

УДК 624.19:69.058.4

DOI 10.52928/2070-1683-2024-38-3-28-37

ИМПЛЕМЕНТАЦИЯ ПРОЦЕССА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И СИСТЕМЫ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СООРУЖЕНИЙ

канд. техн. наук, доц. В.Н. КРАВЦОВ^{1), 2)}, канд. техн. наук С.М. ЭГБАЛНИК²⁾

¹⁾ РУП «Институт БелНИИС», Минск, ²⁾ Белорусский национальный технический университет, Минск),
^{1), 2)} f3@belniis.by

Рассмотрен широкий круг вопросов организации и обеспечения научно-технического сопровождения строительства (НТСС) и его основной составляющей части – геотехнического мониторинга (ГМ), осуществляющего, в частности, контроль качества ограждающих стен котлованов, оснований, фундаментов, конструкций подземных и надземных возводимых и эксплуатируемых зданий, сооружений, примыкающих к ним территорий и окружающей существующей застройки. Изложены основы современных методов наблюдений (измерений), применяемые для этого технические средства (датчики, приборы и др.), рассмотрены принципы комплексного, в т.ч. автоматизированного, мониторинга на основе численной модели объекта, обеспечивающие безопасность строительства по результатам измерений контролируемых параметров в объеме, требуемом для разработки главы проекта по ГМ. Приведены данные о целях, составе, техническом оснащении, системной (общей) и рабочих программах геотехнического мониторинга на основе исследований и накопленного опыта его проведения за состоянием высотных и уникальных объектов.

Ключевые слова: безопасность, регламент и средства наблюдений за состоянием контролируемого объекта (НТСС, ГМ), система простого и комплексного автоматизированного мониторинга, программы ГМ, законодательная метрология.

Введение. Современное строительство в черте крупных городов часто связано с возведением объектов повышенного риска опасности для окружающей среды (высотных, уникальных, гражданских и промышленных сооружений с большой массой и нагрузками на основание, в т.ч. ветровыми, сейсмическими и др.), часто возводимых, в связи с законодательными ограничениями на использование пахотных земель для строительства, на территориях со сложными грунтовыми условиями (неудоби, поймы, свалки, как правило с наличием в составе их оснований биогенных, «слабых», обводненных грунтов и др.), ранее не используемых для этих целей. Каждое такое сооружение по техническим и инженерно-геологическим условиям индивидуально и представляет собой единый геолого-технический объект в виде сложной геотехногенной системы [1] в условиях риска негативных последствий, требующей индивидуального подхода к контролю ее безопасности, стабильности (конструкций, оснований) посредством изучения динамики протекающих в ней процессов изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) объекта как в период его строительства, так и эксплуатации (далее объекты повышенного строительного и эксплуатационного риска).

Исходя из этого, в современной зарубежной и отечественной практике научно-техническое сопровождение строительства (далее НТСС) и его основная составная часть – геотехнический мониторинг (далее ГМ) – стали обязательной процедурой строительства, которая регламентируется национальными нормами (ТНПА)^{1,2,3}, ISO и Еврокодами^{4,5}, предусматривающими (устанавливающими) исследования и испытания оснований и конструкций возводимых сооружений с использованием соответствующего набора приборов, оборудования и средств измерений, которые предназначены для постоянного наблюдения за контролируемым объектом в целом и за отдельными его конструкциями и основанием в частности, а также за находящимися в зоне его влияния территорией и существующей застройкой, с целью своевременного выявления, предотвращения различных опасных ситуаций, рисков и корректировки (при необходимости) проектных и технологических решений.

Согласно требованиям действующих отечественных норм (ТНПА), обеспечение безопасности сооружений классов сложности (К1-К3) осуществляется специализированными организациями в рамках НТСС, одной из определяющих составных частей которого является ГМ, включающий периодический «простой» инструментальный контроль за качеством конструкций и процессом производства работ для зданий классов сложности (К3-К5)

¹ СН 3.02.08-2020. Высотные здания. – Минск: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2021. – 69 с. – прил. Г, В.

² СП 5.01.01-2023. Общие положения по проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений. – Минск: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2023. – 143 с. – разд. 12.

³ СН 2.01.01-2022. Основы проектирования строительных конструкций. – Минск: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2022. – 65 с.

⁴ ТКП EN 1997-1-2009. Еврокод 7. Геотехническое проектирование. Часть 1. Общие правила. – Минск: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2010. – 129 с.

⁵ ISO 18674-1:2015. Geotechnical investigation and testing – Geotechnical monitoring by field instrumentation. Part 1: General rules.

на однородных основаниях категории I, выполняемый методами, описанными в [2–6], и непрерывный, в т.ч. автоматизированный ГМ, описанный в [6–13] на всех этапах строительства и эксплуатации наблюдаемого объекта, входящие, в соответствии с требованиями норм, в проект в виде одного из его разделов.

В то же время, как в национальных, так и в зарубежных нормах отсутствуют сведения о порядке разработки разделов, программ по НТСС, ГМ с конкретными рекомендациями по методам, средствам, оборудованию (приборы, инструменты, датчики и др.), автоматизированным системам мониторинга, метрологическому обеспечению и развертыванию ГМ на наблюдаемом объекте, с учетом геотехнических условий строительства. В них приводятся концептуальные (не конкретные) рекомендации общего технического характера без привязки инструментов мониторинга к архитектурно-конструктивно-геотехногенной ситуации, в которой находится объект, и к НДС его конструкций и основания.

Исходя из этого, цель работы – по результатам исследования и обобщения накопленного опыта проведения НТСС, ГМ сформулировать для исполнителей работ алгоритм и методологию их организации и проведения, в объеме раздела проекта по ГМ.

Основная часть.

1. Обеспечение НТСС. Объекты повышенного уровня опасности с экономическими, социальными и летальными классами последствий (СС2, СС3) оказывают значительные воздействия на основание и существующую окружающую (экологическую) среду. Поэтому их возведение требует комплексной экспертизы застраиваемой территории, подземного пространства; анализа инженерно-геологических и техногенных условий строительства [1], в частности, принятых проектных решений ограждений котлованов, гидроизоляции, конструкций подземной и надземной частей, расчетных ситуаций, моделей и технологической последовательности строительства; выполнения геотехнических работ и др.⁶ [1; 6].

Они являются уникальными и возводятся по индивидуальным проектам в соответствии со специальными техническими условиями (СТУ)⁷, т.к. не имеют аналогов и достаточного нормативного обеспечения [7; 8]. Учитывая это на всех стадиях: инвестиций, изысканий, проектирования, возведения и эксплуатации, согласно данным⁸, следует вести НТСС, которое выполняется специализированной организацией, согласованной Минстройархитектуры Республики Беларусь по предложению заказчика (генпроектировщика).

В соответствии с СТУ, НТСС должно обеспечить безопасность, эффективность работ и надежность конструкций надземной и подземной частей наблюдаемых объектов, снизить их влияние на прилегающие к ним территории, окружающую застройку и оперативно исключить возможные отклонения от данных, заложенных в проект.

Исходя из этого, в рамках НТСС необходимо проводить комплексную оценку проектных решений, в т.ч. ограждений котлованов, конструкций подземной и надземной частей, результатов инженерных изысканий (ИИ), гидрогеологического прогноза; оценку взаимного влияния друг на друга возводимых и существующих сооружений, технологических регламентов на отдельные виды работ, скорости и последовательности этапов строительства, а также программ ГМ на проведение и развертывание мониторинга, которое в частности включает^{9,10,11} [2; 6; 10–13]:

- экспертизу инженерно-геологических изысканий на предмет их достаточности для проверки предельных состояний, в т.ч. с использованием метода конечных элементов (МКЭ), и соответствия требованиям норм;
- комплексную экспертизу рабочих программ по видам геотехнического мониторинга, составленных на основе общей программы мониторинга организации НТСС и ТЗ заказчика (генпроектировщика);
- локальные экспертизы проектных решений, расчетов и результатов математического моделирования, включая гидрогеологический прогноз;
- экспертизу технологий (ПОС, ППР) на выполнение геотехнических работ с выборочным контролем соблюдения качества геотехнических работ по результатам их испытаний;
- научно-техническую помощь при выборе и применении новых материалов и технологий;
- разработку системной общей программы геотехнического мониторинга (СПГМ) и др.

Экспертиза по вышеуказанным перечислениям осуществляется на основе архивных материалов, данных инженерных изысканий, условий строительства и конструктивных решений, прогноза изменения состояния и свойств грунтов оснований, конструкций во времени. В связи с этим следует тщательно оценивать примененные методы испытаний, наблюдений и точность определения их характеристик, а также технологии производства геотехнических работ, качество которых напрямую зависит от квалификации персонала, выполняющего указанные работы, а также проводить выборочный контроль качества выполнения работ на всех этапах строительства.

Организация, осуществляющая НТСС, должна решать все текущие технические вопросы и на основе имеющихся материалов (проектов, ТНПА, отчетов по изысканиям, экспертных заключений, рекомендаций, данных по видам выполненных рабочих мониторингов и др.) оказывать научно-техническую помощь, а в случае необходимости вносить предложения по корректировке проектных решений, технологии работ и разработанной

⁶ См. сноски 1 и 2.

⁷ См. сноску 1.

⁸ См. сноски 1 и 2.

⁹ См. сноски 1 и 2.

¹⁰ См. сноски 3, 4, 5.

¹¹ СН 1.02.01-2019. Инженерные изыскания для строительства. – Минск: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2020. – 108 с.

ей СПГМ, утверждаемой заказчиком (инвестором) и включенной в проект в качестве одного из его разделов. СПГМ является основой для составления локальных рабочих программ мониторинга (РПГМ) и его проведения по следующим обязательным отдельным видам контролируемых на объекте процессов:

- состояние прилегающих к объекту (особенно при экскавации котлована) территорий окружающей застройки (зданий и сооружений), в т.ч. различных сетей и подземных коммуникаций;
- смещение по вертикали (подъем, осадка) и горизонтали оснований, фундаментов контролируемых зданий, в т.ч. сооружений окружающей застройки, попадающих в зону их влияния в процессе строительства и эксплуатации объектов;
- уровень подземных вод (ПВ) и их характеристики;
- смещение по вертикали и горизонтали ограждающих конструкций котлована (СКГ), начиная с возведения ограждения (стены), экскавации грунта и до окончания возведения объекта;
- давление на грунт под подошвой плитного фундамента или низа ростверка свайного фундамента;
- смещение слоев грунта под подошвой плитных (условной подошвой свайного) фундаментов по глубине сжимаемой зоны и в межсвайном пространстве, а также на прилегающей территории в зоне влияния контролируемого объекта;
- напряжение и деформации в подземных и надземных конструкциях (в т.ч. в фундаментах, сваях).

При этом до начала наблюдения за объектом повышенного риска опасности (до начала строительства) необходимо выполнить следующее:

- за пределами зоны влияния наблюдаемых объектов создать геодезическую реперную систему и установить в уровне верха фундаментов (цоколе) существующих сооружений геодезические марки для измерения вертикальных и горизонтальных смещений согласно указаниям локальных рабочих программ на данный вид измерений;
- разработать СПГМ и на ее основе локальные рабочие программы РПГМ на каждый отдельный вид наблюдений по вышеуказанным перечислениям, согласованным организацией, осуществляющей НТСС; заказать необходимое сертифицированное измерительное оборудование, имеющееся в метрологическом реестре Республики Беларусь, и выполнить работы по его калибровке и юстировке;
- в обязательном порядке провести визуальное обследование окружающей застройки (ОЗ) и заактивировать двусторонними актами установленные дефекты и отказы (в процессе строительства визуальные наблюдения проводятся с периодичностью, регламентируемой СПГМ и РПГМ, но не реже 1 раза в квартал).

2. Имплементация и обеспечение ГМ. Анализ отечественного и зарубежного опыта показывает, что ГМ является трудоемким и затратным процессом, доля которого, от общей стоимости объекта, достигает 10%. Поэтому проектирование, инструментальное обеспечение и развертывание ГМ на контролируемых объектах должны проводиться исходя из геотехногенных условий (инженерно-геологических, конструктивных и др.), целей (см. введение), вытекающих из них задач мониторинга (цена-качество-безопасность) и, основываясь на этом, базироваться на следующих двух подходах (способах) его осуществления.

Подход 1 – традиционный периодический (непостоянный) ГМ в виде обычных недорогих геодезических наблюдений (измерений) и контроля качества материала конструкций с использованием как традиционных нивелиров, теодолитов¹² и неразрушающих (физических) методов испытания материалов [2; 6], так и цифровых, в т.ч. спутниковых GPS-технологий для зданий и сооружений со средним и низким социально-экономическим ущербом и отсутствием летального риска (сложности К3, К4), расположенных на однородных устойчивых (простых) основаниях по СП 5.01.01-2023¹³.

Подход 2 – постоянный, как правило, автоматический ГМ, осуществляемый комплексно с использованием датчиков измерений с регистрацией данных, как в непрерывном режиме, так и сеансами с частотой, установленной РПГМ [6–13], для сооружений и зданий классов сложности (К1 и К2) на основаниях категории сложности (II и III) по СН 1.02.01-2019¹⁴.

2.1. Основные принципы разработки и развертывания ГМ. Мониторинг объекта осуществляется в соответствии с его общей СПГМ, направленной на проведение комплекса наблюдений, в том числе инструментальных (регламента), за контролируемым объектом, включая подготовительный период (инженерные изыскания, подготовительные работы по разработке котлована, ограждающей стены (рисунок 1) и др.), и устанавливает требования к:

- составу, средствам, порядку и контролируемым характеристикам (показателям качества мониторинга);
- схемам расположения (рисунки 1–3) контролируемых точек и геодезической основы, приборам, оборудованию (в т.ч. необходимости автоматизированных станций и коммутационных линий);
- периодичности наблюдений;
- методикам и производству измерений;
- методам оценки качества выполненных измерений и контролю стабильности реперов геодезической основы, приборам и коммутационным линиям;
- объему и срокам отчетности по выполненным работам.

¹² См. сноску 11.

¹³ См. сноску 2.

¹⁴ См. сноску 2.

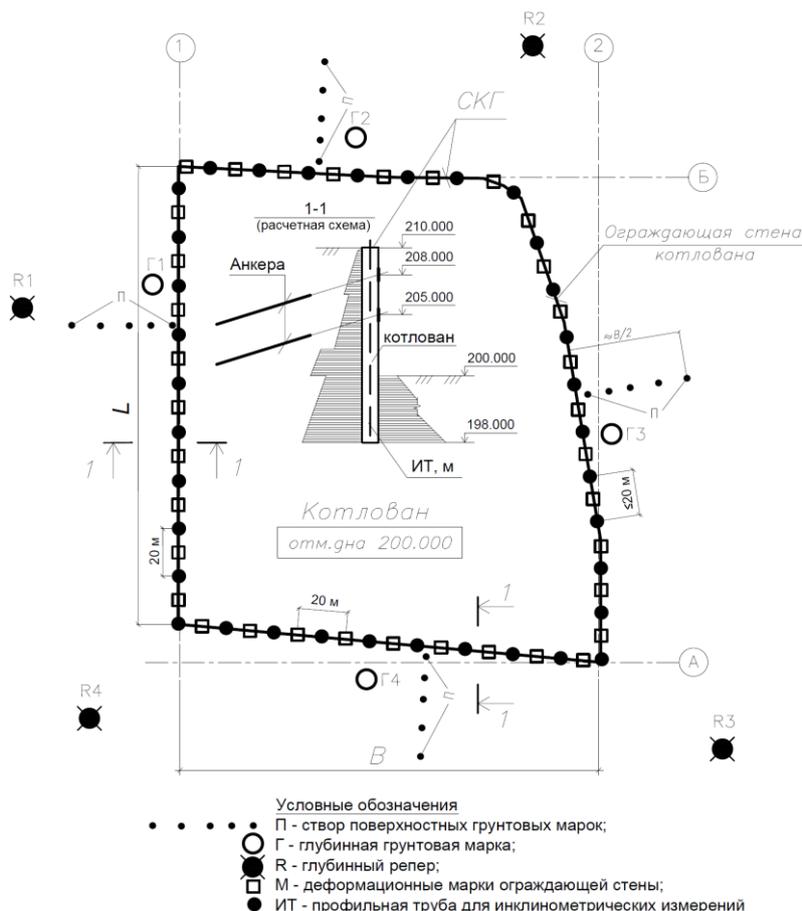


Рисунок 1. – Пример схемы расстановки инструментально-измерительного оборудования при мониторинге монолитной ограждающей стены (СКГ) котлована объекта сложности (К1, К2)

ГМ объекта, в зависимости от подходов (1 или 2), включает в себя разный набор схем по трудоемкости, стоимости из следующих видов мониторингов (ГМ) и контролируемых процессов:

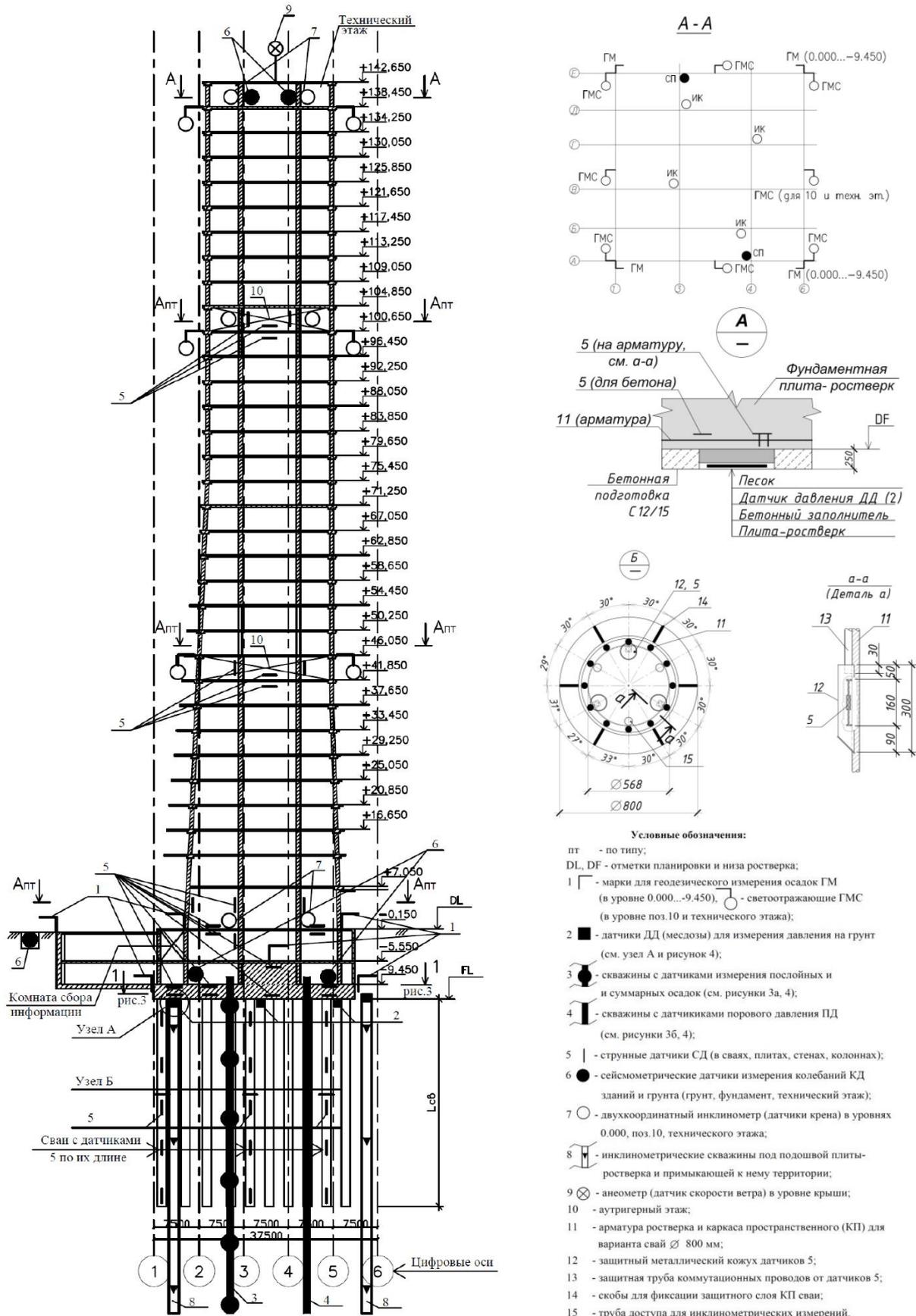
1) геодезический, как традиционный с помощью нивелиров, теодолитов и др., так и с использованием современных спутниковых GPS-технологий или цифровых датчиков (далее – МГЗ) для наблюдения за состоянием (осадка, подъем, крен, перемещения) существующих зданий (в т.ч. конструкций), сооружений, сетей, коммуникаций, ограждения стены котлована (СКГ), фундаментов, конструкций подземной и надземной частей объекта с фиксацией трещин и наблюдением за их развитием во времени, за смещением грунта в основаниях фундаментов и на прилегающих к ним территориях;

2) гидрогеологический (далее – МГГ) для оценки уровня подземных вод (ПВ), в т.ч. во времени и их характеристик, который должен обеспечить контроль текущего состояния ПВ и прогноз их изменения на период строительства и эксплуатации сооружения и разработкой геофильтрационной и геомиграционной моделей и параметров геологической среды до 25 лет, а также мероприятий (при необходимости) по исключению развития негативных последствий от влияния на объект гидрогеологических условий;

3) технический (далее – МТ), состоящий: а) из инженерно-геологических наблюдений за грунтовым массивом основания фундаментов и прилегающих территорий с измерением послойных и общих осадок грунта, уровня воды и порового давления и напряжений в грунте под подошвой фундаментов и по длине свай; б) наблюдений за конструкциями фундаментов, подземной (ПЧ) и надземной (НЧ) частей сооружения, в частности с оценкой (определением) усилий в анкерах, напряжений и деформаций в изгибаемых железобетонных и распорных конструкциях, их горизонтальных смещений и кренов и др. (см. рисунки 1–3);

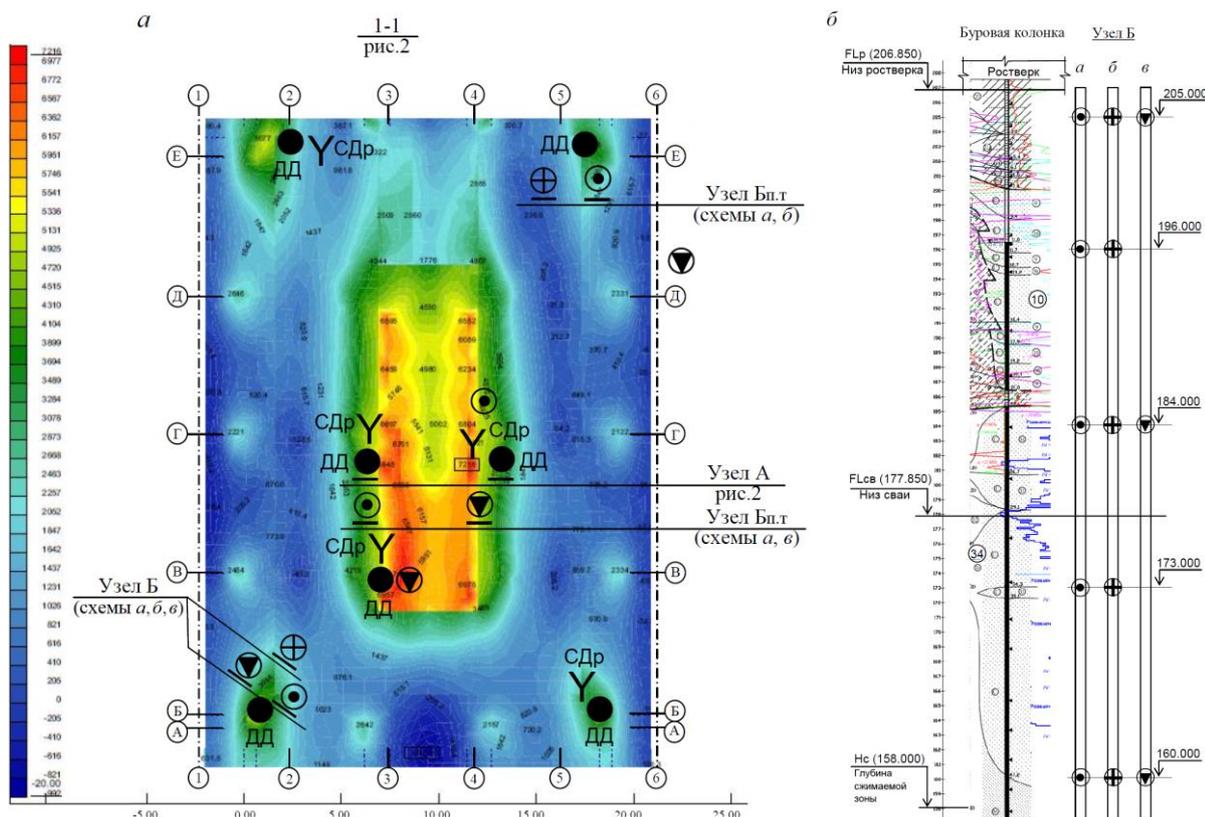
4) сейсродинамический (далее – МСД) для оценки вибродинамических колебаний здания, конструкций и грунта, осуществляемый с целью определения внешних динамических и собственных колебаний сооружений в процессе строительства и эксплуатации; включает комплекс динамических наблюдений (ветровых, сейсмических) для оценки внешних воздействий и реакций зданий на основе стационарных пунктов мониторинга в грунте рядом с объектом на нижнем и верхнем этажах;

5) экологический (далее – МЭ) для оценки уровня загрязнения окружающей среды (воздуха, грунтов, подземных вод), наличия опасных электрофизических полей, газовой выделения, радиационного излучения, перечень которых определяется в РПГМ в соответствии с СТБ 17.08.02-01, а уровень загрязнения – в ГОСТ 17.2.3.01, ГОСТ 17.2.4.02, отклонения от которого в 1,5 раза является геотехнической аномалией.



DL, FL – соответственно отметки планировки и подошвы плиты-ростверка (низа свай)

Рисунок 2. – Пример схемы расстановки инструментального оборудования для комбинированного (простого / автоматизированного) мониторинга здания класса сложности (К1, К2) на основаниях категории сложности (II и III)



Условные обозначения: Υ – струнные экстензометры (струнные СДр – в плите-ростверке); \bullet – датчики давления (ДД) в подошве плиты-ростверка и их номера (см. узел А на рисунке 2); скважина: \odot – для определения послойных и суммарных осадок; ∇ – для инклинометрических измерений горизонтальных смещений грунта; \oplus – для определения уровня подземных вод (ПВ) и порового давления; $\textcircled{10}$ – инженерно-геологический элемент (ИГЭ); п.т. – по типу

Рисунок 3. – Пример схем расположения инструментального оборудования по разрезу 1-1 на рисунке 2 в плите-ростверке (а) для измерения НДС и в скважинах для измерений (а, б, в) под его подошвой (б), совмещенных с результатами численных расчетов

Геотехнический мониторинг производится по РПГМ на каждый его вид по перечислениям (1–5), разрабатываемым специализированными организациями, его осуществляющими, на основе требований СПГМ, которая является обязательной для всех организаций, выполняющих геотехнический мониторинг и экспертную оценку их результатов. Ее требования являются минимальными для проведения всех видов мониторинга и при составлении конкретных рабочих программ могут быть ужесточены (расширены) или снижены после согласования с заказчиком и организацией НТСС.

Общая система мониторинга должна интегрировать (объединять) отдельные РПГМ и фиксировать следующие показатели (см. рисунки 1, 2):

- нагрузки (воздействия, в т.ч. ветровые, сейсмические, техногенные);
- неравномерные и абсолютные (послойные и суммарные) осадки оснований зданий и сооружений;
- колебания строительных конструкций;
- наклоны, прогибы и крены строительных конструкций и здания в целом;
- геометрические параметры здания с использованием автоматизированной высокоточной геодезической аппаратуры;
- деформации строительных конструкций (фундаментная плита, колонны, перекрытия, диафрагмы, несущие стены);
- температурно-влажностный режим.

2.2. Инструментально-техническое оснащение и средства обеспечения ГМ в системе АСГМ. Система ГМ проектируется из инструментально-приборной части и программного обеспечения, собирающего и обрабатывающего данные о состоянии объекта, и должна обеспечивать единство концепции, методов и средств его инструментального осуществления.

Система сбора, управления и первичной обработки результатов ГМ направлена на централизованное управление, получение и обработку данных измерений по п.2.1, полученных с использованием каналов проводной или беспроводной связи, хранение результатов измерений, проверку работоспособности, юстировку и калибровку первичных датчиков и оборудования.

Для объективного анализа результатов мониторинга напряженно-деформационного состояния (НДС) грунтов оснований и несущих конструкций, проведения инженерных расчетов по оценке возникновения и развития дефектов в них, в том числе в различных кризисных ситуациях, на предварительной стадии ГМ должна быть разработана математическая компьютерная модель объекта (МКМ), которая в ходе проведения ГМ уточняется при получении текущих показаний датчиков системы мониторинга. После всех уточнений МКМ должна максимально соответствовать фактическому состоянию объекта ГМ и использоваться на стадиях его строительства и эксплуатации для анализа результатов мониторинга; оценки и прогноза развития выявленных дефектов во времени.

Все РПГМ (см. п.2.1) и их компьютерные версии должны интегрироваться в общую автоматизированную систему сбора данных (АСГМ), оснащенную комплексом специального программного обеспечения для обработки данных со всех подсистем наблюдений и отображения полученных от них результатов, оценки технического состояния (устойчивости, сейсмостойкости, остаточного ресурса долговечности) и определения мер, обеспечивающих эффективную эксплуатацию объекта ГМ.

АСГМ должна содержать программный модуль (спецпроцессор) и критерии для определения технического состояния несущих конструкций, а также обеспечивать:

- интегрированную обработку различных наблюдений, поступающих от комплексов локальных измерений технического состояния разнородных подсистем объекта ГМ по п.2.1, и алгоритм оценки их результатов по критериям сравнения, установленных ТНПА, проектом и специалистами применительно к наблюдаемым зданиям на начальной стадии эксплуатации системы мониторинга, в процессе строительства и после ввода его в эксплуатацию;

- возможность отображения на трехмерной модели объекта мест и динамики развития дефектов (в том числе скрытых) и внешних факторов (например, зон образования критических деформаций и напряжений в основании фундаментов, конструкциях зданий в объеме ГМ) и быть открытой для интеграции с системами диспетчеризации и управления инженерным оборудованием для передачи в ее систему информации об ухудшении технического состояния наблюдаемых конструкций и оснований.

В АСГМ должны применяться апробированные и сертифицированные в установленном порядке способы, технические и программные средства для определения технического состояния основания и несущих конструкций объекта ГМ.

2.2.1. Требования к инструментам и методам мониторинга напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов и грунтов в системе АСГМ. В системе АСГМ для контроля динамики развития напряжений в грунтах основания и конструктивных элементов сооружения используются датчики и оборудование различных типов (в зависимости от этапов, целей, задач, мест и схем установки). Их следует подразделять на минимально обязательные, обеспечивающие эксплуатационную безопасность сооружения и рекомендуемые для общей полной оценки его состояния, правильности принятых расчетных схем (моделей) и проектных решений, соответствия фактическому поведению грунтов и конструкций реальным условиям строительства с оптимизацией и прогнозированием их состояния во времени. Информация от датчиков, как правило, при помощи сигнальных кабелей сводится в специально оборудованную комнату мониторинга в уровне 1-го этажа объекта, откуда производится опрос, контроль и хранение их показаний. Пример рекомендуемого оснащения одного из объектов класса сложности (K1, K2) для стадий строительства и эксплуатации дан на рисунках 1–3 и в таблице 1.

Таблица 1. – Пример минимально-обязательного состава и объема (количества) первичных приборов, оборудования (датчиков), согласно программам геотехнического мониторинга (ГМ), объекта класса сложности K1 с учетом требований норм, необходимых для обеспечения его безопасности в неблагоприятных условиях строительства

| Модель датчика, оборудования | Измеряемый параметр | Предел, точность измерения | Длина кабеля, м | Места установки и количество |
|--|---|---|-----------------------------|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| На ВЗ № (5.2, 5.3, 5.4) | | | | |
| 1. Экстензометры для конструкций | Измерение деформации: – в арматуре: надземных конструкций – в бетоне: надземных конструкций | Резистивные 1500 мк, струнные 3000 мк, разрешение 1 мк, температура (-20...+70) °С | По проекту РПГМ исполнителя | По результатам численных расчетных полей нагрузок, НДС оснований и конструкций в зонах предельной их нагруженности по основным осям плана |
| 2. Скважинные экстензометры | Автоматизированное послойное измерение осадок | 0-150 мм | То же | То же |
| 3. Скважинные инклинометрические зонды в инклинометрической колонне на тросе | Автоматизированные измерения горизонтальных смещений грунта основания | ±30° | // | // |
| 4. Скважинные автоматические пьезометры | Для определения порового давления | (от 0,1 до 5) МПа | // | // |
| 5. Скважинные автоматические пьезометры | Для определения уровня подземных вод и температуры | (от 0,1 до 5) МПа | // | // |

Окончание таблицы 1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------------------------------|---|---|----|----|
| 6. GPS-приемники ГЛОНАСС | Измерение перемещений конструкций здания | В плане: 10 мм По высоте: 20 мм | // | // |
| 7. Наклономеры (датчики крена) | Измерение наклона поверхности | ($\pm 10 \dots \pm 20$)° разрешение 0,001% шкалы | // | // |
| 8. Датчики давления на грунт | Измерение давления на грунт от фундамента (ростверка) | Струнный (от 0,3 до 5 МПа) | // | // |

Основными элементами инструментального оснащения мониторингов ограждающих стен котлованов, оснований и конструкций сооружений являются:

- скважинные измерения осадок и смещений грунтов оснований (для сокращения их числа рекомендуется предусматривать измерение наклонов здания инклинометрами);
- скважинные измерения порового давления и уровня подземных вод;
- измерения нагрузок на грунт (в т.ч. на сваи), напряжений в фундаментной плите (ростверке) и сваях по их длине;
- измерение напряжений в конструкциях: стенах, пилонах и колоннах;
- измерения колебаний здания (собственных и от внешних воздействий).

Подбор конкретных измерительных средств обусловлен объемно-планировочным и конструктивным решением объекта, нагрузками, инженерно-геологическими условиями. Основой геометрии размещения инструментального оснащения служат результаты совместных расчетов статики и динамики здания и основания фундаментов.

Датчики давления (мессдозы) должны проектироваться в уровне подошвы ростверка по результатам расчетов осадок, нагрузок и моментов для фундаментной плиты (ростверка) сооружения. Расчеты показывают, что зона наибольших осадок, как правило, наблюдается в центральной части сплошных фундаментных плит (ростверков) с наибольшей областью растяжений, что в значительной мере и определяет конфигурацию расстановки датчиков напряжений и деформаций, в т.ч. скважинных датчиков осадок (суммарных и послойных), порового давления, а также датчиков давления на грунт и напряжений в плите, которые должны контролировать состояние объекта по основным осям плана, для зон разной нагруженности. Датчики давления на грунт и напряжений в плитах, колоннах, пилонах нижних этажей (для 1/3 здания) должны образовывать своеобразные поля, геометрия расположения которых определяется расчетными полями осадок, нагрузок и моментов.

В качестве регистрирующих элементов напряжений могут применяться струнно-акустические, резистивные или оптоволоконные сенсоры, устанавливаемые или внутри конструкции (до укладки бетона), или на ее поверхности (съёмные), после набора бетоном проектной прочности.

Принятые в РПГМ тензометрические датчики должны обеспечить контроль развития напряжений в конструкциях объекта с момента их возведения и на протяжении всего срока его эксплуатации.

В зависимости от материала конструктивного элемента могут использоваться различные способы монтажа тензометрических датчиков. В железобетонных конструкциях датчики устанавливаются как на арматуру каркаса, так и на бетон, непосредственно перед заливкой бетона. Датчики, устанавливаемые на арматуру, крепятся непосредственно к ней при помощи точечной сварки или болтов (при измерении напряжений в арматуре) или с помощью проволоки (при измерении напряжений в бетоне).

Для измерений следует применять средства измерений в требуемом интервале проектных параметров и имеющиеся в государственном реестре Республики Беларусь. При этом следует иметь в виду, что для мониторинга используются датчики 2-х типов, устанавливаемые как внутри тела конструкции, так и снаружи на ее поверхности. В подземной и надземной частях предпочтение следует отдавать последним. Это обусловлено тем, что если струнные датчики, датчики давления на грунт и др., устанавливаемые в теле монолитных конструкций (сваи, бетонная подготовка, ростверк, плиты перекрытий и др.), не могут быть извлечены для проведения периодической поверки юстировки и калибровки, то они автоматически исключаются из сферы законодательной метрологии после истечения срока сертификата первичной поверки и в дальнейшем могут использоваться только в качестве информационных.

Для измерения вибродинамических (в т.ч. сейсмических) колебаний рекомендуется закладывать акселерометры и регистраторы, не уступающие по качеству аналогичным системам фирмы GeoSIG-GURALP, которые обладают всем необходимым метрологическим сопровождением, позволяющим объединить их в единую систему. При использовании других типов датчиков следует учитывать, что ни один из отечественных измерителей колебаний низкочастотного диапазона (от 0,1 Гц и выше) не имеет требуемого сертификата.

При этом основными параметрами при выборе типа датчика должны быть частотный диапазон и чувствительность. Сейсмометр должен регистрировать собственные колебания основного тона и нескольких более высоких гармоник. Для большинства зданий основной тон лежит в диапазоне менее 1 Гц (обычно (0,2–0,8) Гц), частоты выше (25–30) Гц регистрировать нецелесообразно (полезный сигнал искажается промышленными и др. помехами). Поэтому оптимально использовать датчики в диапазоне частот (от 0,2 до 40) Гц. Низкочастотный диапазон дает возможность измерить даже незначительные изменения в колебаниях конструкций и позволяет оценить физические характеристики грунтов оснований в условиях их естественного залегания (модули упругости, параметры нелинейности и др.).

Целесообразно устанавливать не менее 1-го датчика на верхних этажах, не менее 2-х на фундаментной плите, подземных этажах и 1-го в грунте основания фундамента объекта в уровне подошвы ростверка, располагая их в противоположных концах плана для возможности выявления крутильных колебаний. Наблюдения должны вестись в едином времени, для чего необходимо предусмотреть синхронизацию датчиков по GPS-временным маркам.

Практика показывает, что невозможно установить датчики во всех интересующих местах и скважинах в грунте, так как для этого необходимо использовать слишком большое их количество и коммутационных комплектов, что приводит к значительной (неприемлемой) стоимости ГМ. Поэтому РПГМ должны ориентироваться на минимальное их количество. Исходя из этого, датчики следует устанавливать, как правило, в наиболее нагруженных (по результатам математического компьютерного моделирования) зонах грунтового основания и конструктивных элементах фундамента, подземной части наблюдаемого объекта, а также его первых (10–15)-ти и последних надземных этажах. На зданиях ОЗ можно ограничиться геологогеодезическими и сейсмомодинамическими наблюдениями.

Заключение. На основании вышесказанного можно сделать следующие выводы.

1. Анализ отечественного и зарубежного опыта строительства показывает [8; 10; 12], что одной из важнейших современных проблем является обеспечение безопасности гражданских и промышленных зданий, сооружений класса сложности (К1, К2) с повышенными социальными, экономическими, летальными рисками и классами последствий (СС2, СС3), а также возводимых в сложных геотехногенных условиях. Такие объекты, как правило, не имеют аналогов, и исходя из этого их можно отнести к уникальным, не имеющим достаточной нормативно-правовой базы. В связи с этим на всех стадиях строительного процесса (инвестиций в строительство, изысканий, архитектурный и строительный проект, строительство и эксплуатация), согласно данным^{15,16}, за ними необходимо осуществлять научно-техническое сопровождение (НТСС) и геотехнический мониторинг (ГМ) для предотвращения негативных последствий в период строительства и эксплуатации.

2. Исходя из того, что в действующих отечественных ТНПА и еврокодах приводятся только концептуальные (неконкретные) сведения по осуществлению процессов НТСС и систем ГМ, в РУП «Институт БелНИИС» авторами был проведен ряд исследований и работ по их имплементации на нескольких уникальных и высотных отечественных объектах с использованием разработанных оптимальных методов наблюдений (измерений) и современных технических средств, на основе построения численных моделей наблюдаемых объектов, в т.ч. комплексного автоматизированного их мониторинга, обеспечивающих безопасность сооружений, в объеме, требуемом для разработки главы проекта по ГМ, часть результатов которых приведена в настоящей статье и вошла в ТНПА Республики Беларусь^{17,18}.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бусел И.А. Инженерно-геологические изыскания для строительства: основы методологии. – Минск: Колорград, 2020. – 393 с.
2. Снежков Д.Ю., Леонovich С.Н. Мониторинг возводимых и эксплуатируемых железобетонных конструкций неразрушающими методами. – Минск: БНТУ, 2016. – 330 с.
3. Неразрушающие методы испытания бетона / О.В. Лужин, В.А. Волохов, Г.Б. Шмаков. – М.: Стройиздат, 1985. – 177 с.
4. Гурьев В.В., Дорофеев В.М. Современная нормативная база по мониторингу технического состояния зданий и сооружений // Промышленное и гражданское строительство. – 2006. – № 4. – С. 24–25.
5. Скрамтаев Б.Г., Лещинский И.Ю. Испытание прочности бетона в образцах, изделиях, сооружениях. – М.: Стройиздат, 1964. – 176 с.
6. Информационно-измерительная техника и технология / В.И. Калашников, С.В. Нефедов, А.Б. Путилин. – М.: Высш. шк., 2002. – 454 с.
7. Нормативное обеспечение создания автоматизированных систем технического диагностирования строительных конструкций / Ю.И. Немчинов, А.К. Хавкин, В.П. Глуховский и др. // Світ геотехніки. – 2004. – № 4. – С. 19–22.
8. Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Геотехническое сопровождение развития городов (практическое пособие по проектированию зданий и подземных сооружений в условиях плотной застройки). – СПб.: Стройиздат Северо-Запад, Группа компаний «Геореконструкция», 2010. – 551 с.
9. Методы и результаты сейсмического мониторинга взаимодействия высотных зданий с грунтами оснований : в 2 ч. / С.В. Николаев, В.М. Острецов, Л.Б. Гендельман и др. // Городской строительный комплекс и безопасность жизнеобеспечения граждан. – М.: МСГУ, 2005. – Ч. 1. – С. 166–173.
10. Катценбах Р., Шмитт А., Рамм Х. Основные принципы проектирования и мониторинга высотных зданий Франкфурта-на-Майне. Случай из практики // Реконструкция городов и геотехническое строительство. – 2005. – № 9. – С. 80–99.
11. Контроль качества геотехнических конструкций, созданных методом струйной цементации / А.В. Черняков, О.В. Богомолова, В.В. Капустин и др. // Технологии сейсморазведки. – 2008. – № 3. – С. 97–103.
12. Гурьев В.В., Дорофеев В.М. Мониторинг напряженно-деформируемого состояния несущих конструкций высотных зданий // Стройбезопасность. – 2005. – С. 18–21.
13. Острецов В.А., Вознюк А.Б., Капустян Н.К. Опыт мониторинга конструкций и грунтов оснований высотных зданий в Москве // Строительная наука и техника. – 2008. – № 5(20). – С. 99–101.

¹⁵ См. сноску 1.

¹⁶ См. сноску 2.

¹⁷ См. сноску 1.

¹⁸ См. сноску 2.

REFERENCES

1. Busel, I.A. (2020). *Inzhenerno-geologicheskie izyskaniya dlya stroitel'stva: osnovy metodologii*. Minsk: Kolorgrad. (In Russ.).
2. Snezhkov, D.Yu. & Leonovich, S.N. (2016). *Monitoring vozvodimyykh i ekspluatiruemyykh zhelezobetonnykh konstruksii nerazrushayushchimi metodami*. Minsk: BNTU. (In Russ.).
3. Luzhin, O.V., Volokhov, V.A. & Shmakov, G.B. (1985). *Nerazrushayushchie metody ispytaniya betona*. Moscow: Stroizdat. (In Russ.).
4. Gur'ev, V.V. & Dorofeev, V.M. (2006). *Sovremennaya normativnaya baza po monitoringu tekhnicheskogo sostoyaniya zdaniy i sooruzheniy. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, (4), 24–25. (In Russ.).
5. Skramtaev, B.G. & Leshchinskii, I.Yu. (1964). *Ispytanie prochnosti betona v obraztsakh, izdeliyakh, sooruzheniyakh*. Moscow: Stroizdat. (In Russ.).
6. Kalashnikov, V.I., Nefedov, S.V. & Putilin, A.B. (2002). *Informatsionno-izmeritel'naya tekhnika i tekhnologiya*. Moscow: Vyssh. shk. (In Russ.).
7. Nemchinov, Yu.I., Khavkin, A.K., Glukhovskii, V.P., Yurov, A.N., Priemskii, V.D. & Radishchev, Yu.V. (2004). *Normativnoe obespechenie sozdaniya avtomatizirovannykh sistem tekhnicheskogo diagnostirovaniya stroitel'nykh konstruksii. Svit geotekhniki*, (4), 19–22. (In Russ.).
8. Ulitskii, V.M., Shashkin, A.G. & Shashkin, K.G. (2010). *Geotekhnicheskoe soprovozhdenie razvitiya gorodov (prakticheskoe posobie po proektirovaniyu zdaniy i podzemnykh sooruzheniy v usloviyakh plotnoi zastroiki)*. Saint-Petersburg: Stroizdat Severo-Zapad, Gruppa kompanii «Georekonstruktsiya». (In Russ.).
9. Nikolaev, S.V., Ostretsov, V.M., Gendel'man, L.B., Voznyuk, A.B., Kapustyan, N.K. & Nesterkina, M.A. (2005). *Metody i rezul'taty seismicheskogo monitoringa vzaimodeystviya vysotnykh zdaniy s gruntami osnovanii: v 2 ch. Ch. 1. Gorodskoi stroitel'nyi kompleks i bezopasnost' zhizneobespeche-niya grazhdan* (166–173). Moscow: MSU. (In Russ.).
10. Kattsenbakh, R., Shmitt, A. & Ramm, Kh. (2005). *Osnovnye printsipy proektirovaniya i monitoringa vysotnykh zdaniy Frankfurta-na-Maine. Sluchai iz praktiki. Rekonstruktsiya gorodov i geotekhnicheskoe stroitel'stvo*, (9), 80–99. (In Russ.).
11. Chernyakov, A.V., Bogomolova, O.V., Kapustin, V.V., Vladov, M.L. & Kalinin, V.V. (2008). *Kontrol' kachestva geotekhnicheskikh konstruksii, sozdannykh metodom struinoi tsementatsii. Tekhnologii seismorazvedki*, (3), 97–103. (In Russ.).
12. Gur'ev, V.V. & Dorofeev, V.M. (2005). *Monitoring napryazhenno-deformiruemogo sostoyaniya nesushchikh konstruksii vysotnykh zdaniy. Stroibezopasnost'*, 18–21. (In Russ.).
13. Ostretsov, V.A., Voznyuk, A.B. & Kapustyan, N.K. (2008). *Opyt monitoringa konstruksii i gruntov osnovanii vysotnykh zdaniy v Moskve. Stroitel'naya nauka i tekhnika*, 5(20), 99–101. (In Russ.).

Поступила 04.07.2024

**IMPLEMENTATION OF THE PROCESS OF SCIENTIFIC AND TECHNICAL SUPPORT
OF CONSTRUCTION AND GEOTECHNICAL MONITORING SYSTEM
DURING CONSTRUCTION AND OPERATION OF STRUCTURES**

V. KRAVTSOV^{1), 2)}, S. EGHBALNIK²⁾

(¹⁾Institute BelNIIS RUE, Minsk, ²⁾Belarusian National Technical University, Minsk)

A wide range of issues of organisation and provision of scientific and technical support of construction (STSC) and its main component – geotechnical monitoring (GM) carrying out, in particular, quality control of the enclosing walls of excavations, bases, foundations, above-ground structures of erected, operated, structures, adjacent territories and surrounding existing buildings. The basics of modern methods of observations (measurements), technical means (sensors, devices, etc.) used for this purpose are described, the principles of complex, including automated, monitoring based on a numerical model of the object are considered, providing construction safety based on the results of measurements of controlled parameters in the volume required for the development of the project chapter on GM. The data on purposes, composition, technical equipment, system (general) and working programmes of geotechnical monitoring on the basis of researches and accumulated experience of its carrying out for the condition of high-rise and unique objects are given.

Keywords: safety, regulations and means of observations over the state of the controlled object (NTSS, GM), system of simple and complex automated monitoring, GM programmes, legal metrology.