УДК 551.24: 622.1

А.П.ПОПОВ, *д-р техн. наук, зам. ген. директора по научной работе, PopovAP@vnipigaz.gazprom.ru*
ОАО «ВНИПИгаздобыча», г.Саратов

A.P.POPOV, *Dr. in eng. sc., deputy general director, PopovAP@vnipigaz.gazprom.ru*
VNIPIgasoutput Co., Saratov

ГЕОТЕХНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ В КРИОЛИТОЗОНЕ. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ИЛИ ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

В статье сформулированы основные методологические положения технологии геотехнического мониторинга инженерных сооружений в криолитозоне. На практических примерах показана эффективность ее применения для снижения рисков производственно-хозяйственной деятельности ОАО «Газпром» посредством создания при проектировании численных моделей устойчивости грунтовых оснований и фундаментов, организации своевременного контроля механической безопасности зданий и сооружений, качественно обоснованного численного прогноза и возможности вариантного моделирования последствий технических решений по стабилизации ситуации.

Геотехнический мониторинг в отличие от производственного экологического является технологией управления механической безопасностью зданий и сооружений в процессе их проектирования, строительства и эксплуатации.

***Ключевые слова*:** методология мониторинга, численные модели устойчивости грунтовых фундаментов, контроль безопасности зданий и сооружений.

GEOTECHNICAL MONITORING IN CRYOLITE ZONE. ECOLOGICAL OR INDUSTRIAL SAFETY

The article contains the principal methodological points of the technology of geotechnical monitoring of engineer constructions in the cryolite zone. By way of practical example it was shown the efficiency of its application for reduction of risks in the industrial and economic activities of Gasprom Co by means of creation of numerical models of stability of ground basements and foundations, timely control of mechanical safety of buildings and constructions, qualitative substantiated numerical forecasting and potential variant modeling of aftereffects of technical decisions for stabilization of a situation.

Geotechnical monitoring in contrast to the industrial production ecological monitoring is the technology for control of mechanical safety of buildings and constructions at the stages of their designing, construction and exploitation.

***Key words*:** methodology of monitoring, numerical models of stability of ground foundations, control over the safety of buildings and constructions.

Реализация национальных нефтегазовых мегапроектов XXI в. тесным образом связана с развитием новых крупных центров добычи углеводородного сырья и формированием новых систем магистрального трубопроводного транспорта газа, конденсата и нефти, в большинстве случаев расположенных на территории распространения многолетнемерзлых пород (МП).

Успешная реализация этих проектов обусловлена внедрением новых технологий, организационных и технических решений, которые должны обеспечивать не только надежность, устойчивость фундаментов и пространственную неизменность конструкций в процессе строительства и эксплуатации на площадках, характерных для более чем 60 % территории России, но и гаранти-

ровать надежную работу газодобывающих и газотранспортных систем даже с учетом негативных сценариев возможного потепления климата планеты.

Обзор литературных источников и собственный производственный опыт свидетельствуют о том, что в настоящее время ранг значимости причин отказов газодобывающих систем в криолитозоне по причине взаимодействия с многолетнемерзлыми грунтами, как минимум, сравним с рангом отказов по технологическим причинам.

Тем не менее рациональное использование криогенного ресурса территории, эффективные технические средства искусственного целенаправленного изменения температурного режима грунтов оснований и, следовательно, их прочностных характеристик, и организационные технологии управления механической безопасностью инженерных сооружений в процессе эксплуатации позволяют надеяться на успешное разрешение заявленной проблемы. Именно такой организационной технологии и посвящена настоящая работа.

Выполненный анализ новых законодательных инициатив, направленных на техническое регулирование проектного комплекса, свидетельствует о необходимости выделения из состава экологического мониторинга особого вида деятельности, частично реализуемом ранее под наименованием инженерно-геологический мониторинг, чья целевая функция направлена на обеспечение и документальное подтверждение механической безопасности зданий и сооружений на всех стадиях жизненного цикла (проектирование – строительство – эксплуатация – ликвидация).

Такой вид целенаправленного и системного вида деятельности – геотехнический мониторинг – регламентирован в СТО Газпром 2-3.1-071-2006 и СТО Газпром 2-3.1-072-2006. Упомянутые нормативные документы разработаны для территории криолитозоны и определяют геотехнический мониторинг как систему комплексного контроля, прогнозирования и управления состоянием взаимодействующих между собой совокупностей элементов природно-технических систем (ПТС) для обеспечения надежности и механической безопасности технических элементов ПТС на всех стадиях жизненного цикла инженерного сооружения.

Терминологический анализ глоссария в области экологического контроля и мониторинга, выполненный в рамках ведомственной нормативной базы (СТО Газпром 2-1.19-214-2008, СТО Газпром 2.-1.19-217-2008) свидетельствует об отсутствии единообразия в терминологии и трансформации (развитии) понятия мониторинг от регулярного контроля в направлении контроль – прогноз – управляющее воздействие. Кроме того, требуется более точно позиционировать целевую функцию различных видов мониторинга.

Выявленные особенности отраслевых и государственных нормативов, перспективы развития государственного технического регулирования и особенности проектирования устойчивых и надежных оснований и фундаментов промышленных и гражданских зданий и сооружений на территориях распространения многолетнемерзлых пород позволили сформулировать следующие методологические принципы геотехнического мониторинга в криолитозоне.

1. Основными факторами, определяющими прочность, устойчивость грунтов оснований, динамику криогенных процессов в криолитозоне, следовательно, и пространственную неизменность конструкций, являются:

• температура грунтов – факторы обусловлены нарушением природного теплового баланса на дневной поверхности и в грунтах оснований вследствие техногенной тепловой нагрузки со стороны инженерных сооружений;

• влажность грунтов – факторы обусловлены перераспределением режима поверхностных и грунтовых вод вследствие техногенного изменения геодезических отметок поверхности Земли (строительство искусственных насыпей, обваловок и пр.)

2. Процесс проектирования оснований и фундаментов на многолетнемерзлых породах по СНиП 2.02.04-88 включает в себя создание одномерной, квазистационарной модели теплового взаимодействия инженер-

ного сооружения с многолетнемерзлыми грунтами на момент проведения строительства оценки прочности и устойчивости грунтового основания, необходимого для поддержания пространственной неизменности инженерной конструкции. Нормативная база (РСН 67-87) и современное развитие информационных технологий позволяют решать многомерные системы нестационарных дифференциальных уравнений теплопроводности для анизотропного инженерно-геологического разреза в постановке Стефана.

Вопрос о выборе типа модели регулируется типом МП:

• сливающаяся, массивно-островная и островная МП с первым принципом использования грунтов – актуально создание только температурной модели;

• островная и редко-островная МП со вторым принципом использования грунтов – актуально создание гидрогеологической модели.

Для обеспечения возможности прогноза динамики прочности и устойчивости грунтов и механической безопасности инженерного сооружения в криолитозоне необходимо на этапе проектирования использовать преимущественно нестационарные модели техногенных тепловых процессов взаимодействия системы фундамент – грунт, воспроизведение которых в период эксплуатации позволит прогнозировать фактическую несущую способность грунтов и фундаментов.

3. Адаптация модели к результатам режимной эксплуатационной термометрии позволит учесть все неисследованные и неучтенные при проектировании факторы температурного воздействия, выполнить достоверный прогноз развития негативных техногенных тепловых процессов, моделировать воздействие различных управляющих технических решений по реконструкции.

Сформулированные методологические принципы позволили разработать и внедрить в отрасли структурированную в определенной логической последовательности цепочку технологических операций:

• создание численных моделей нестационарного взаимодействия фундамент – грунт в процессе проработки разделов Проекта и марок рабочих чертежей АС, ОФ и ТСГ;

• проектирование рациональной системы наблюдений за процессами, определяющими динамику прочностных и деформационных характеристик многолетнемерзлых грунтов основания сооружения (марка рабочих чертежей ГТМ);

• организацию в процессе строительства и эксплуатации сооружений режимного опроса наблюдательных сетей (Геотехнический паспорт объекта);

• организацию процесса периодической адаптации прогнозных численных моделей техногенного взаимодействия системы фундамент – грунты основания – окружающая среда к результатам режимного опроса сетей геотехнического мониторинга;

• численное обоснование (с помощью адаптированной модели) управляющих технических мероприятий, в том числе их объема, последовательности, сроков реализации.

Далее на конкретных практических примерах проектов обустройства сеноманаптских и валанжинских залежей Юбилейного и Бованенковского НГКМ, проекта «Система магистрального транспорта газа Бованенково – Ухта» продемонстрирована эффективность применения технологии геотехнического мониторинга, которая позволяет обеспечить снижение рисков, связанных с производственной и хозяйственной деятельностью ОАО «Газпром» при организации своевременного контроля механической безопасности зданий и сооружений, качественного обоснованного численного прогноза и возможности вариантного моделирования последствий технических решений по стабилизации ситуации.

Таким образом, геотехнический мониторинг является технологией управления эксплуатационной надежностью оснований и фундаментов и механической безопасностью инженерных сооружений в криолитозоне.