

Технологическая структура и организация комплексного процесса инструментального мониторинга зданий, прилегающих к новому строительству

А. Урунов, Н.Н. Петров, М.А. Фетисова

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Аннотация: Инструментальный мониторинг при строительстве в плотной городской застройке играет особенно важную роль из-за повышенных рисков для окружающих зданий и инфраструктуры. Тщательное планирование, эффективное управление рисками и взаимодействие с заинтересованными сторонами позволяют минимизировать негативные последствия строительства в плотной городской застройке и обеспечить безопасность людей и окружающих зданий. Мониторинг направлен не только на обеспечение безопасности возводимого объекта, но и на защиту несущих конструкций при строительстве новых фундаментов, рытье котлованов вблизи существующих фундаментов могут возникнуть нагрузки, которые приведут к деформациям и даже разрушению конструкций соседних зданий.

Ключевые слова: плотная застройка, структурная схема, зоны влияния, строительство, оценки осадки, существующая застройка, эксплуатация, конструктивная схема здания, методы строительства, организация производства.

В условиях плотной городской застройки новое строительство формирует дополнительное техногенное воздействие на основания и несущие конструкции прилегающих зданий. Воздействие проявляется в перераспределении напряженно-деформированного состояния массива грунтов, изменении гидрогеологических условий, возникновении неравномерных осадок и кренов, а также в росте динамических влияний от строительной техники и процессов устройства подземной части. Обеспечение эксплуатационной пригодности существующей застройки и допустимых параметров деформаций требует внедрения комплексного инструментального мониторинга как технологического контура управления рисками в составе организации строительного производства [1-3]. Такая

система рассматривается не как вспомогательная функция, а как часть технологической структуры строительства, обеспечивающая непрерывный цикл сбора, обработки и интерпретации данных с последующей коррекцией методов и последовательности работ. [4,5]

Логическая модель комплексного процесса мониторинга представлена структурной схемой моделирования и представлена на рисунке 1.

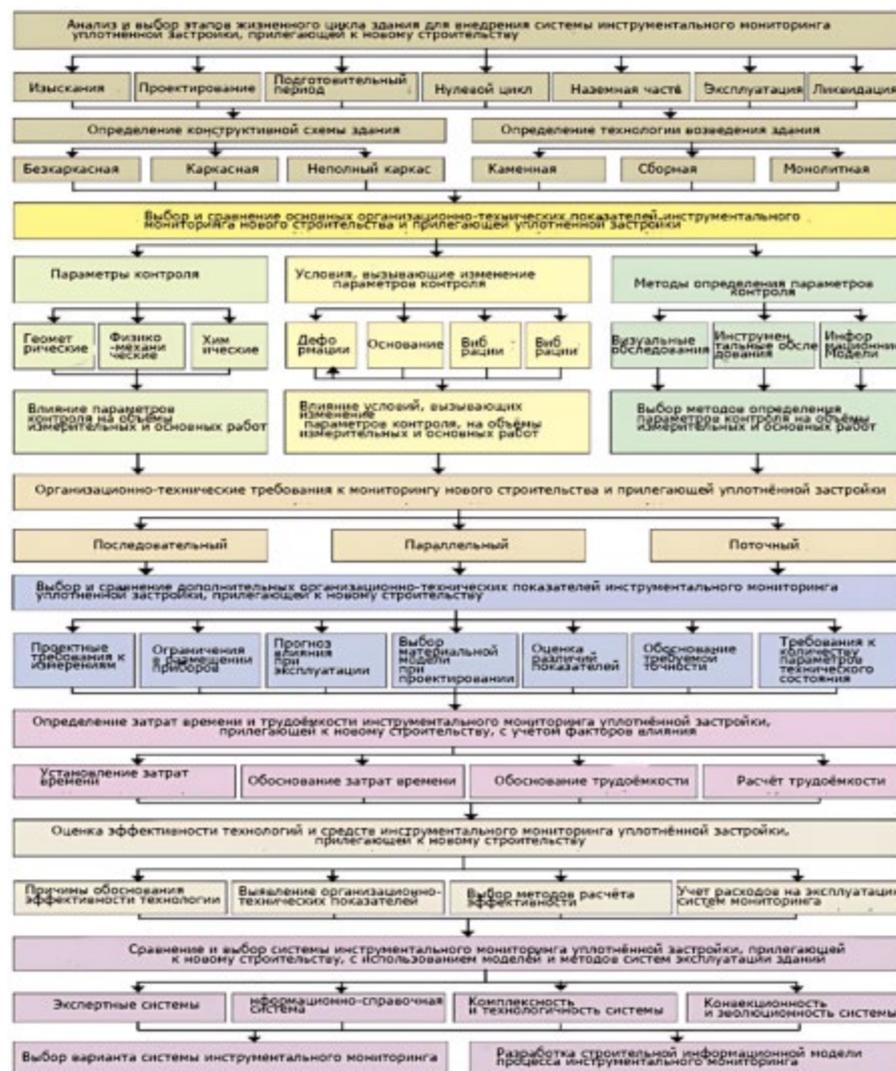


Рис. 1. Структурная схема моделирования комплексного процесса инструментального мониторинга зданий, прилегающих к новому строительству.

Схема устанавливает последовательность процедур от подготовки исходной информации до принятия инженерных решений и стандартизует взаимодействие участников строительного процесса. На стадии подготовки формируется массив исходных данных, включающий результаты инженерно-геологических изысканий, материалы обследований прилегающих зданий и подземных коммуникаций, сведения о конструктивных схемах и фактическом техническом состоянии. На основании исходной информации выполняется обоснование расчетных и допустимых значений деформаций для прилегающих объектов в привязке к действующим сводам правил Российской Федерации, включая СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений» и СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции». Параметры допустимых перемещений, кренов, раскрытия трещин и вибрационных воздействий назначаются в диапазонах, обеспечивающих эксплуатационную пригодность и долговечность конструкций при заданной стадии строительного процесса.

Далее выполняется проектирование системы наблюдений с привязкой к геометрии котлована, глубине подземной части, планировке и высотной схеме нового здания. Определяется зона влияния нового строительства на прилегающую застройку; в расчет включаются характеристики грунтов по слоям сжимаемой толщи, распределение напряжений по стадиям сооружения подземных конструкций и надземного каркаса, а также возможные фильтрационные и температурные факторы (ГОСТ 31937-2024 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния»), [8]. Выбор сети наблюдений ориентируется на включение в контур контроля участков потенциальной концентрации деформаций и зон вероятной неравномерной осадки. В состав сети вводятся реперы на внеплощадочных устойчивых основаниях, осадочные марки на фасадах и в

уровне цоколя прилегающих зданий, точки контроля кренов на характерных участках каркаса, контрольные сечения на участках возможного раскрытия трещин, а также датчики уровня грунтовых вод и виброускорений, если этого требует технологический процесс [1].

Монтаж средств измерений выполняется до начала активных строительных воздействий [8], с обязательной первичной фиксацией исходных отметок и параметров. В дальнейшем организуются регламентные циклы наблюдений по этапам строительства, синхронизированные с темпами разработки котлована, устройством ограждающих конструкций котлована, работами по водопонижению, бетонированием плит и стен подземной части, возведением надземного каркаса и выполнением тяжелых монтажных операций. Частота наблюдений устанавливается с учетом скорости возможного изменения контролируемых величин; в период интенсивного воздействия интервалы сокращаются, в стабилизационный период – увеличиваются. На всех этапах обеспечивается метрологическая сопоставимость измерений, соблюдение методик и поверочный контроль приборов [5].

Расчетное обоснование параметров мониторинга и их интерпретация выполняются на основе зависимостей, применяемых в исходном документе. Для прогнозирования осадок нового сооружения по слоям сжимаемой толщи грунтов в период строительства и начальной эксплуатации используется выражение

$$S_{\text{нового стр.}} = \beta \sum_{i=1..n} ((\sigma_{zp,i} - \sigma_{zy,i})/E_i) \cdot h_i + \beta \sum_{i=1..n} (\sigma_{zy,i}/E_{e,i}) \cdot h_i$$

где: $S_{\text{нового стр.}}$ – осадка основания нового сооружения, м;

β – коэффициент условий работы основания, учитывающий реологические свойства грунта (0,8 – 1,2);

$\sigma_{zp,i}$ – вертикальное напряжение в i – м слое грунта в момент завершения строительства подземной части, кПа;

$\sigma_{zy,i}$ – вертикальное напряжение в i -м слое до начала строительства, кПа;

E_i – модуль деформации i -го слоя грунта в период строительства, кПа;

$E_{e,i}$ – модуль деформации i -го слоя грунта в эксплуатационном режиме, кПа;

h_i – толщина i -го слоя сжимаемой толщи, м;

n – число расчетных слоев в пределах сжимаемой толщи.

Применение данного выражения позволяет определить прогнозные значения осадки с учетом различий модулей деформации по стадиям и по слоям, а также выполнить последующую верификацию по данным геодезического нивелирования и датчиков вертикальных перемещений [10].

Для оценки осадки существующей застройки, сформированной до начала нового строительства и подверженной дополнительному влиянию в процессе работ, применяется зависимость

$$S_{\text{существ. стр.}} = \beta \sum_{i=1..n} ((\sigma_{zp,i} - \sigma_{zy,i})/E_i) \cdot h_i + \beta \sum_{i=1..n} (\sigma_{zy,i}/E_{e,i}) \cdot h_i$$

где: $S_{\text{существ. стр.}}$ – осадка основания существующего здания [9], определяемая в разложении по слоям сжимаемой толщи; остальные обозначения идентичны приведенным выше.

Данное выражение обеспечивает отдельный учет сложившейся составляющей осадки до начала работ и дальнейшей динамики под действием нового строительства, что необходимо для корректного расчета дополнительной составляющей.

Критериальная оценка эксплуатационной пригодности конструкций прилегающих зданий формулируется через условие допустимости общей и дополнительной осадки.

$$S_{\text{сущ. стр.}} + S_{\text{ад}} \leq S_{\text{доп}} ; S_{\text{ад}} \leq S_{\text{ад,у}}$$

где: $S_{\text{ад}}$ – дополнительная осадка основания существующего здания, вызванная влиянием нового строительства;

$S_{\text{доп}}$ – предельно допустимая общая осадка для данного типа здания и основания;

$S_{\text{ад,у}}$ – предельно допустимая дополнительная осадка, принимаемая по СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений» (раздел 9, п. 9.1.9).

Соблюдение указанного условия подтверждает эксплуатационную пригодность; при приближении к пределам требуется корректировка технологии работ и ввод компенсирующих мероприятий. Верификация условия осуществляется по итогам сопоставления расчетных значений, полученных по указанным зависимостям, и фактических величин, зафиксированных средствами мониторинга [10].

Обработка результатов наблюдений осуществляется в рамках единого алгоритма, включающего контроль достоверности исходных измерений, фильтрацию и сглаживание временных рядов, построение зависимостей осадок и кренов во времени, а также анализ скорости изменения параметров.

Для оценки динамики вычисляются приращения величин между последовательными циклами наблюдений и скорости деформационных процессов; при фиксировании устойчивого возрастания скоростей и при наличии признаков нелинейного нарастания деформаций выполняется внеплановая корректировка графика строительных работ. Корректировка может заключаться в изменении темпов разработки котлована, перераспределении монтажных операций, усилении оснований и фундаментов методами инъецирования и устройства дополнительных элементов, оптимизации режимов водопонижения и дренажа, а также во временном ограничении источников динамических воздействий. Все решения исполняются в пределах действующих проектных решений и требований СП, с обязательной последующей оценкой эффективности по данным последующих циклов наблюдений.

Технологическая интерпретация структурной схемы мониторинга требует непрерывной обратной связи между измерительным контуром и производственными решениями. Прием и обработка данных организуются централизованно, с обеспечением архивирования и трассируемости изменений, что позволяет выполнять ретроспективный анализ и подтверждать соответствие параметров фактического состояния расчетным моделям. Для объектов повышенной ответственности и для участков с неблагоприятными грунтовыми условиями целесообразно внедрение автоматизированных подсистем дистанционного контроля, обеспечивающих непрерывную регистрацию показаний датчиков осадки, инклинометров, датчиков раскрытия трещин и виброускорений с передачей данных в аналитический модуль. Внедрение автоматизации оправдано при особых уровнях наблюдений, где критично раннее обнаружение предельных тенденций.

В период стабилизации после завершения активных строительных воздействий мониторинг продолжает выполняться до подтверждения затухания деформационных процессов. Длительность стабилизационного периода зависит от свойств сжимаемой толщи, глубины подземной части, геометрии плиты основания и характера конструктивной схемы надземного каркаса. Фиксирование устойчивого снижения скоростей осадок до фоновых значений и отсутствие прироста кренов в пределах точности измерений служат основаниями для завершения наблюдений. При необходимости сроки продлеваются до достижения устойчивого состояния.

С учетом требований технологической организации строительного производства комплексный инструментальный мониторинг должен рассматриваться как обязательная часть проекта производства работ и графиков выполнения СМР при новом строительстве в условиях плотной застройки. Наличие структурной схемы и алгоритмизации процедур позволяет унифицировать состав и периодичность наблюдений, стандартизовать методики, обеспечить сопоставимость данных и их применимость для оперативного управления. Такая интеграция снижает неопределенность расчетных моделей за счет верификации по фактическим измерениям и позволяет экономически обоснованно применять компенсирующие мероприятия только в необходимом объеме и в требуемой последовательности.

Представленный подход соответствует практике применения действующих нормативных документов Российской Федерации, включая своды правил на основания и конструкции, и ориентирован на обеспечение эксплуатационной пригодности прилегающей застройки в условиях техногенных воздействий от строительства. Применение структурной схемы моделирования комплексного процесса мониторинга (Рисунок 1)



обеспечивает воспроизводимость организационно-технологических решений, повышает управляемость строительного процесса и уменьшает вероятность возникновения повреждений конструкций и подземной инфраструктуры. В результате достигается требуемый уровень безопасности при вводе нового объекта в эксплуатацию в условиях плотной городской среды.

Литература

1. Баулин А. В. Перунов А. С. Строительный контроль в проекте производства работ // Инженерный вестник Дона. 2021. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2021/6909.

2. Лapidус А. А. Макаров А. Н. Применение риск-ориентированного подхода при выполнении функций строительного контроля технического заказчика // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17, № 2. С. 232-241. DOI: 10.22227.1997-0935.2022.2.232-241.

3. Shuo Yuan, Yanqing Wang, Limin Kang, Zhengquan Yu, Yong Fen. Discussion on Quality Management and Control in Construction Engineering. Smart Construction Research. vol. 2 Issue 1. June 2018. pp. 1-5. DOI: 10.18063.scrv 0.653.

4. Hussamadinu Raafat., Jansson Gustav, Mukkavaara Jani. Digital Quality Control System - A Tool for Reliable On-Site Inspection and Documentation. Luleå University of Technology. Sweden Buildings 2023. 13(2), 358 p. URL: [doi.org.10.3390.buildings13020358](https://doi.org/10.3390.buildings13020358).

5. Кузьмина Т. К. Ледовских Л. И. Особенности использования технологии информационного моделирования при осуществлении строительного контроля. Строительное производство. 2021. № 4. С. 49-53. DOI: 10.54950/26585340_2021_4_8_49.

6. Ефремова, Т.В., Сардина В. С., Жалнин В.В. Определение напряжений, возникающих при прокладке полиэтиленовых газопроводов // Инженерный вестник Дона. - 2023. - № 5. - URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2023/8424.

7. Жадановский Б.В., Пахомова Л.А., Краюшкин М.В., Рачковская Е.В. Организационно-технологические решения устранения трещин в железобетонных фундаментных плитах // Инженерный вестник Дона. - 2024. № 2. - URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2024/8994.

8. Куштин В. И., Ревякин А. А., Соколова В. А., Добрынин Н. Ф. Современные методы мониторинга деформаций зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона. - 2019. № 10. - URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2020/6665.

9. Веремеев Д. В., Тимофеев А. А., Сазонова С. А., Вдовин Д. В. Анализ различных методов расчета осадок плитного фундамента с учетом взаимного влияния // Инженерный вестник Дона. - 2023. № 5. - URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2023/8414

10. Shuting Xu, Jinming Xu Prediction of Buildings' Settlement Induced by Metro Station Deep Foundation Pit Construction. DOI: 10.3390/app14052143.

References

1. Baulin A. V., Perunov A. S. Inzhenernyj vestnik Dona 2021. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2021/6909.
2. Lapidus A. A. Makarov A. N. Vestnik MGSU. 2022. T. 17, N 2. С. 232-241. DOI: 10.22227.1997- 0935.2022.2.232-241.
3. Shuo Yuan, Yanqing Wang, Limin Kang, Zhengquan Yu, Yong Fen. DOI: 10.18063.scrv 0.653.



4. Hussamadinu Raafat., Jansson Gustav, Mukkavaara Jani. Sweden Buildings 2023. 13(2), 358 p; URL: doi.org.10.3390.buildings13020358.
5. Kuz'mina T. K. Ledovskih L. I. 2021. N 4. pp. 49-53. DOI: 10.54950.26585340_2021_4_8_49.
6. Efremova T.V., Sardina V. S., Zhalnin V.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2023. № 5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2023/8424.
7. Zhadanovskij B.V., Pahomova L.A., Krajushkin M.V., Rachkovskaja E.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2024. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2024/8994.
8. Kushtin V. I., Revjakin A. A., Sokolova V. A., Dobrynin N. F. Inzhenernyj vestnik Dona. URL: 2019. № 10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2020/6665.
9. Veremeev D. V., Timofeev A. A., Sazonova S. A., Vdovin D. V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2023. № 5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2023/8414.
10. Shuting Xu, Jinming Xu Appl. Sci.2024, 14(5), 2143. DOI: org.10.3390.app14052143.

Авторы согласны на обработку и хранение персональных данных.

Дата поступления: 2.12.2025

Дата публикации: 3.03.2026