

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе

Санкт-Петербургского горного университета

проф., д.т.н. Трушко В.Л.

2016 г.

ОТЗЫВ

ведущего предприятия Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» на диссертационную работу Николаева Петра Владимировича «Обоснование параметров технологии замораживания грунтов с использованием твердого диоксида углерода в подземном строительстве», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 25.00.22 «Геотехнология (подземная, открытая и строительная)» и 25.00.20 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Актуальность темы диссертационной работы.

При строительстве городских подземных сооружений в сложных горно-геологических условиях необходимо применять специальные способы строительства. Одним из эффективных специальных способов является искусственное замораживание грунтов, однако применение традиционного «рассольного» замораживания в условиях города не всегда эффективно. В таких условиях перспективным может являться переход на способ замораживания с использованием твердого диоксида углерода. Однако, технологические параметры данного способа недостаточно изучены, что приводит к высоким затратам и сдерживает его широкое применение в практике подземного строительства.

В связи с этим, работа Николаева П.В., направленная на обоснование параметров технологии замораживания грунтов с использованием твердого диоксида углерода в подземном строительстве, является актуальной.

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, содержит 6 таблиц, 41 рисунок и список литературы из 100 наименований.

В первой главе диссертации производится анализ предлагаемых ранее технологических схем и способов замораживания грунтов с использованием твердого диоксида углерода. Выделены два принципиально различных способа: с загрузкой твёрдого диоксида углерода в замораживающие колонки и комбинированный способ с использованием испарителя, в котором хладоноситель охлаждается при помощи твердого диоксида углерода. Произведен анализ теоретических и экспериментальных исследований, направленных на изучение и разработку данной технологии. Выполнен анализ результатов проведенного опытного внедрения и существующей методики проектирования процесса замораживания грунтов твердым диоксидом углерода. Показано, что данная технология является эффективной, однако из-за недостатков в методике проектирования и недостаточно отработанной технологии, фактические затраты твердого диоксида углерода могут отличаться от расчетных значений на 50 % и более. По результатам анализа сформулированы цель и задачи исследований.

Во второй главе произведен теоретический анализ процесса теплообмена между гранулированным твердым диоксидом углерода и стенкой замораживающей колонки, в которую он помещен. На основании данного анализа, установлена зависимость для определения величины коэффициента теплоотдачи стенки колонки в виде функции от теплового потока. В главе также исследуется процесс теплопередачи в испарителе, заполненном твердым диоксидом углерода. Сформированы основные параметры, которые должны быть определены в процессе проектирования. Произведен анализ выпускаемых промышленностью хладоносителей, на основании которого даны рекомендации о возможности применения некоторых из них в практике замораживания грунтов (на основе полидиметилсиликсана или этилбензола). По результатам теоретического исследования обоснована необходимость проведения лабораторных испытаний.

В третьей главе представлены цель, задачи, программа, методика проведенных экспериментальных исследований и их результаты. Экспериментальные исследования проводились по двум направлениям. В первом исследовался процесс теплообмена в замораживающей колонке, заполненной твердым диоксидом углерода. Во втором исследовался процесс теплопередачи от хладоносителя к твердому диоксиду углерода. Проведенное исследование по первому направлению позволило подтвердить выводы теоретических исследований и установить вид зависимости коэффициента теплоотдачи от теплового потока к колонке для реальных гранул твердого диоксида углерода, имеющих произвольную форму. Также по результатам исследований впервые удалось установить зависимость величины коэффициента теплоотдачи от глубины замораживания. По результатам второго направления исследований удалось установить зависимости, позволяющие прогнозировать процесс охлаждения хладоносителя твердым диоксидом углерода.

Выполнено математическое моделирование процесса замораживания грунтов с использованием твердого диоксида углерода в условиях, характерных для городского подземного строительства. По результатам моделирования установлен диапазон изменения часового расхода твердого диоксида углерода на замораживание грунта, а также величина его удельного расхода. Выявлена закономерность изменения температуры стенки колонки в процессе роста ледогрунтового ограждения от глубины.

В четвертой главе на основании результатов, проведенных теоретических и экспериментальных исследований, предложена новая технологическая схема замораживания грунтов колонками, заполненными твердым диоксидом углерода, при которой они соединяются в группы, таким образом, чтобы выделяющийся при сублимации углекислый газ перетекал из одной колонки в другую. Предложен новый вариант комбинированного способа замораживания, при котором испаритель включается в рассольную сеть совместно с компрессорной замораживающей станцией.

В главе предложена схема загрузки твердого диоксида углерода в колонки, позволяющая создавать ограждение переменной по высоте толщины. Обоснована методика определения параметров процесса замораживания колонками, заполненными твердым диоксидом углерода. Представлена методика определения параметров испарителя. Даны рекомендации по технологии производства работ, определены основные направления механизации погрузки твердого диоксида углерода.

Полнота изложения материалов диссертации в опубликованных работах.

Анализ диссертации и публикаций автора диссертационной работы показал, что содержание публикаций в изданиях, входящих в перечень ВАК, достаточно полно раскрывает научные положения работы.

Значимость полученных автором результатов.

Значимость научных результатов диссертационной работы состоит в развитии существующих представлений о процессе формирования ледогрунтового ограждения вокруг замораживающих колонок, заполненных твердым диоксидом углерода. На основании изучения процесса теплопередачи между твердым диоксидом углерода и стенкой замораживающей колонки, предложен механизм протекания данного процесса и даны рекомендации для его оценки. Определена зависимость коэффициента теплоотдачи в замораживающей колонке от глубины замораживания и формы гранул. Установлены параметры комбинированного способа замораживания грунтов, при котором охлаждение хладоносителя осуществляется твердым диоксидом углерода.

Практическая значимость работы состоит в разработке и внедрении «Рекомендаций по проектированию и производству работ по искусственному замораживанию грунтов с использованием твердого диоксида углерода». Данные рекомендации позволяют расширить практику применения способа замораживания грунтов с использованием твердого диоксида углерода и тем самым снизить стоимость работ по замораживанию грунтов в городском подземном строительстве.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются тем, что: теоретическое исследование построено на основе общеизвестных законов классической термодинамики; полученные теоретические зависимости подтверждаются результатами экспериментальных исследований, которые хорошо коррелируются с данными ранее опубликованных работ других авторов; использованы современные методы математического моделирования, на основе апробированного программного комплекса COMSOL Multiphysics.

Язык и стиль изложения материала.

Язык и стиль изложения материала диссертанта соответствует общепринятым в современной научно-технической литературе.

Соответствие содержания автореферата и диссертации.

Анализ реферата и диссертационной работы показал соответствие содержания автореферата содержанию диссертации.

По диссертационной работе имеются **следующие замечания**:

1. В работе отмечается, что твердый диоксид углерода может изготавливаться на специализированных заводах или непосредственно на строительной площадке. Однако, в работе не уделено должное внимание оценке влияния способа получения твердого диоксида углерода на стоимость производства работ по замораживанию грунта.
2. Математическое моделирование процесса замораживания выполнено в программном комплексе COMSOL Multiphysics, что обосновано широкой практикой его применения для моделирования процессов теплопередачи в массиве грунта. В работе не приводятся сравнительные данные о точности расчетов с применением других программных комплексов.
3. В работе рассмотрен процесс замораживания грунтов применительно к городскому подземному строительству, в то время как в названии диссертационной работы термин «городское» отсутствует.
4. При определении расхода твердого диоксида углерода в работе не учитывается возможное восприятие тепла от грунта потоком восходящего по колонке углекислого газа, образуемого в результате сублимации твердого

диоксида углерода. Это приводит к увеличению расчетного расхода твердого диоксида углерода. Диссертанту следовало бы уделить большее внимание данному вопросу.

Заключение.

Несмотря на вышеуказанные замечания диссертационная работа Николаева П.В. является законченной научной квалификационной работой, в которой изложено решение научной задачи обоснования параметров технологии замораживания грунтов с использованием твердого диоксида углерода, обеспечивающих уменьшение сроков замораживания в 2–2.5 раза и снижение стоимости замораживания малых объемов грунта до 15 % при строительстве городских подземных сооружений.

Автор диссертационной работы Николаев Петр Владимирович показал себя квалифицированным специалистом в области Наук о Земле и заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальностям 25.00.22 «Геотехнология (подземная, открытая и строительная)» и 25.00.20 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэrogазодинамика и горная теплофизика».

Заместитель заведующего кафедрой
строительства горных предприятий и
подземных сооружений Санкт-
Петербургского горного университета,
доктор технических наук, профессор



Долгий И.Е.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».
Кафедра строительства горных предприятий и подземных сооружений.
199106, г. Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, д. 2.
Телефон / Факс: (812) 328-86-25, 328-86-26. E-mail: kaf-sgp@mail.ru
Долгий Иван Емельянович

Отзыв рассмотрен на заседании кафедры строительства горных предприятий
и подземных сооружений (протокол № 14 от 21.06.2016 г.).