

СТРОИТЕЛЬСТВО ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ / INFRASTRUCTURE CONSTRUCTION

DOI: <https://doi.org/10.18454/mca.2019.14.1>

УКРЕПЛЕНИЕ ГРУНТОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «УТРЕННЕЕ» МЕТОДОМ ИНЪЕКТИРОВАНИЯ С ПОВЕРХНОСТИ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА ДЛЯ ПОСТАНОВКИ МАССИВОВ-ГИГАНТОВ

Научная статья

Дерябин А.С.^{1,*}, Шарапов Д.А.²

²ORCID: 0000-0001-8650-2375; SPIN-код: 4841-6122

^{1,2}Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

* Корреспондирующий автор (garsiamarkes111[at]gmail.com)

Аннотация

Данная статья посвящена вопросам укрепления грунтов оградительных сооружений морского порта вблизи месторождения «Утреннее», располагающегося на территории Крайнего Севера России. Оградительные сооружения морского порта представлены массивами-гигантами, обладающими большой массой. Слабые грунты шельфа не обладают достаточной несущей способностью для размещения массивов-гигантов без подготовительных мероприятий, но условия Крайнего Севера накладывают ряд ограничений на выбор способа проведения этих мероприятий.

Ключевые слова: слабые грунты, массивы-гиганты, инъектирование грунта, несущая способность ледяного покрова.

SOIL STABILIZATION OF “UTRENNEE” DEPOSIT BY INJECTION OF ICE COVER FORM SURFACE FOR SETTING GIANT MASSIFES

Research article

Deryabin A.S.^{1,*}, Sharapov D.A.²

²ORCID: 0000-0001-8650-2375; SPIN-код: 4841-6122

^{1,2} Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

* Corresponding author (garsiamarkes111[at]gmail.com)

Abstract

This article is devoted to the issues of soil stabilization for the fencing structures of the seaport near the “Utrennee” deposit, located in the Far North of Russia. The enclosures of the seaport are represented by giant arrays of large mass. Weak soils of the shelf do not have sufficient capacity to accommodate giant arrays without preparatory measures, but the conditions of the Extreme North impose a number of restrictions on the choice of the method for conducting these measures.

Keywords: weak soils, giants-massifs, soil injection, bearing capacity of ice cover.

Введение

Актуальность развития месторождений нефти и газа Крайнего Севера связана в первую очередь с падением добычи углеводородного сырья в традиционных центрах добычи – в Западной Сибири [1]. Государство планирует наращивать объемы добычи углеводородов на месторождениях Крайнего Севера. Это, в свою очередь, стимулирует развитие транспортной инфраструктуры региона, в том числе морского транспорта. Строительство в условиях Арктики сопряжено с многочисленными трудностями. Морское дно представлено грунтами, не обладающими достаточными характеристиками для размещения на нем сооружений, без специальной подготовки грунта или его замены.

Оградительные сооружения защищают акваторию портов от воздействия льда, волнения, течения и наносов. Они могут быть одними из наиболее дорогостоящих конструкций порта.

Массивы-гиганты, широко применяются для ограждающих сооружений. Они изготавливаются на специально подготовленных площадках и буксируются на место установки. Эти сооружения имеют огромную массу и могут воспринимать значительные нагрузки. Все это требует высокой устойчивости основания массива-гиганта.

В то же время, погодные условия местоположения морского порта характеризуются продолжительным ледовым периодом и низкими среднегодовыми температурами воздуха.

Методы и принципы исследования

Одним из способов укрепления слабых грунтов является технология струйной цементации – jet grouting. Суть данной технологии заключается в разрушении грунта энергией высоконапорной струи цементного раствора и одновременном перемешивании грунта с цементным раствором. В результате твердения образуется геотехнический массив «грунтоцемент» – материал, обладающий высокой прочностью и малой сжимаемостью [2].

В общем случае, технологический процесс инъектирования грунта состоит из двух этапов – прямого и обратного хода. Процесс прямого хода заключается в бурении лидерной скважины до проектной отметки. В процессе обратного

хода в скважину нагнетается цементный раствор под большим давлением, буровая колонна, вращаясь, поднимается на поверхность. Работы на удалении от береговой линии накладывают определенные сложности. Бурильные установки во время работы должны располагаться точно над местом бурения. Бурение с судна или со дна либо невозможно, либо приводит к значительному удорожанию работ. На сегодняшний день имеется большой выбор техники на подвижном основании, производящей струйную цементацию грунтов. Также имеется методика и опыт усиления ледового покрова методами армированного и неармированного намораживания для работы техники на его поверхности. Таким образом, предлагается проводить процесс бурения во время ледостава непосредственно с поверхности ледового покрова.

Грунты вблизи месторождения «Утреннее» представлены суглинистым и глинистым илом, пылеватым легким суглинком. Мощность слоя слабых грунтов составляет около 30 м. Глубина в районе предполагаемой постановки массивов-гигантов составляет 10 м. Таким образом необходимо применять бурильные установки, способные проводить работы на отметке - 40 м. Техника, способная проводить работы на необходимой отметке существует. Для установки техники на лед, нужно определить параметры льда, способного выдержать вес данной техники с учетом ее габаритов.

Несущая способность ледяного покрова зависит от его толщины и прочности, которая в свою очередь зависит от структуры льда, температуры воздуха, наличия трещин, времени нахождения оборудования на льду [3]. Вода в Обской губе опреснена в значительной мере, а пресный лед имеет более высокие прочностные характеристики, нежели морской [4]. Температурный режим рассматриваемой территории характеризуется следующим образом: суровая продолжительная зима, холодное лето, короткие переходные сезоны (весна и осень), поздние весенние и ранние осенние заморозки, короткий безморозный период. Среднегодовая температура воздуха составляет: -10,4 °С. В среднем продолжительность ледового периода составляет 290 суток. Толщина льда в районе обской губы составляет 1,6-1,8 м. Данные характеристики о возможности проведения работ с поверхности ледового покрова при необходимой толщине льда.

Существуют методики расчета несущей способности ледового покрова и способы его укрепления [3],[8],[9]. Для начала необходимо выяснить несущую способность неукрепленного льда в районе предполагаемого строительства. Ориентировочный вес бурильной установки с функцией струйной цементации составляет 25 т. Согласно приложению к документу ВСН 010-88[3], расчетная толщина льда, необходимая для размещения оборудования на ледяном покрове, может быть определена по формуле:

$$h_p = 8 \left(\frac{nP}{\sigma_p(B_1+B_2)} \right)^{4/5} K. \quad (1)$$

где h_p – расчетная толщина прозрачного льда кристаллической структуры, м;
 n – запас прочности, равный 2;
 P – масса оборудования, установленного на лед;
 σ – временное сопротивление льда на растяжение, т/м (среднее значение 140 т/м); B_1, B_2 – линейные размеры площади опоры оборудования, м; K – температурный коэффициент, учитывающий среднесуточную температуру воздуха за последние трое суток, принят равным 1, см. табл. 1)

Таблица 1 – Определение температурного коэффициента K

Средняя температура воздуха за 3 суток	- 10 °С и ниже	- 5 °С	0 °С	Выше 0 °С
Температурный коэффициент K	1,0	1,1	1,4	1,5 и выше

Согласно формуле 1, толщина льда, необходимая для установки оборудования массой 25 т составляет 0,82 м. Проведении работ по бурению, связано с передвижением массивной техники по поверхности льда, нарушением целостности ледового покрова. Данные факторы существенно влияют на несущую способность ледяного покрова.

Многочисленные опыты доказали, что сопротивление льда разрушению зависит от его структуры, температуры, пористости, наличия примесей и др. Наличие снежных включений в ледяном массиве значительно влияет на прочностные характеристики. Нагрузка, приводящая к разрушению образца с примесями, может быть в 2-3 раза меньше нагрузки, разрушающей образец чистого льда. Динамическое воздействие передвигающейся техники так же способствует разрушению льда – при динамическом воздействии нагрузки, предел прочности в 3-4 раза меньше, чем при статическом нагружении [5]. Таким образом, необходимо увеличение расчетной толщины льда.

Согласно ВСН 010-88 рекомендуется увеличить толщину не менее, чем в 2 раза. Таким образом необходимая толщина составит 1,64 м. При увеличении толщины намороженного льда, коэффициент увеличения грузоподъемности естественного ледяного покрова растет непропорционально. Данная зависимость отражена в таблице 2. Следовательно, увеличение толщины в 2 раза обеспечивает достаточно высокий запас прочности.

Таблица 2 – Зависимость увеличения грузоподъемности естественного ледового покрова от относительной толщины намороженного льда

Отношение толщины намороженного льда к толщине естественного льда	Коэффициент увеличения грузоподъемности естественного ледяного покрова
0	1,0
0,2	1,3
0,4	1,7
0,6	2,0
0,8	2,4
1,0	2,9

Существуют специальные технологии намораживания льда. Необходимо отметить, что при увеличении толщины льда наморозкой, новые слои получаются более прочными. Существуют методы армированного и неармированного намораживания льда [6]. При армированном способе укрепления льда перед намораживанием на поверхности прокладывается георешетка, либо слой щебня. Поскольку площадь проведения бурильных работ достаточно велика, во избежание значительного удорожания работ, предлагается использовать неармированное намораживание.

Неармированное намораживание производится методом льдодождевания с помощью передвижных установок типа «Град», см. рис. 1. Масса подобной техники составляет до 5 т, следовательно, производство работ на льду толщиной 1,64 м возможно. Метод льдодождевания основан на интенсивном промораживании капель водяной струи при температуре $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже. При правильно отрегулированных установках 55% капель успевают замерзнуть в воздухе и падает в виде градинок (фирна), а остальная часть в виде воды заполняет пустоты между градинками и обеспечивает создание ледяного монолита плотностью до $0,9\text{ г/см}^3$ [7].

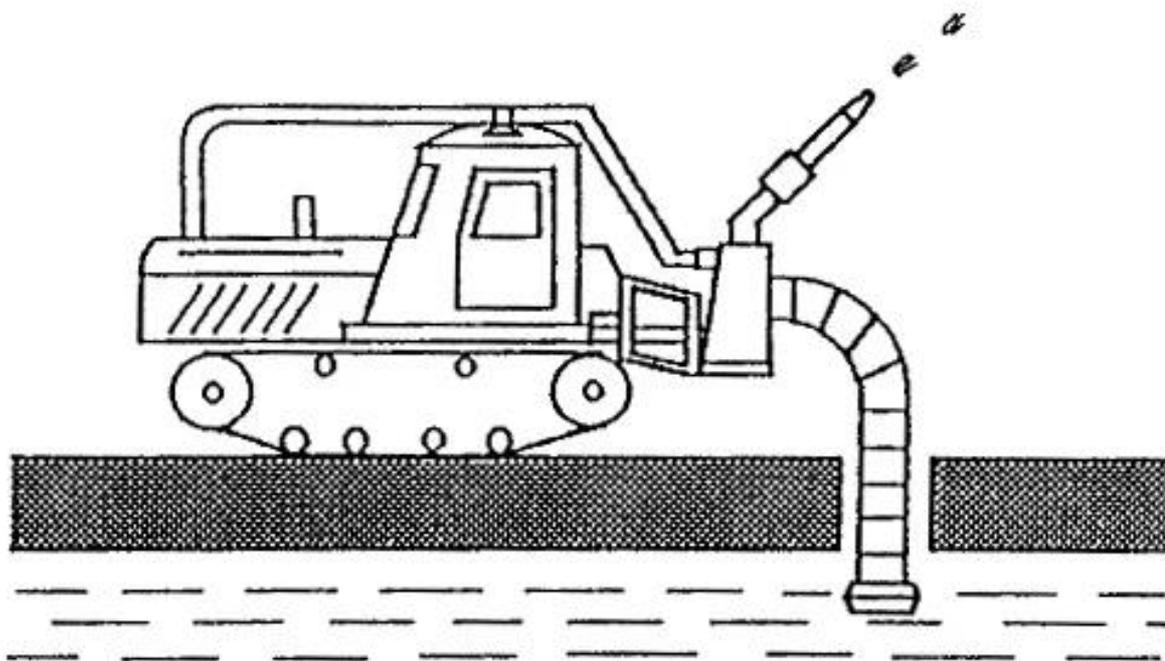


Рис.1 – Передвижная установка типа «Град»

Время, необходимое для намораживания расчетной толщины льда послойным наливом определяется по табл. 2.

Таблица 2 – Толщина намораживаемого льда в зависимости от параметров окружающего воздуха [7].

Скорость ветра, м/с	Толщина льда, образующегося в течении 1 часа работы установки при температуре воздуха, °C						
	-4	-5	-10	-15	-20	-25	-30
0	0	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,0
1	0	0	0,7	1,2	1,8	2,5	3,0
3	0	0,1	0,9	1,5	2,5	3,5	4,5
5	0,1	0,3	1,1	2,0	3,0	4,0	5,5
7	0,3	0,5	1,5	2,5	3,5	5,0	6,5
10	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	6,0	6,0

Основные результаты

Таким образом, при подготовленном к производству работ ледяном покрове, возможно использование бурильных установок для укрепления грунтов в месте планируемой установки массивов-гигантов. Типовое сечение района работ приведено на рис. 2.

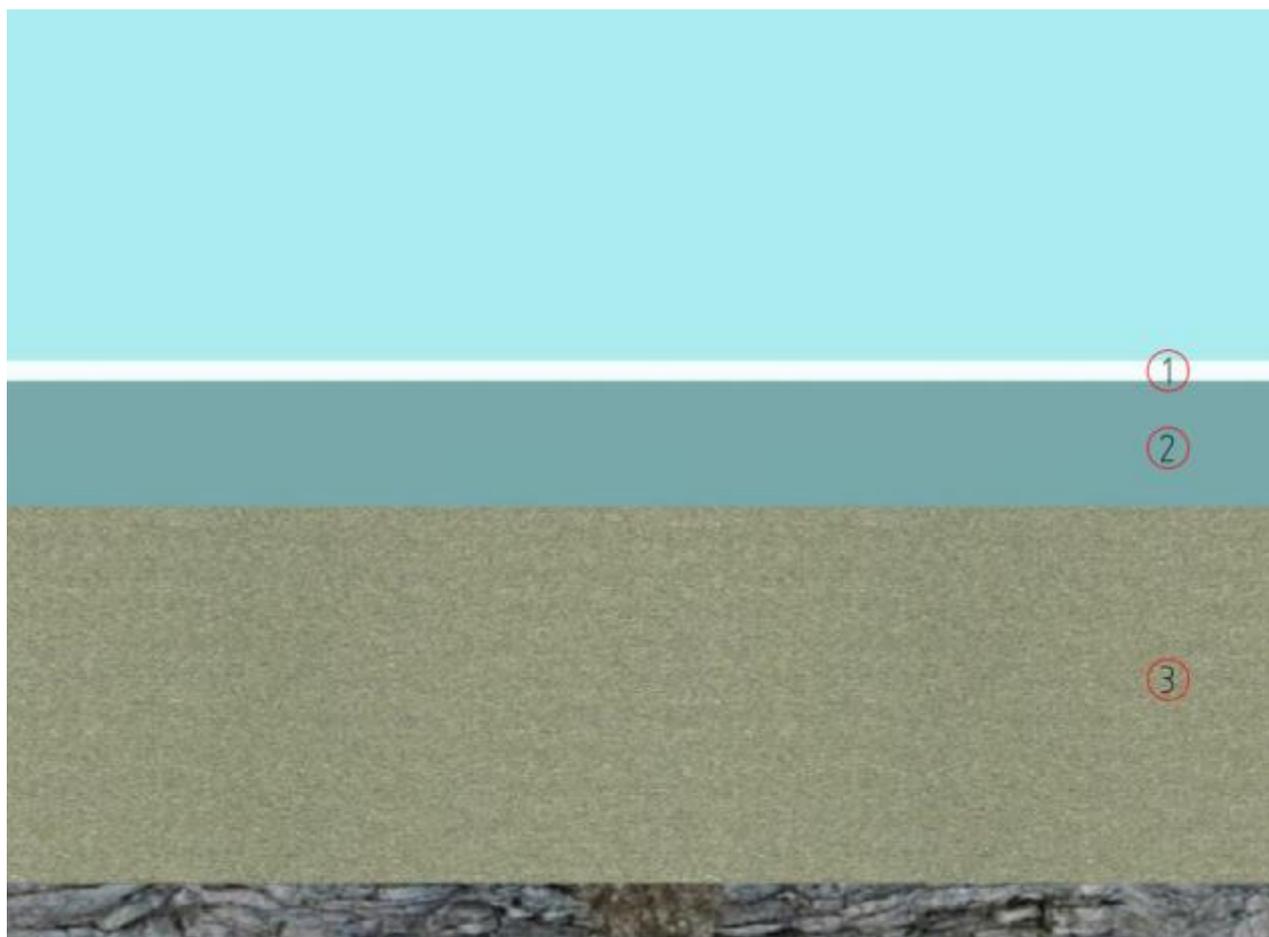


Рис.2 – Типовое сечение района

1) ледовый покров толщиной 1,6-2,0 м; 2) толща воды, 10м; 3) слой слабых грунтов мощностью 30 м.

Схема производства работ может быть заранее размечена, во льду пробурены скважины. Поскольку диаметр отверстия для бура при технологии струйной цементации jet grouting составляет не более 150 мм, а расстояние между отверстиями – около 2,0 м, такая перфорация не нанесет существенного ущерба прочностным характеристикам льда [10]. Схема производства работ изображена на рис. 3.

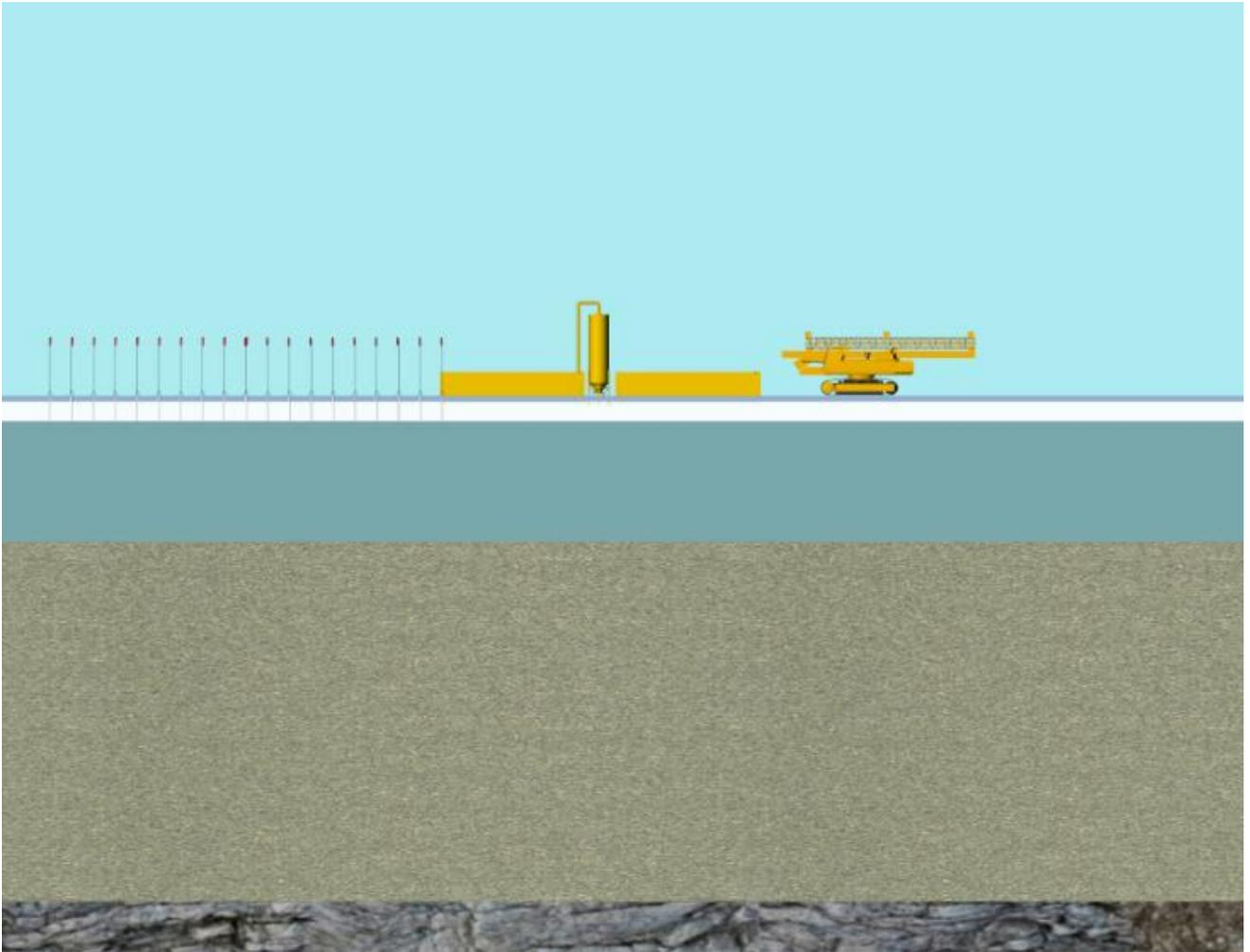


Рис.3 – Схема производства работ

На последующих рисунках изображены этапы бурения. На рис.4 иллюстрируется начало выполнения струйной цементации донного грунта. На рис.5 отражено завершение цементации донного грунта, показан образованный геотехнический массив.

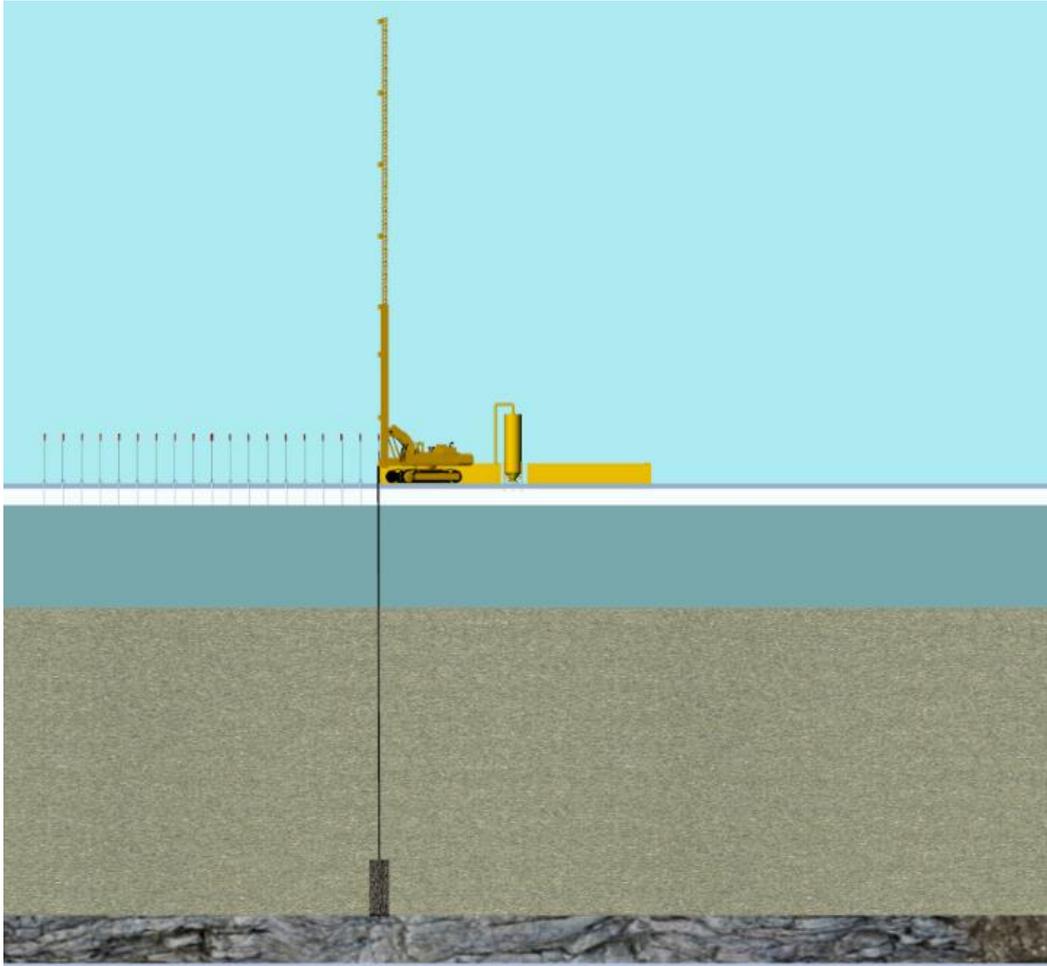


Рис.4 – Начало работ по цементации грунта

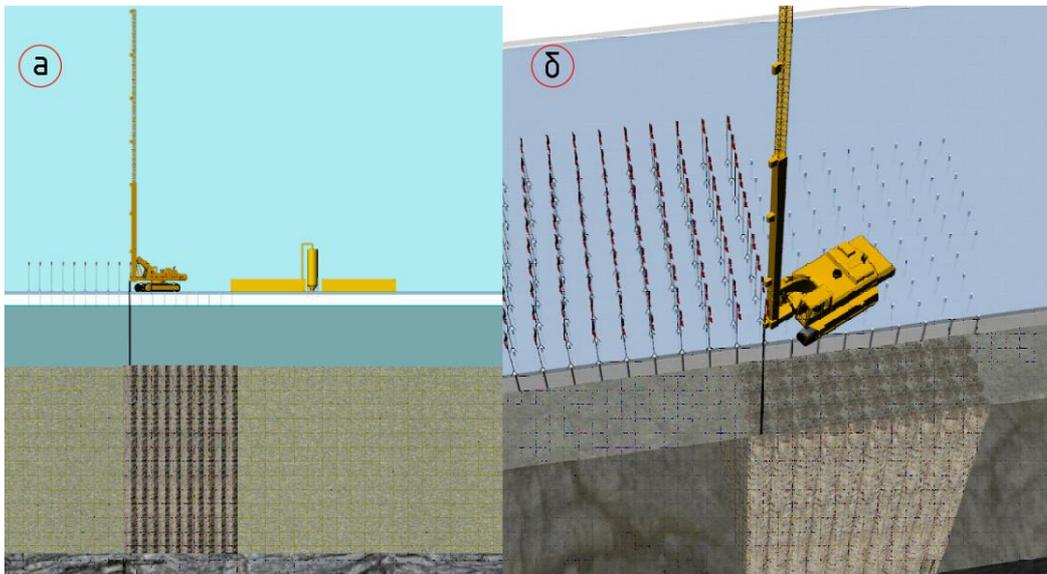


Рис.5 – Завершающий этап производства цементации

а) Завершение цементации на типовом сечении района; б) Иллюстрация геотехнического массива.

Заключение

В результате проведенных исследований, можно сделать следующие выводы:

1. Существующие технологии укрепления грунтов позволяют создать геотехнический массив в основании гидротехнического сооружения, способный нести заданную нагрузку;

2. Для укрепления грунтов возможно использование техники, способной вести работы с поверхности ледяного покрова при обеспечении достаточной несущей способности этого покрова. Существующие методы намораживания льда, позволяют увеличить несущую способность ледяного поля до необходимых параметров.

3. Для укрепления грунтов в заданных условиях толщина льда должна быть 1,64 м. Укрепление можно проводить техникой массой 25 т в течении 290 суток.

Список литературы / References

1. Бессонова Т.Н. Эволюция освоения Северных сырьевых территорий / Т.Н. Бессонова // Вестник Югорского Государственного Университета. - 2016. – Выпуск 4 (43). – С. 41-48.
2. Тер-Мартirosян З.Г., Струнин П.В. Усиление слабых грунтов в основании фундаментных плит с использованием технологии струйной цементации грунтов / З.Г. Тер-Мартirosян, П.В. Струнин // Вестник МГСУ. - 2010. – 4 (2010). – С. 310-315.
3. ВСН 010-88. Строительство магистральных трубопроводов. Подводные переходы // Министерство предприятий нефтяной и газовой промышленности. - 1988.
4. Совершаев В.А. Динамика морского оледенения и формирование береговых линий на шельфе Арктических морей / В.А. Совершаев // Вестник МГУ. – 1983. - Серия География, 1983. – С. 88-90.
5. Карташкин Б.Д. Экспериментальные исследования физико- механических свойств льда / Б.Д. Карташкин // р. ЦАГИ. – 1947. - №607. – С. 110-121.
6. Якименко О.В., Сиротюк В.В. Армирование ледовых переправ / О.В. Якименко, В.В. Сиротюк // ФГБОУ ВПО «СибАДИ». Криосфера Земли. - 2014. – Т. 18. - С. 88-91.
7. ОДН 218.010-98. Инструкция по проектированию, строительству и эксплуатации ледовых переправ // ТюмИСИ. - 2009.
8. Sharapov D., Shkhinek K., Delvalls T.A. Ice collars, Development and effects / D. Sharapov, K. Shkhinek, T.A. Delvalls // Ocean Engineering. – 2016. – vol 115 (2016). - С 189–195.
9. Шарапов Д.А., Шхинек К.Н. Нагрузки от льда на вмержшие вертикальные стальные сооружения при горизонтальных подвижках ледового покрова. / Д.А. Шарапов, К.Н. Шхинек // Известия ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева. - 2016. - Т. 282. С.99-107.
10. Лавров В.В. Деформация и прочность льда / В.В. Лавров // Гидрометеорологическое издательство, Ленинград. - 1969. С. 20-250.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bessonova T.N. Evolyutsiya osvoyeniya Severnykh syr'yevykh territorii [Evolution of Development of the Northern Raw Materials Territories] / T.N. Bessonova // Vestnik Yugorskogo Gosudarstvennogo Universiteta [Bulletin of the Ugra State University]. – 2016. – Issue 4 (43). – P. 41-48. [In Russian]
2. Ter-Martirosyan Z.G., Strunin P.V. Usileniye slabykh gruntov v osnovanii fundamentnykh плит s ispol'zovaniyem tekhnologii struynoi tsementatsii gruntov [Strengthening of Weak Soils in Foundation of Base Plates Using Technology of Jet Grouting of Soils] / Z.G. Ter-Martirosyan, P.V. Strunin // Bulletin of MSSU. – 2010. – 4 (2010). – P. 310-315. [In Russian]
3. VSN 010-88. Stroitel'stvo magistral'nykh truboprovodov. Podvodnyye perekhody [Construction of Trunk Pipelines. Underwater Crossings] // Ministerstvo predpriyatii neftyanoi i gazovoi promyshlennosti [Ministry of enterprises of oil and gas industry]. – 1988. [In Russian]
4. Sovereign. A. Dinamika morskogo oledeneniya i formirovaniye beregovykh liniy na shel'fe Arkticheskikh morey [Dynamics of marine glaciation and the formation of coastlines on the shelf of the Arctic seas] / V.A. Sovershaft // MSU Bulletin. – 1983. – Geography Series, 1983. – P. 88-90. [In Russian]
5. Kartashkin B.D. Eksperimental'nyye issledovaniya fiziko- mekhanicheskikh svoystv l'da [Experimental Studies of Physicomechanical Properties of Ice] / B.D. Kartashkin // R. TsAGI. – 1947. – No.607. – P. 110-121. [In Russian]
6. Yakimenko O.V., Sirotyuk V.V. Armirovaniye ledovykh pereprav [Reinforcement of Ice Crossings] / O.V. Yakimenko, V.V. Sirotyuk // FSBEI of HE SibADI. Earth cryosphere. – 2014. – V. 18. – P. 88-91. [In Russian]
7. ODN 218.010-98. Instruksiya po proyektirovaniyu, stroitel'stvu i ekspluatatsii ledovykh pereprav [Instructions for Design, Construction and Operation of Ice Crossings] // TyumISI. – 2009. [In Russian]
8. Sharapov D., Shkhinek K., Delvalls T.A. Ice collars, Development and effects / D. Sharapov, K. Shkhinek, T.A. Delvalls // Ocean Engineering. – 2016. – vol 115 (2016). – P. 189–195.
9. Sharapov D.A., Shkhinek K.N. Nagruzki ot l'da na vmержshiyе vertikal'nyye stal'nyye sooruzheniya pri gorizonta'l'nykh podvizhках ledovogo pokrova [Ice Loads on Frozen Vertical Steel Structures During Horizontal Movements of the Ice Cover] / D.A. Sharapov, K.N. Shkhinek // Izvestiya VNIIG im. B.Ye.Vedeneyeva [News of All-Russian Vedeneyev Hydraulic Engineering Research Institute] – 2016. – V. 282. – P. 99-107. [In Russian]
10. Lavrov V.V. Deformatsiya i prochnost' l'da [Deformation and Strength of Ice] / V.V. Lavrov // Gidrometeorologicheskoye izdatel'stvo, Leningrad [Hydrometeorological Publishing House, Leningrad]. – 1969. – P. 20-250. [In Russian]