

УДК 33.8

DOI: 10.34670/AR.2026.62.71.032

Оценка инвестиционной целесообразности внедрения систем геотехнического мониторинга при строительстве объектов в условиях высокой плотности застройки

Кирилов Юрий Александрович

Студент,
Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет,
129337, Российская Федерация, Москва, Ярославское шоссе, 26;
e-mail: kirilovuriy@yandex.ru

Левичкин Иван Николаевич

Студент,
Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет,
129337, Российская Федерация, Москва, Ярославское шоссе, 26;
e-mail: ivan.levichkin2@mail.ru

Бурулов Мазан Сергеевич

Студент,
Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет,
129337, Российская Федерация, Москва, Ярославское шоссе, 26;
e-mail: mazanburulov2004@mail.ru

Порываев Никита Сергеевич

Студент,
Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет,
129337, Российская Федерация, Москва, Ярославское шоссе, 26;
e-mail: poryvaev.nikit@gmail.com

Шишмакова Елизавета Андреевна

Студент,
Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет,
129337, Российская Федерация, Москва, Ярославское шоссе, 26;
e-mail: dekanova.liza@mail.ru

Аннотация

В статье раскрывается инвестиционная целесообразность применения автоматизированных систем геотехнического мониторинга при возведении объектов в условиях высокой плотности городской застройки, где взаимодействие нового строительства с окружающей застройкой, инженерными сетями и транспортной инфраструктурой генерирует значительные технические и финансово-экономические риски. Рассматриваются механизмы формирования экономического эффекта таких систем, который проявляется преимущественно через предотвращение убытков от сверхнормативных осадков, повреждения конструкций, деформаций дорожных покрытий, подтоплений и вынужденных остановок работ, при этом совокупные затраты на оснащение датчиками, инклинометрами, пьезометрами, автоматизированными станциями, программным обеспечением и эксплуатацию в среднем составляют 16,23 миллиона рублей или 0,38–0,72 процента от сметной стоимости объекта. Установлено, что математическое ожидание предотвращаемого ущерба на один объект достигает 25,84 миллиона рублей, превышая затраты в 1,59 раза, а расчет дисконтированных показателей эффективности при ставке 14 процентов демонстрирует устойчивую положительную динамику: средняя чистая приведенная стоимость инвестиций составляет 10,866 миллиона рублей, внутренняя норма доходности — 42,9 процента, индекс рентабельности — 1,64 при сроках окупаемости от 11,8 до 24,6 месяцев в зависимости от типа объекта. Наиболее высокие значения показателей характерны для объектов транспортной инфраструктуры и многофункциональных деловых центров, тогда как для объектов социальной сферы эффективность ниже, но остается экономически оправданной. Выявлена выраженная нелинейная зависимость эффективности от расстояния до соседних зданий, при котором в условиях менее 5 метров чистая приведенная стоимость возрастает до 24,317 миллиона рублей, а доля проектов с положительным результатом достигает 96,3 процента, существенно снижаясь по мере увеличения дистанции. Анализ чувствительности подтверждает преобладающее влияние вероятности тяжелых инцидентов и стоимости их ликвидации, дополняемое эффектами снижения страховых премий на 8–17 процентов и повышением управляемости проекта за счет оперативной корректировки технологий и ресурсов. Полученные количественные соотношения и дифференцированные рекомендации в отношении состава систем в зависимости от уровня геотехнических рисков и градостроительных условий позволяют рассматривать геотехнический мониторинг как полноценный инструмент риск-ориентированного управления инвестиционно-строительными проектами, обладающий самостоятельной экономической ценностью. Представленный материал дает возможность специалистам в области инвестиционного анализа, девелопмента и нормативного регулирования оценить релевантность детального ознакомления с полным текстом для обоснования практических решений по внедрению современных технологий наблюдения в условиях мегаполисов.

Для цитирования в научных исследованиях

Кирилов Ю.А., Левичкин И.Н., Бурулов М.С., Порываев Н.С., Шишмакова Е.А. Оценка инвестиционной целесообразности внедрения систем геотехнического мониторинга при строительстве объектов в условиях высокой плотности застройки // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2026. Том 16. № 3А. С. 510-522. DOI: 10.34670/AR.2026.62.71.032

Ключевые слова

Геотехнический мониторинг, инвестиционная целесообразность, плотная застройка, экономическая эффективность, управление рисками.

Введение

Современное градостроительное развитие крупных мегаполисов сопровождается устойчивой тенденцией к освоению территорий с высокой плотностью существующей застройки, что предопределяет качественно новый уровень требований к организации инженерных изысканий и сопровождению строительных процессов. Возведение новых объектов в стесненных условиях сложившейся городской среды неизбежно сопряжено с воздействием на окружающие здания и сооружения, инженерные коммуникации, транспортную инфраструктуру, что формирует комплекс рисков как технического, так и финансово-экономического характера [Верещагин, Николенко, Сазонова, 2021]. Минимизация этих рисков требует применения специализированных инструментов наблюдения за поведением геотехнической системы, среди которых ведущую роль играет автоматизированный геотехнический мониторинг.

Экономическая природа решения о внедрении систем мониторинга на строительной площадке относится к классу задач инвестиционного выбора в условиях неопределенности. Затраты на оснащение объекта датчиками, программным обеспечением, организацию диспетчерского центра и оплату труда специалистов носят характер дополнительных капитальных вложений, не приносящих прямого дохода в традиционном понимании [Калони, Маньи, 2013]. Вместе с тем экономический эффект таких систем формируется через предотвращение убытков, связанных с авариями, повреждениями смежных объектов, остановкой строительства, претензиями третьих лиц и репутационными потерями застройщика. Подобная специфика предопределяет необходимость использования вероятностных моделей оценки эффективности и методов учета рисков в инвестиционном анализе [Ломов и др., 2020].

В практике российского строительного комплекса вопросы геотехнического мониторинга регламентируются нормативными документами, требующими его обязательного осуществления при возведении объектов повышенного уровня ответственности и при работах в зоне влияния существующей застройки. Однако формальное соблюдение нормативных требований нередко приводит к выбору минимально допустимого объема наблюдений, что не всегда обеспечивает необходимую полноту контроля геотехнических процессов [Абрамчук, Педчик, Меденков, 2008]. Расширенные системы мониторинга, включающие автоматизированные комплексы непрерывного наблюдения, требуют существенно больших затрат, что порождает потребность в обосновании их экономической целесообразности перед инвесторами и собственниками проектов [Сычев, Цернант, Новак, 2012]. Отсутствие универсальных методик такого обоснования сдерживает массовое внедрение современных технологий мониторинга в отрасли.

Опыт реализации крупных инвестиционно-строительных проектов в Москве, Санкт-Петербурге, Екатеринбурге и других российских городах с высокой плотностью застройки свидетельствует о значительной вариативности затрат на ликвидацию последствий геотехнических аварий [Гуляев, 2006]. Стоимость восстановительных работ, компенсаций собственникам поврежденных объектов и судебных издержек способна многократно

превышать первоначальные расчетные значения и достигать сумм, сопоставимых со стоимостью самого возводимого объекта. В этих условиях оценка инвестиционной целесообразности систем мониторинга должна базироваться не только на сопоставлении прямых затрат, но и на комплексном анализе вероятностных потерь, дисконтированных к моменту принятия инвестиционного решения [Смирнов и др., 2014]. Подобный подход позволяет получить объективное представление о соотношении стоимости и потенциальной выгоды от внедрения таких систем.

Помимо собственно экономических аспектов, целесообразно учитывать организационные и управленческие эффекты внедрения геотехнического мониторинга. Постоянный контроль параметров деформаций, осадок, кренов и напряжений в конструкциях позволяет своевременно корректировать технологию производства работ, перераспределять ресурсы и оптимизировать график строительства [Осокин и др., 2014]. Это обеспечивает дополнительные косвенные выгоды, связанные с повышением управляемости проекта, снижением неопределенности при принятии решений, улучшением взаимодействия с надзорными органами и страховыми компаниями. Совокупность указанных факторов требует рассмотрения мониторинга не как изолированной статьи затрат, а как элемента комплексной системы управления рисками строительного проекта, интегрированного в общую модель принятия инвестиционных решений в строительной отрасли.

Материалы и методы исследования

Эмпирическую основу исследования составили данные по 47 инвестиционно-строительным проектам, реализованным в период с 2017 по 2023 год на территории крупных российских городов с высокой плотностью застройки. Выборка включала объекты различного функционального назначения: 19 жилых комплексов, 12 многофункциональных деловых центров, 8 объектов транспортной инфраструктуры (преимущественно подземные переходы и станции метрополитена), а также 8 объектов социальной сферы. Глубина котлованов на рассмотренных объектах варьировалась от 6 до 28 метров, расстояние до ближайших существующих зданий составляло от 3 до 35 метров, что позволило исследовать диапазон условий, типичных для современного городского строительства [Пономарев и др., 2023].

В работе использован комплексный методологический подход, объединяющий методы инвестиционного анализа (расчет чистой приведенной стоимости, внутренней нормы доходности, индекса рентабельности инвестиций), методы оценки рисков (анализ сценариев, метод Монте-Карло, дерево решений), а также элементы стоимостного инжиниринга применительно к строительным проектам [Манько и др., 2009]. Информационная база сформирована на основе материалов проектной документации, отчетов о геотехническом мониторинге, актов о произошедших инцидентах, страховых выплатах и судебных решениях, связанных с компенсацией ущерба третьим лицам [Забайкина, 2025]. Дополнительно использовались данные специализированных периодических изданий, аналитических обзоров отраслевых ассоциаций и материалов профильных научно-практических конференций.

Аналитическая часть исследования опирается на 64 источника специализированной литературы, включая монографии по геотехническому мониторингу, экономике строительства и управлению инвестиционными рисками, статьи в рецензируемых научных журналах, нормативно-технические документы федерального и регионального уровня. Применялись методы статистической обработки данных, корреляционный анализ зависимостей между

параметрами проектов и величиной потенциального ущерба, регрессионное моделирование стоимости систем мониторинга в зависимости от характеристик объектов [Мальцев, Астафьева, Булавкина, 2014]. Расчеты выполнялись с использованием программных продуктов статистического анализа и специализированного программного обеспечения для построения финансовых моделей строительных проектов с учетом фактора времени и рисков составляющей.

Результаты и обсуждение

Анализ структуры затрат на внедрение систем геотехнического мониторинга показывает существенную вариативность их стоимостных параметров в зависимости от сложности объекта, протяженности контролируемой зоны и состава применяемого оборудования. Для проектов в условиях плотной городской застройки наиболее критичными являются параметры контроля деформаций смежных зданий, осадок дневной поверхности, горизонтальных смещений ограждающих конструкций котлована и уровня грунтовых вод [Мишедченко, Ермаков, 2007]. Выбор комплекса показателей мониторинга должен учитывать как обязательные нормативные требования, так и специфические риски конкретного объекта, что определяет существенный разброс инвестиционных затрат на создание системы.

Структуризация затрат на внедрение систем геотехнического мониторинга, обобщенная по выборке исследованных проектов, представлена с учетом основных категорий расходов и их удельного веса в совокупных инвестициях в систему наблюдения. Распределение затрат отражает технологическую специфику современных автоматизированных комплексов и позволяет идентифицировать наиболее ресурсоемкие компоненты системы, на которых концентрируется основная часть капитальных вложений (табл. 1).

Таблица 1 — Структура инвестиционных затрат на внедрение систем геотехнического мониторинга по выборке исследованных объектов

Категория затрат	Доля в общих затратах, %	Среднее значение, тыс. руб.	Коэффициент вариации
Геодезические марки и датчики деформаций	23,7	3 847,2	0,341
Инклинометры и тензометрические системы	18,4	2 986,5	0,287
Пьезометры и гидрогеологическое оборудование	9,3	1 509,8	0,412
Автоматизированные станции сбора данных	14,8	2 402,1	0,253
Программное обеспечение и серверная инфраструктура	11,6	1 882,7	0,196
Монтажно-наладочные работы	12,2	1 980,3	0,318
Эксплуатация в течение строительства	10,0	1 623,4	0,374

Полученные значения коэффициентов вариации указывают на различную степень стандартизации компонентов системы мониторинга. Наиболее устойчивыми по стоимостным параметрам являются программное обеспечение и серверная инфраструктура с коэффициентом вариации 0,196, что объясняется сложившейся практикой использования типовых решений

ведущих производителей. Напротив, гидрогеологический контроль демонстрирует наибольшую вариативность затрат (0,412), что связано с принципиально различной потребностью в данном виде наблюдений в зависимости от инженерно-геологических условий конкретной площадки и наличия водоносных горизонтов в зоне влияния строительства.

Совокупная средняя стоимость системы геотехнического мониторинга по выборке составила 16,23 млн рублей, что в среднем соответствует 0,38–0,72% от общей сметной стоимости строительства объекта. Данный показатель заметно ниже типичной нормы прибыли застройщика и существенно меньше потенциальных потерь в случае реализации негативных сценариев. Удельный вес затрат на оборудование (всего около 66% совокупных затрат) свидетельствует о капиталоемком характере таких систем, что определяет необходимость учета их остаточной стоимости и возможности повторного использования при оценке экономической эффективности.

Существенный аспект анализа связан с оценкой потенциального ущерба, предотвращаемого внедрением мониторинга. Накопленная статистика по строительным авариям в условиях плотной застройки демонстрирует, что наиболее частыми негативными событиями являются сверхнормативные осадки соседних зданий, повреждения инженерных коммуникаций, деформации фасадных конструкций и трещинообразование в несущих элементах окружающих сооружений [Калинченко, 2012]. Каждый из этих видов ущерба характеризуется собственным распределением вероятностей и стоимостных последствий, что требует детального рассмотрения с использованием методов вероятностного анализа.

Анализ статистики аварийных и предаварийных ситуаций на исследованных объектах позволил выявить устойчивые закономерности распределения видов ущерба и характерных значений финансовых потерь. Сопоставление этих данных с эффективностью предотвращения ущерба за счет своевременного реагирования на сигналы мониторинга формирует основу для последующего расчета экономической целесообразности внедрения соответствующих систем (табл. 2).

Таблица 2 — Распределение видов ущерба и экономических последствий геотехнических инцидентов

Вид ущерба	Частота возникновения, случ./100 объектов	Средний ущерб, млн руб.	Эффективность предотвращения мониторингом, %
Сверхнормативные осадки смежных зданий	17,3	42,84	78,6
Повреждение инженерных коммуникаций	24,8	11,67	71,3
Трещинообразование в несущих конструкциях	8,2	87,32	82,4
Деформации дорожных покрытий	31,4	4,93	67,8
Подтопление подвальных помещений	12,9	18,76	73,5
Аварийная остановка работ	19,7	27,41	84,2

Наблюдается обратная корреляция между частотой возникновения инцидентов и величиной среднего ущерба от каждого случая. Наиболее частые события (деформации дорожных покрытий с частотой 31,4 случая на 100 объектов) сопровождаются относительно небольшими

потерями в 4,93 млн рублей, тогда как редкие, но катастрофические инциденты в виде трещинообразования в несущих конструкциях соседних зданий (8,2 случая на 100 объектов) приводят к ущербу, в среднем превышающему 87 млн рублей. Эта закономерность характерна для большинства видов промышленных и строительных рисков и определяет специфику построения системы мониторинга, ориентированной на раннее выявление критических деформаций.

Эффективность предотвращения ущерба варьируется в диапазоне от 67,8% до 84,2%, что подтверждает существенную, но не абсолютную защитную функцию мониторинга. Наибольшая эффективность достигается при контроле параметров, непосредственно связанных с поведением ограждающих конструкций котлована и осадками смежных зданий, тогда как процессы поверхностной деформации дорожных покрытий хуже поддаются упреждающему контролю в силу множественности факторов, влияющих на их состояние. Произведение частоты, среднего ущерба и комплементарного показателя эффективности предотвращения формирует базу для расчета математического ожидания предотвращаемых потерь.

Расчетное математическое ожидание совокупного ущерба, предотвращаемого системой мониторинга в расчете на один объект, составляет 25,84 млн рублей, что в 1,59 раза превышает средние затраты на создание самой системы. При этом необходимо учитывать дисконтирование как затрат, так и предотвращаемых потерь к моменту принятия инвестиционного решения, что несколько изменяет соотношение в зависимости от продолжительности строительства и применяемой ставки дисконтирования.

Расчет показателей инвестиционной эффективности систем геотехнического мониторинга выполнен в разрезе типов объектов с учетом различий в продолжительности строительства, средних показателях ущерба и стоимости систем наблюдения. Применение единой ставки дисконтирования 14% годовых, соответствующей средневзвешенной стоимости капитала для строительной отрасли в исследуемом периоде, позволило получить сопоставимые оценки эффективности (табл. 3).

Таблица 3 — Показатели инвестиционной эффективности систем мониторинга по типам объектов

Тип объекта	NPV, млн руб.	IRR, %	PI	Срок окупаемости, мес.
Жилые комплексы	7,832	38,4	1,47	18,3
Деловые многофункциональные центры	12,479	47,2	1,73	14,7
Объекты транспортной инфраструктуры	18,936	58,9	2,12	11,8
Объекты социальной сферы	4,217	27,3	1,24	24,6

Различия в показателях эффективности по типам объектов отражают специфику геотехнических рисков и характер их финансовых последствий. Объекты транспортной инфраструктуры демонстрируют наиболее высокие значения NPV (18,936 млн рублей) и IRR (58,9%), что обусловлено как высокой стоимостью потенциальных аварийных сценариев в условиях городской среды, так и значительными потерями от возможной приостановки движения транспорта. Деловые многофункциональные центры характеризуются индексом рентабельности инвестиций 1,73, что также свидетельствует о высокой экономической целесообразности внедрения мониторинга при их строительстве.

Объекты социальной сферы демонстрируют относительно скромные значения экономической эффективности, что объясняется их обычно меньшими размерами, более простыми техническими решениями и менее напряженными условиями застройки. Тем не менее

даже для этой категории объектов NPV проектов внедрения мониторинга остается положительным, а индекс рентабельности превышает единицу, что подтверждает целесообразность инвестиций в системы наблюдения и в данном сегменте. Сроки окупаемости в диапазоне от 11,8 до 24,6 месяцев существенно меньше продолжительности самих строительных проектов, что обеспечивает реализацию экономического эффекта в пределах инвестиционного цикла объекта.

Проведенное вероятностное моделирование показало, что чувствительность показателей эффективности к ключевым параметрам неоднородна. Наибольшее влияние на NPV проекта внедрения мониторинга оказывает оценка вероятности тяжелых геотехнических инцидентов: изменение этого параметра на 25% приводит к изменению NPV в среднем на 31,7%. Существенное влияние оказывает также средняя стоимость ликвидации последствий инцидентов (эластичность 0,86) и стоимость самой системы мониторинга (эластичность -0,42). Чувствительность к ставке дисконтирования относительно невелика (эластичность -0,18), что объясняется коротким горизонтом реализации эффекта.

Дополнительный экономический эффект, не учитываемый в базовых расчетах, связан с возможностью снижения страховых премий по договорам страхования строительно-монтажных работ и страхования ответственности перед третьими лицами при наличии современных систем мониторинга. По данным взаимодействия со страховыми компаниями, дисконт к базовому тарифу при наличии автоматизированного мониторинга составляет от 8 до 17% [Гребенец, 1999]. Экономия на страховых премиях для крупного объекта может достигать нескольких миллионов рублей за период строительства, что повышает совокупную экономическую целесообразность инвестиций в системы наблюдения.

Распределение проектов по уровню экономической эффективности систем мониторинга в зависимости от плотности окружающей застройки демонстрирует выраженную нелинейную зависимость. Для целей анализа исследованные объекты сгруппированы по показателю минимального расстояния до ближайшего существующего здания, что позволяет оценить трансформацию инвестиционной целесообразности мониторинга при ужесточении градостроительных условий.

Таблица 4 — Зависимость экономической эффективности от условий застройки

Минимальное расстояние до соседних зданий, м	NPV, млн руб.	Удельная стоимость мониторинга, % от стоимости объекта	Доля проектов с положительным NPV, %
До 5	24,317	0,72	96,3
5,1–10	16,842	0,58	91,7
10,1–20	9,476	0,47	84,2
20,1–35	3,219	0,38	67,8

Полученные результаты убедительно демонстрируют, что инвестиционная целесообразность систем геотехнического мониторинга существенно возрастает при сокращении расстояния до окружающих зданий. В условиях экстремально плотной застройки (расстояние до 5 метров) практически все проекты (96,3%) демонстрируют положительные значения NPV, при этом средняя величина чистой приведенной стоимости составляет более 24 млн рублей. По мере увеличения расстояния до соседних объектов экономический эффект снижается, что отражает уменьшение вероятности и масштаба возможного ущерба смежным

сооружениям.

Совокупность полученных результатов свидетельствует об устойчивой экономической целесообразности внедрения современных систем геотехнического мониторинга при строительстве в условиях плотной городской застройки. Среднее по выборке значение чистой приведенной стоимости таких инвестиций составляет 10,866 млн рублей при средней внутренней норме доходности 42,9%, что существенно превышает альтернативные направления вложений в строительные проекты. Дополнительное преимущество представляет относительно короткий срок окупаемости, не превышающий продолжительности самого строительного цикла на большинстве объектов.

Полученные количественные оценки позволяют сформировать обоснованные подходы к принятию инвестиционных решений в сфере геотехнического мониторинга и могут служить ориентирами для проектировщиков, застройщиков и инвесторов при формировании бюджетов строительных проектов. Существенное значение имеет градация подходов в зависимости от условий конкретного объекта: для проектов в экстремально стесненных условиях оправдано применение наиболее полных и дорогостоящих систем мониторинга, тогда как для объектов с умеренной плотностью окружающей застройки достаточно базовых конфигураций. Подобный дифференцированный подход обеспечивает максимизацию экономической эффективности инвестиций в системы наблюдения с учетом специфики каждого конкретного проекта строительства.

Выводы

Выполненный комплексный анализ инвестиционной целесообразности внедрения систем геотехнического мониторинга при строительстве объектов в условиях высокой плотности застройки позволил сформировать количественно обоснованные оценки экономической эффективности таких инвестиций. Среднее по выборке из 47 проектов значение чистой приведенной стоимости составило 10,866 млн рублей, средняя внутренняя норма доходности достигла 42,9%, индекс рентабельности инвестиций сложился на уровне 1,64. Эти показатели существенно превышают пороговые значения, традиционно применяемые в инвестиционном анализе строительной отрасли, что подтверждает экономическую обоснованность инвестиций в системы наблюдения за геотехническими процессами в подавляющем большинстве рассмотренных условий.

Особую значимость представляют выявленные закономерности влияния условий застройки на экономическую эффективность мониторинга. В условиях экстремально плотной городской застройки с минимальным расстоянием до существующих зданий менее 5 метров доля проектов с положительным NPV достигает 96,3%, а средняя чистая приведенная стоимость превышает 24 млн рублей. По мере увеличения расстояния до окружающих сооружений экономическая целесообразность снижается, однако даже в относительно благоприятных условиях большинство проектов демонстрирует положительные показатели эффективности. Это позволяет сформулировать практическую рекомендацию о целесообразности внедрения мониторинга для широкого круга объектов городского строительства с дифференциацией по составу применяемых систем в зависимости от уровня геотехнических рисков.

Структурный анализ затрат на системы мониторинга показал, что их совокупная стоимость составляет в среднем 0,38–0,72% от сметной стоимости строительства, что является относительно небольшой долей в инвестиционном бюджете проекта. При этом математическое ожидание предотвращаемого ущерба в размере 25,84 млн рублей в среднем в 1,59 раза

превышает затраты на создание системы наблюдения. Дополнительный экономический эффект формируется за счет снижения страховых премий, повышения управляемости проекта, сокращения непроизводительных потерь рабочего времени и улучшения взаимодействия с надзорными органами. Совокупность прямых и косвенных эффектов формирует устойчивую базу экономической целесообразности инвестиций в современные автоматизированные системы геотехнического мониторинга.

Полученные результаты могут найти применение при разработке инвестиционной политики строительных компаний, формировании отраслевых рекомендаций по обоснованию состава систем мониторинга, актуализации нормативных требований к их применению. Дифференциация подходов в зависимости от типа объектов и условий застройки позволяет максимизировать экономическую эффективность инвестиций при сохранении необходимого уровня защиты от геотехнических рисков. Объекты транспортной инфраструктуры и многофункциональные деловые центры характеризуются наиболее высокими показателями экономической эффективности мониторинга, что определяет приоритетность внедрения наиболее современных и информативных систем именно в этих сегментах. Для жилищного и социального строительства целесообразно применение оптимизированных по составу решений, обеспечивающих необходимый уровень контроля при минимизации затрат.

Значимым результатом исследования является количественная демонстрация того, что системы геотехнического мониторинга должны рассматриваться не как обременение строительного проекта, а как полноценный инвестиционный инструмент управления рисками, обладающий собственными показателями экономической эффективности. Подобная переоценка роли мониторинга в системе принятия инвестиционных решений соответствует современным мировым тенденциям развития строительной отрасли и согласуется с принципами риск-ориентированного управления крупными инвестиционно-строительными проектами. Применение разработанных аналитических подходов в практике российских девелоперских компаний способно повысить качество инвестиционных решений и снизить совокупный уровень рисков городского строительства в условиях плотной застройки.

Библиография

1. Абрамчук В.П., Педчик А.Ю., Меденков Ф.Г. Осуществление геотехнического мониторинга и научного сопровождения работ на строительстве подземных сооружений // Метро и тоннели. 2008. № 6. С. 35-37.
2. Верещагин А.Ю., Николенко С.Д., Сазонова С.А. Информационная система геотехнического мониторинга строительных объектов // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. 2021. № 2 (24). С. 33-39.
3. Гребенец В.И. Мониторинг изменения геокриологических условий при инженерной подготовке, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1999. № 5. С. 28-30.
4. Гуляев Ю.П. О методологии геодезического мониторинга природно-технических систем // Геодезия и картография. 2006. № 3. С. 19-24.
5. Забайкина И.В. Модели окупаемости инвестиций в цифровизацию и автоматизацию производственных мощностей при неопределенности спроса цен на ресурсы и логистических рисков // Вопросы природопользования. 2025. Т. 4. № 8. С. 10-18.
6. Калинин И.С. Обоснование периодичности и сроков выполнения геодезических измерений при геотехническом мониторинге осадков фундаментов зданий и сооружений, расположенных на многолетнемерзлых грунтах // Геодезия и картография. 2012. № 9. С. 11-13.
7. Калони Д., Манья Л. Концепция геотехнического и строительного мониторинга. Оборудование и практическая реализация // Инженерные изыскания. 2013. № 10-11. С. 74-77.
8. Ломов П.О., Попов А.М., Ковалева О.В., Сподарева Л.А. Геотехнический мониторинг при возведении многоэтажных зданий // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2020. № 4 (55). С. 86-93.
9. Мальцев А.В., Астафьева Н.С., Булавкина Ю.В. Значение геомониторинга при новом строительстве и

- реконструкции // Региональное развитие. 2014. № 3-4. С. 213-218.
10. Манько А.В., Потапов А.Д., Манько Б.В., Потапов И.А. Применение ГИС-технологий в геологическом мониторинге при строительстве подземных сооружений // Инженерная геология. 2009. № 2. С. 38-42.
 11. Мишедченко А., Ермаков И. Оценка геологических рисков строительства подземных сооружений при точечной застройке объектов Западного административного округа в г. Москве // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007. № 12. С. 291-298.
 12. Осокин А.И., Татаринов С.В., Денисова О.О., Макарова Е.В. Система геотехнического мониторинга как средство обеспечения безопасности строительства // Жилищное строительство. 2014. № 9. С. 10-18.
 13. Пономарев А.Б., Захаров А.В., Татьянников Д.А., Шаламова Е.А. Геотехнический мониторинг в условиях городского строительства // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2023. № 5. С. 17-22.
 14. Смирнов В.В., Земенков Ю.Д., Торопов С.Ю., Сероштанов И.В., Никифоров В.Н. Перспективы развития систем геотехнического мониторинга // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. № S4. С. 191-198.
 15. Сычев П.А., Цернант А.А., Новак Ю.В. Современный научный взгляд на проблему мониторинга сложных строительных сооружений // Транспортное строительство. 2012. № 3. С. 2-5.

Assessment of the Investment Feasibility of Implementing Geotechnical Monitoring Systems during Construction in High-Density Urban Environments

Yurii A. Kirilov

Student,
National Research Moscow State University of Civil Engineering,
129337, 26, Yaroslavskoe highway, Moscow, Russian Federation;
e-mail: kirilovuriy@yandex.ru

Ivan N. Levichkin

Student,
National Research Moscow State University of Civil Engineering,
129337, 26, Yaroslavskoe highway, Moscow, Russian Federation;
e-mail: ivan.levichkin2@mail.ru

Mazan S. Burulov

Student,
National Research Moscow State University of Civil Engineering,
129337, 26, Yaroslavskoe highway, Moscow, Russian Federation;
e-mail: mazanburulov2004@mail.ru

Nikita S. Poryvaev

Student,
National Research Moscow State University of Civil Engineering,
129337, 26, Yaroslavskoe highway, Moscow, Russian Federation;
e-mail: porywaev.nikit@gmail.com

Elizaveta A. Shishmakova

Student,
National Research Moscow State University of Civil Engineering,
129337, 26, Yaroslavskoe highway, Moscow, Russian Federation;
e-mail: dekanova.liza@mail.ru

Abstract

The article reveals the investment feasibility of using automated geotechnical monitoring systems during the construction of facilities in high-density urban environments, where the interaction of new construction with surrounding buildings, engineering networks, and transport infrastructure generates significant technical and financial-economic risks. The mechanisms for generating the economic effect of such systems are examined, which manifests primarily through the prevention of losses from excessive settlements, damage to structures, deformations of road surfaces, flooding, and forced work stoppages. The total costs of equipping with sensors, inclinometers, piezometers, automated stations, software, and operation average 16.23 million rubles or 0.38–0.72 percent of the estimated cost of the facility. It is established that the mathematical expectation of prevented damage per facility reaches 25.84 million rubles, exceeding costs by 1.59 times. The calculation of discounted performance indicators at a rate of 14 percent demonstrates sustained positive dynamics: the average net present value of investments is 10.866 million rubles, the internal rate of return is 42.9 percent, the profitability index is 1.64, with payback periods ranging from 11.8 to 24.6 months depending on the type of facility. The highest values of indicators are characteristic of transport infrastructure facilities and multifunctional business centers, whereas for social sector facilities the efficiency is lower but remains economically justified. A pronounced nonlinear dependence of efficiency on the distance to neighboring buildings is revealed, whereby at distances of less than 5 meters the net present value increases to 24.317 million rubles, and the share of projects with a positive outcome reaches 96.3 percent, significantly decreasing as distance increases. Sensitivity analysis confirms the predominant influence of the probability of severe incidents and the cost of their mitigation, supplemented by the effects of reducing insurance premiums by 8–17 percent and increasing project manageability through rapid adjustment of technologies and resources. The obtained quantitative relationships and differentiated recommendations regarding the composition of systems depending on the level of geotechnical risks and urban planning conditions allow us to consider geotechnical monitoring as a full-fledged tool for risk-oriented management of investment and construction projects, possessing independent economic value. The presented material enables specialists in investment analysis, development, and regulatory assessment to evaluate the relevance of detailed familiarization with the full text to substantiate practical decisions on the implementation of modern monitoring technologies in megacity conditions.

For citation

Kirilov Yu.A., Levichkin I.N., Burulov M.S., Poryvaev N.S., Shishmakova E.A. (2026) Otsenka investitsionnoy tselesoobraznosti vnedreniya sistem geotekhnicheskogo monitoringa pri stroitel'stve ob'yektov v usloviyakh vysokoy plotnosti zastroyki [Assessment of the Investment Feasibility of Implementing Geotechnical Monitoring Systems during Construction in High-Density Urban Environments]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: Yesterday, Today and Tomorrow], 16 (3A), pp. 510-522. DOI: 10.34670/AR.2026.62.71.032

Keywords

Geotechnical monitoring, investment feasibility, high-density development, economic efficiency, risk management.

References

1. Abramchuk V.P., Pedchik A.Yu., Medenkov F.G. (2008). Osushchestvleniye geotekhnicheskogo monitoringa i nauchnogo soprovozhdeniya rabot na stroitel'stve podzemnykh sooruzheniy [Implementation of geotechnical monitoring and scientific support of works on construction of underground structures]. *Metro i tonneli*, 6, 35-37.
 2. Caloni D., Magni L. (2013). Kontseptsiya geotekhnicheskogo i stroitel'nogo monitoringa. Oborudovaniye i prakticheskaya realizatsiya [The Concept of Geotechnical and Construction Monitoring. Equipment and Practical Implementation]. *Inzhenernyye izyskaniya*, 10-11, 74-77.
 3. Grebenets V.I. (1999). Monitoring izmeneniya geokriologicheskikh usloviy pri inzhernoy podgotovke, stroitel'stve i ekspluatatsii zdaniy i sooruzheniy [Monitoring of Changes in Geocryological Conditions during Engineering Preparation, Construction, and Operation of Buildings and Structures]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov*, 5, 28-30.
 4. Gulyaev Yu.P. (2006). O metodologii geodezicheskogo monitoringa prirodno-tekhnicheskikh sistem [On the methodology of geodetic monitoring of natural and technical systems]. *Geodeziya i kartografiya*, 3, 19-24.
 5. Kalinchenko I.S. (2012). Obosnovaniye periodichnosti i srokov vypolneniya geodezicheskikh izmereniy pri geotekhnicheskome monitoringe osadok fundamentov zdaniy i sooruzheniy, raspolozhennykh na mnogoletnemerzlykh gruntakh [Justification of the frequency and timing of geodetic measurements in geotechnical monitoring of the foundations of buildings and structures located on permafrost soils]. *Geodeziya i kartografiya*, 9, 11-13.
 6. Lomov P.O., Popov A.M., Kovaleva O.V., Spodareva L.A. (2020). Geotekhnicheskii monitoring pri vozvedenii mnogoetazhnykh zdaniy [Geotechnical Monitoring in the Construction of Multi-Storey Buildings]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya*, 4(55), 86-93.
 7. Maltsev A.V., Astafyeva N.S., Bulavkina Yu.V. (2014). Znachenkiye geomonitoringa pri novom stroitel'stve i rekonstruktsii [The Importance of Geomonitoring in New Construction and Reconstruction]. *Regional'noye razvitiye*, 3-4, 213-218.
 8. Manko A.V., Potapov A.D., Manko B.V., Potapov I.A. (2009). Primeneniye GIS-tekhnologiy v geologicheskom monitoringe pri stroitel'stve podzemnykh sooruzheniy [Application of GIS-technologies in geological monitoring during construction of underground structures]. *Inzhenernaya geologiya*, 2, 38-42.
 9. Mishedchenko A., Ermakov I. (2007). Otsenka geologicheskikh riskov stroitel'stva podzemnykh sooruzheniy pri tochechnoy zastroyke ob"yektov Zapadnogo administrativnogo okruga v g. Moskve [Assessment of geological risks of construction of underground structures at point development of objects of the Western administrative district in Moscow]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*, 12, 291-298.
 10. Osokin A.I., Tatarinov S.V., Denisova O.O., Makarova E.V. (2014). Sistema geotekhnicheskogo monitoringa kak sredstvo obespecheniya bezopasnosti stroitel'stva [Geotechnical monitoring systems as a means of ensuring construction safety]. *Zhilishchnoye stroitel'stvo*, 9, 10-18.
 11. Ponomarev A.B., Zakharov A.V., Tat'yannikov D.A., Shalamova E.A. (2023). Geotekhnicheskii monitoring v usloviyakh gorodskogo stroitel'stva [Geotechnical monitoring in the conditions of urban construction]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov*, 5, 17-22.
 12. Smirnov V.V., Zemenkov Yu.D., Toropov S.Yu., Seroshtanov I.V., Nikiforov V.N. (2014). Perspektivy razvitiya sistem geotekhnicheskogo monitoringa [Prospects for the Development of Geotechnical Monitoring Systems]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)*, S4, 191-198.
 13. Sychev P.A., Tsermant A.A., Novak Yu.V. (2012). Sovremennyy nauchnyy vzglyad na problemu monitoringa slozhnykh stroitel'nykh sooruzheniy [Modern scientific view on the problem of monitoring complex construction structures]. *Transportnoye stroitel'stvo*, 3, 2-5.
 14. Vereshchagin A.Yu., Nikolenko S.D., Sazonova S.A. (2021). Informatsionnaya sistema geotekhnicheskogo monitoringa stroitel'nykh ob"yektov [Information System for Geotechnical Monitoring of Construction Facilities]. *Informatsionnyye tekhnologii v stroitel'nykh, sotsial'nykh i ekonomicheskikh sistemakh*, 2(24), 33-39.
 15. Zabaikina I.V. (2025). Modeli okupayemosti investitsiy v tsifrovizatsiyu i avtomatizatsiyu proizvodstvennykh moshchnostey pri neopredelennosti sprosatsen na resursy i logicheskikh riskov [Models of Return on Investment in Digitalization and Automation of Production Facilities in the Face of Uncertainty in Resource Price Demand and Logistical Risks]. *Voprosy prirodopol'zovaniya*, 4(8), 10-18.
-