

Выполнение подлёдных буровзрывных работ

Григорьев Д. В.¹, аспирант (АО “ОЭК”),
Гарибин П. А.², доктор техн. наук (кафедра гидротехнических сооружений
Государственного университета морского
и речного флота имени адмирала С. О. Макарова)

Приведено описание уникальных подлёдных буровзрывных работ, проводимых при дноуглублении акватории строящегося арктического нефтеналивного терминала. Детально рассмотрена технология производства работ, применяемые материалы и механизмы. Определена необходимость учёта в нормативной базе толщины ледового укрытия над взрываемым блоком, а также мощность воды над ним.

Ключевые слова: буровзрывные работы, акватория порта, инфраструктура, лёд, зоны поражения, вода.

Performing ice drilling and blasting operations

Grigoriev D. V.¹, Postgraduate student (JSC “OЭК”),
Garibin P. A.², Doctor of Technical Sciences (Department of Hydraulic Structures
of the Admiral S. O. Makarov State University of the Sea and River Fleet)

The article describes the unique ice drilling and blasting operations carried out during the dredging of the water area of the Arctic oil terminal under construction. The technology of work production, applied materials and mechanisms are considered in detail. The necessity of taking into account in the regulatory framework the thickness of the ice shelter above the exploding block, as well as the thickness of the water above it, is determined.

Keywords: drilling and blasting operations, water area of the port, infrastructure, ice, affected areas, water.

Буровзрывные работы — совокупность производственных процессов по отделению скальных горных пород от цельного массива с помощью взрыва. В современном мире невозможно представить разработку карьера, строительство железных и автомобильных дорог, атомных станций, мостов, виадуков и небоскрёбов без значительных объёмов буровзрывных работ, о чём подробно ещё в 1958 г. указывал профессор, доктор технических наук Покровский Г. И. [1].

Как никогда становится актуальным совершенствование технологий и процессов проведения буровзрывных работ для скорейшего и наиболее экономичного достижения залегающих коренных горных пород. Совершенствуются строительные машины и механизмы. Применяются современные комбинации взрывчатых веществ. Проводится компьютерное моделирование взрывных работ, а также осуществляется анализ воздействия на окружающие сооружения.

Помимо разработки коренных пород с последующей их экскавацией отечественные специали-

сты разработали ряд перспективных технологий с применением буровзрывных работ. Так, применение буровзрывных работ для уплотнения несвязных и слабосвязных грунтов в своих работах рассматривали Герсеванов Н. М., Флорин В. А., Маслов Н. Н., Савинов О. А., Иванов П. Л., Далматов Б. И., Березанцев В. Г., Петрухин В. П. В 2018 г. вышла в свет работа Минаева О. П. [2], подробно описывающая рассматриваемую методику уплотнения.

В работе Тавризова В. М. [3] в деталях рассмотрена технология производства буровзрывных работ при проведении противозаторных мероприятий на руслах рек в период весеннего ледохода. Приведены примеры применения указанной технологии на практике.

Попытки отечественных инженеров и ученых оптимизировать взрывные работы привели к тому, что рассматривались даже варианты рыхления горных пород при помощи ядерных зарядов [4].

В гидротехнике буровзрывные работы также нашли широчайшее применение. Специалисты-взрывники и инженеры-гидротехники уже с XVI века нашли применение взрывчатым веществам в

¹ Grigdima@mail.ru

² Garibin@mail.ru

хозяйственной деятельности человека в мирное время.

Одним из первых, кто применил буровзрывные работы в гидротехнике, был польский государственный деятель дворянин Н. Тарло, который в 1548 – 1572 гг. использовал взрывчатые вещества для повышения навигационных условий р. Неман.

В отечественной истории гидротехнических работ основные первые научные теории и практики применения буровзрывных работ были сформированы русским военным инженером в области минного дела, инженер-генерал-лейтенантом Боресковым М. М., под руководством которого в 1858 г. были выполнены работы по углублению подводными взрывными работами судового канала Днепровского лимана.

В связи с техническим прогрессом в судостроении, увеличением габаритов и осадок грузовых судов в настоящее время в Российской Федерации остро встал вопрос реконструкции существующих портовых мощностей. Наиболее ярким примером в этой области является развитие Северного морского пути, которое, безусловно, стало катализатором для развития всей портовой инфраструктуры Крайнего Севера [5].

Одной из основных задач, стоящих перед строительной отраслью при осуществлении реконструкции гидротехнической инфраструктуры Крайнего Севера, является вопрос дноуглубления строящихся и существующих морских портов и акваторий. При этом зачастую под слоем извлекаемых мягких грунтов обнаруживаются коренные скальные породы, которые требуется разрабатывать и удалять.

Принимая во внимание крайне суровые климатические условия районов дноуглубления — скорость ветра, низкие температуры и толщину ледового покрова, перед строителями стоит серьезная задача по выбору современной и наиболее оптимальной технологии производства работ. Особо стесненные условия площадок строительства и существующих портовых акваторий, а также близость расположения сооружений и береговой инфраструктуры также являются критическими факторами.

Несмотря на указанные сложности, задача является выполнимой, что в настоящее время подтверждается успешно проводимыми работами по дноуглублению акватории при строительстве нового нефтеналивного терминала в Арктическом регионе Российской Федерации.

В настоящей статье подробно рассмотрена выбранная технология ведения буровзрывных работ на акватории, произведённых в 2022 г., а также рассмотрены детали производства работ.

В соответствии с проектной документацией требовалось провести дноуглубительные работы

акватории до отметки — 14,00 м в БС-77. При этом с отметки ~11,50 м в БС-77 под слоем донных илистых отложений начинался слой коренных пород, представленный щебенистым грунтом и песчаником тёмно-серым, известковым, прочным и очень прочным, слаботрещиноватым. Модуль деформации $E = \sim 20\,000$ МПа.

Район проведения работ климатически относится [6]:

– к VII району по скоростному напору ветра (наибольшая скорость ветра 45 м/с);

– к IV снеговому району (нормативное значение веса снегового покрова 2000 Па).

При этом:

– расчётная температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,98 — минус 44 °С;

– строительно-климатическая зона — суровые условия;

– толщина ровного льда (без учёта возможной торосистости) достигает 2 м.

Изначально рассматривались два варианта проведения буровзрывных работ: со льда и с воды. Принимая во внимание значительную толщину ледового покрова в зимний период, а также стоимость аренды морского флота буровых установок было принято решение о целесообразности проведения работ со льда.

До начала производства работ на рассматриваемом участке акватории посредством бурения контрольных лунок вёлся постоянный мониторинг толщины ледового поля. На момент начала проведения буровзрывных работ осреднённая толщина ровного льда составляла $1,65 \pm 0,01$ м. При этом возможная неравномерность формирования ледяного покрова не учитывалась по причине невозможности проведения обследования подводной части.

Также для последующей оценки влияния сопротивления ледового поля непосредственно перед взрывом были взяты четыре образца (кубики) льда размерами $\sim 100 \times 100 \times 100$ мм.

В строительной лаборатории на площадке строительства были проведены испытания по определению прочности образцов на сжатие. В лабораторных условиях получены следующие данные:

– образец № 1 разрушился при давлении $0,2 \pm 0,01$ МПа;

– образец № 2 разрушился при давлении $0,35 \pm 0,01$ МПа;

– образец № 3 разрушился при давлении $0,2 \pm 0,01$ МПа;

– образец № 4 разрушился при давлении $0,3 \pm 0,01$ МПа.

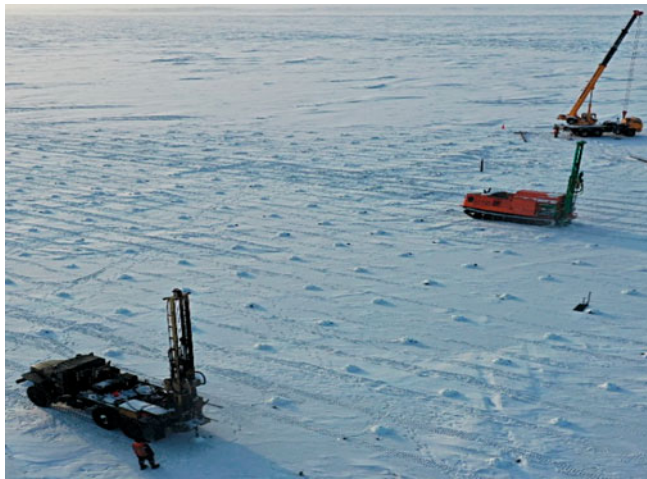


Рис. 1. Буровые установки на льду

Таким образом, по результатам лабораторных испытаний образцов на одноосное сжатие принято, что среднее значение прочности льда составляет $0,26 \pm 0,01$ МПа.

Согласно требованиям, рекомендациям нормативных документов [7] и общепринятым технологиям [8 – 12] буровзрывные работы выполнялись с помощью скважинных зарядов.

Для производства подводных буровзрывных работ решено было использовать взрывчатое вещество водостойкого типа — гранулол (плотностью гранул $1,48 - 1,54$ г/см³ и размером гранул 3 – 5 мм).

Проектом производства буровзрывных работ предусматривалось бурение скважин при помощи буровых установок УРБ-2 и “Sandvik Leopard” с бу-

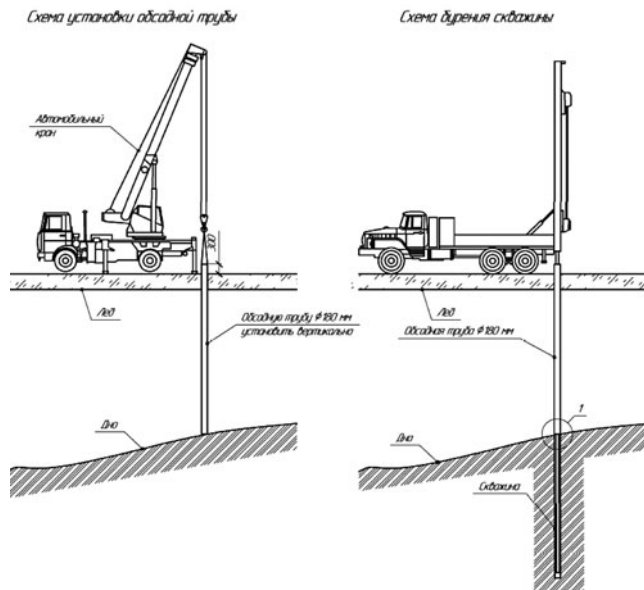


Рис. 2. Схема технологии проведения буровых работ

ровыми коронками диаметром 165 мм с сеткой скважин 4×4 м через обсадную трубу 180 мм, опускаемую на дно через пробуренную лунку. Схема производства работ представлена на рис. 1, 2, 3.

После окончания бурения скважины, после извлечения бурового инструмента, специалистом геодезической службы при помощи рулетки Р20Н2Г с грузом проводится замер глубины каждой скважины и после сопоставления фактической отметки льда в месте бурения определяется отметка низа скважины и подтверждается достижение требуемой проектной отметки. В случае недостижения

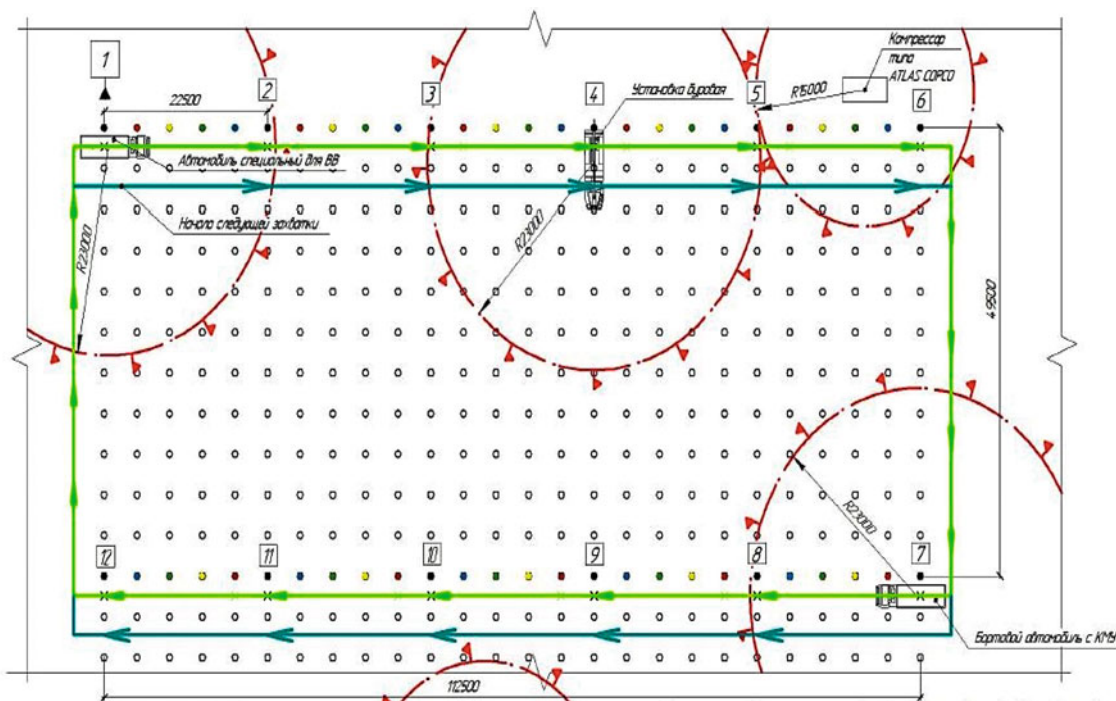


Рис. 3. План производства работ по бурению скважин с указанием безопасных радиусов расположения техники на льду

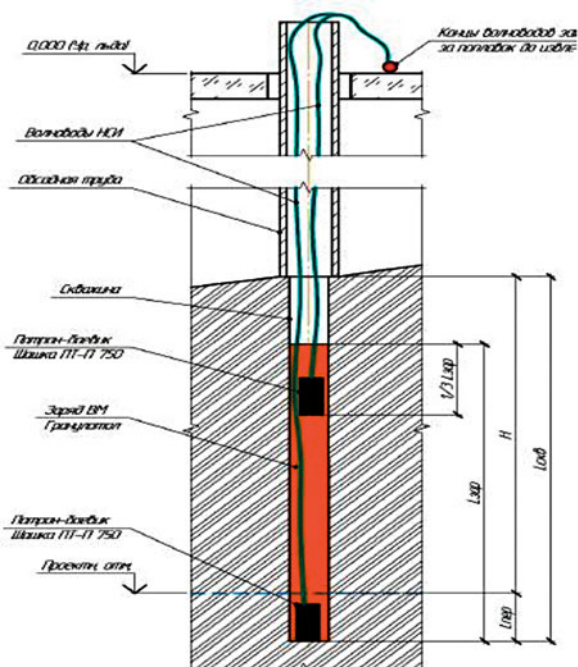


Рис. 4. Схема заряда

проектной отметки происходит повторное погружение инструмента и добуривание скважины. Допустимая величина перебура при этом составляет +0,5 м.

Следующим этапом после устройства буровых скважин является закладка взрывчатого вещества.

Заряжание скважин производится вручную. При заряжании образование пробок (заторов) исключается путём засыпки чешуизированного гранулола потоком, сечение которого составляет не более 20 % от диаметра скважины. Гранулол засыпается в скважину из мешка, через воронку, с се-

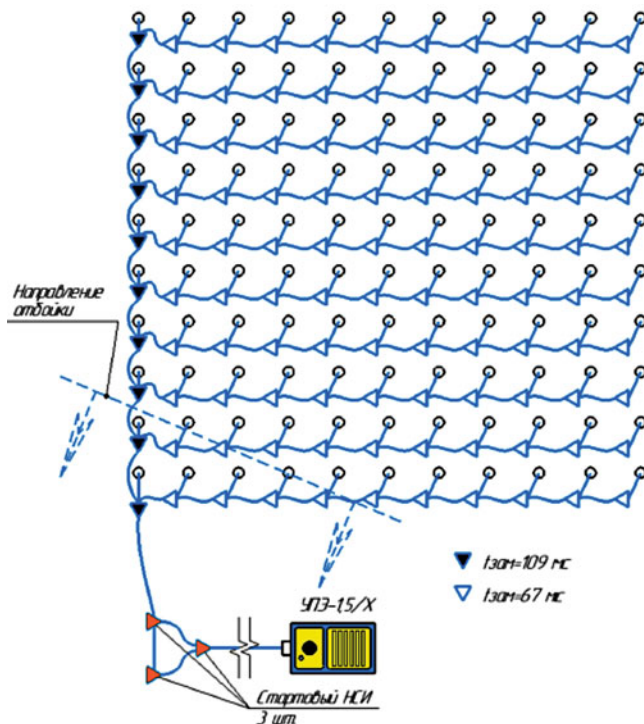


Рис. 5. Схема монтажа взрывной сети

чением дучки 35 мм, с диаметром горловины не менее 500 мм для исключения просыпи. Уровень засыпки гранулола контролируется рулеткой Р20Н2Г с грузом. Схема заряда приведена на рис. 4.

Инициирование скважинного заряда осуществляется дублированием с применением двух боевиков: первый — в донной части заряда (до засыпки гранулола); второй — в верхней части заряда, на глубине 1/3 от длины заряда (устанавливается в процессе засыпки гранулола). На поверхности льда надёжно фиксируется волновод. К волноводам



Рис. 6. Момент подлёдного взрыва

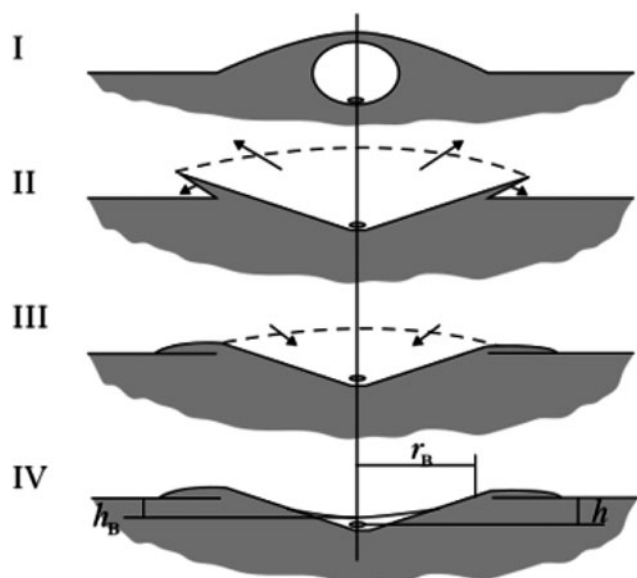


Рис. 7. Этапы детонации

от боевиков надёжно крепится поплавок (пустая закрытая пластиковая бутылка) для исключения затопления волновода.

Далее производится монтаж взрывной сети (рис. 5).

Монтаж взрывной сети является последним этапом перед непосредственным детонированием заложенных зарядов. Производится подача боевого сигнала. С целью отпугивания представителей морской фауны производится подрыв шашки. Затем выполняется основная детонация (рис. 6).

Более подробно процедура подрыва грунта на открытом воздухе приведена в учебном пособии [13]. Однако в нашем случае есть два значительных отличия. В момент подрыва заряда (рис. 7) возникает газовый пузырь, внутри которого давление значительно выше, чем в окружающей среде.

Расширяясь, газы образуют в воде ударную волну. Окружающая среда, в которую происходит выход ударной волны и выброс разрушенной породы, имеет более плотную (в ~ 770 раз) среду, чем воздух, так как плотность воздуха (при давлении 101,325 кПа при 20 °С) составляет 0,001205 г/см³, а плотность воды — 0,998203 г/см³. Вторым отличием от обычного взрыва в нашем случае является слой значительного ледового покрытия.

Благодаря наличию двух перечисленных факторов также визуально изменилась конечная стадия взрыва. “Султан” воды, образуемый на свободной поверхности, отсутствовал, а ледовое покрытие сработало естественным укрытием, препятствующим разлёту разрыхлённого грунта [14].

Выводы

1. Несмотря на значительную удалённость объектов арктической портовой инфраструктуры, Российская Федерация обладает необходимыми технологиями и механизмами для проведения дноуглубительных работ в столь удалённых районах.

2. Опыт, приобретённый при производстве рассматриваемых буровзрывных работ, безусловно, окажется полезным на аналогичных проектах, активно реализуемых в настоящее время в регионах Крайнего Севера.

3. Необходимо более подробно рассмотреть вопрос положительного влияния толщи воды и естественного ледового покрова. На нормативном уровне закрепить возможность их учёта при подготовке проектов буровзрывных работ на акваториях.

Список литературы

1. Покровский Г. И. Взрыв и его действие // Научно-популярная библиотека солдата и матроса. 1954.
2. Минаев О. П. Основы и методы уплотнения грунтов основания для возведения зданий и сооружений: Автореф. — М.: Рут (МИИТ), 2018. — 37 с.
3. Тавризов В. М. Ледокольные взрывные работы. — М.: Недра, 1967. — 144 с.
4. Укрощение ядра. Страницы истории ядерного оружия и ядерной инфраструктуры СССР / И. А. Андрюшин, А. К. Чернышев, Ю. А. Юдин. — Саров: Типография “Красный Октябрь”, 2003. — 481 с.
5. Григорьев Д. В., Гарибин П. А. Проблемы реконструкции и развития портовой инфраструктуры Северного морского пути // Перспективы развития транспортного комплекса. — Минск: Белорусский научно-исследовательский институт транспорта “Транстехника”, 2022. — 290 с.
6. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия: Утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 3 декабря 2016 г. № 891(введен в действие с 4 июня 2017 г.).
7. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности “Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения”: Приказ Ростехнадзора от 03.12.2020 года № 494.
8. Крюков Г. М. Физика разрушения горных пород при бурении и взрывании: Учеб. пособие для студентов вузов. — М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2004.
9. Технические правила ведения ВР на дневной поверхности. — 5-е изд. — М.: Недра, 1972. — 240 с.
10. Технические правила ведения взрывных работ в энергетическом строительстве. — 3-е изд. — М.: ООО “Гидроспецпроект”, 1997. — 232 с.
11. Кутузов Б. Н. Проектирование взрывных работ. — М.: Недра, 1974. — 327с.
12. Эткин М. Б., Азаркович А. Е. Взрывные работы в энергетическом и промышленном строительстве. — М.: МГГУ, 2004. — 317 с.
13. Тотай А. В. Теория горения и взрыва. — Student org. 2018.
14. Григорьев Д. В., Гарибин П. А. Определение зоны поражения от разлета осколков при проведении подледных буровзрывных работ в акватории // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. 2022. Т. 305. — 43 с.