы

1. Несущая способность (допустимая нагрузка) конструкции перекрытия по критериям 2-ой группы предельных состояний – 240 кг/м^2 .
2. Выполнение натурных испытаний позволяет верифицировать результаты поверочных расчетов, но только по критериям второй группы

предельных состояний. Для подтверждения несущей способности конструкции по первой группе предельных, конструкцию необходимо нагружать до появления признаков разрушения, что в рамках технического обследования нецелесообразно.

3. Для особенно ответственных конструкций необходимо выполнять верификацию результатов расчетов натурными испытаниями. Но для правильного анализа результатов испытаний необходимы иметь корректные расчетные данные по критериям второй группы предельных состояний, получение которых возможно только при выполнении поверочных расчетов с учетом физической нелинейности.

Литература

1. Волков А. С., Дмитренко Е. А., Корсун А. В. Влияние дефектов строительства на несущую способность железобетонных конструкций монолитного каркасного здания //Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. №. 2. С. 45-56.
2. Колесников А. В. Методы расчета и определения несущей способности монолитных железобетонных конструкций в строящихся каркасных зданиях с учетом образования трещин и дефектов, возникающих при строительстве //Инновации в науке и практике. 2018. № 1. С. 37-43.
3. Сударикова К. П. Особенности расчета монолитных железобетонных конструкций с учетом полученных дефектов при строительстве //Молодежь, наука, технологии: новые идеи и перспективы. 2017. С. 325-329.
4. Кабанцев О. В., Горбатов С. В., Песин К. О. Оценка влияния локальных дефектов перекрытия на основе учета поэтапного изменения расчетной схемы под нагрузкой //Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. №. 2 (49). С. 89-108.

5. Гарькин И. Н., Саденко Д. С. Деформативно-прочностные свойства монолитных железобетонных перекрытий // Региональная архитектура и строительство. 2020. №. 1. С. 126-129.
6. Бабушкина Д. Р., Грязнов С. Ю., Уткина В. Н. Расчет монолитных железобетонных плит перекрытий высотного жилого комплекса с учетом физической нелинейности // Огарёв-Online. 2021. №. 6 (159). С. 1.
7. Кабанцев О. В., Лапшинов А. Е. Обзор мирового опыта по проведению натурных испытаний существующих железобетонных конструкций // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. №. 9. С. 1505-1520.
8. Георгиев С. В., Соловьева А. И., Меретуков З. А. Сравнение методов усиления железобетонных стоек с точки зрения экономической эффективности // Инженерный вестник Дона. 2022. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7485
9. Георгиев С. В., Меретуков З. А., Соловьева А. И. К определению прочности бетона, обжатого композитными материалами, расположенными в поперечном направлении // Инженерный вестник Дона. 2021. № 10. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2021/7225>.
10. . Sen, D., Begum, M. Experimental Investigation on the Behavior of Steel Angle and Strip Jacketed RC Column Under Eccentric Loading // J. Inst. Eng. India Ser. 2024. Vol. 105. Pp.77–89.
11. Khalifa, E.S., Al-Tersawy, S.H. Experimental and analytical behavior of strengthened reinforced concrete columns with steel angles and strips // Int J Adv Struct Eng 6. 2014. Vol. 6. pp. 10-11.

References

1. Volkov A.S., Dmitrenko E.A., Korsun A.V. Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenii. 2015. №. 2. pp. 45-56.
 2. Kolesnikov A.V. Innovatsii v nauke i praktike. 2018. № 1. pp. 37-43.
-



3. Sudarikova K.P. Molodezh', nauka, tekhnologii: novye idei i perspektivy. 2017. pp. 325-329.
4. Kabantsev O.V., Gorbato S.V., Pesin K.O. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2015. №. 2 (49). pp. 89-108.
5. Gar'kin I.N., Sadenko D.S. Regional'naia arkhitektura i stroitel'stvo. 2020. №. 1. pp. 126-129.
6. Babushkina D.R., Gрязнов S.И., Уткина В.Н. Ogarëv-Online. 2021. №. 6 (159). P. 1.
7. Kabantsev O.V., Lapshinov A.E. Vestnik MGSU. 2024. T. 19. №. 9. pp. 1505-152.
8. Georgiev S.V., Soloveva A.I., Meretukov Z.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2022. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7485.
9. Georgiev S.V., Meretukov Z.A., Soloveva A.I. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021. № 10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2021/7225.
10. Sen, D., Begum, M. J. Inst. Eng. India Ser. 2024. Vol. 105. pp.77–89.
11. Khalifa, E.S., Al-Tersawy, S.H. International Journal of Advanced Structural Engineering. 2014. Vol. 6. pp. 10-11.

Дата поступления: 14.07.2025

Дата публикации: 25.08.2025