

Особенности строительства фундаментов в вечномёрзлых грунтах

А.В. Макаров, А.В. Журавлев, В.Ю. Тяп

Волгоградский государственный технический университет

Аннотация: В статье дается анализ природных условий северных широт России, где сосредоточены главные запасы ископаемых. Показано, что добыча полезных ископаемых требует развития дорожной сети и искусственных сооружений. Отмечено, что наиболее сложным этапом строительства мостовых сооружений является устройство фундаментов. Рассмотрены виды, используемых в северных широтах фундаментов, и отмечены их положительные и отрицательные качества. В работе подчеркивается актуальность проблемы поддержания стабильности вечномёрзлых грунтов при сезонном оттаивании и потери их несущей способности. Методы поддержания грунта в твердом состоянии могут быть естественные и искусственные. Изложены методы термостабилизации грунтов, а также техника и оборудование, применяющиеся в этих условиях.

Ключевые слова: вечная мерзлота, дорожная сеть, мост, пенополистирол, пролетное строение, свайная опора, фундамент, теплоизоляционный экран, термостабилизатор.

Россия на весь мир славится богатством полезных ископаемых, значительная часть которых залегает в северных районах страны. Во время освоения северных территорий были открыты богатые месторождения угля, полиметаллических руд и построены новые города, такие как Воркута, Салехард, Норильск, порты Северного морского пути. Проблемы освоения арктических территорий имеются также у таких стран как США и Канада [1].

В наше время на севере открыты и осваиваются месторождения углеводородов. Добыча полезных ископаемых требует создания транспортной инфраструктуры. Там, где строятся дороги, не только добываются полезные ископаемые, но и развивается весь регион. Однако развитие транспортных коммуникаций осложнено тяжелыми геокриологическими условиями: наличием вечной мерзлоты с сезонным оттаиванием, термокарстов, марей и образованием наледей. Северные районы характеризуются резко-континентальным климатом: короткое лето, которое длится с середины июня до середины августа, большое количество осадков, туманы, а также низкие температуры в холодный период. Освоение

высокоширотных территорий общая для всех стран бассейна Ледовитого океана [2].

Геология представлена влагонасыщенными, пылеватыми и лёссовыми грунтами с низкой несущей способностью, часто встречается болотистая местность с ледяным водоупором. Обычно используемые для строительства транспортных сооружений крупнообломочные и гравийно-песчаные грунты отсутствуют. Завоз этих материалов в регионы нефти-газодобычи сильно удорожает строительство.

Развитие дорожной сети в этом регионе из-за пересеченности местности и обилия водотоков, пример приведен на рисунке 1, сопряжено со строительством мостовых сооружений: мостовых переходов через малые и средние реки, мостов в населенных пунктах.



Рис. 1. Северные районы России.

Надежная и устойчивая эксплуатация транспортных сооружений в условиях северных широт зависит от ориентированного на природные условия проектирования и строительства

искусственных сооружений. Экономическая эффективность строительства мостов в отдаленных регионах требует использования металлических конструкций, как наиболее легких и удобных при их транспортировке. Металлические, а особенно биметаллические конструкции [3] хорошо зарекомендовали себя при использовании в северных районах. Большой температурный градиент требует очень внимательного отношения при выборе опорных частей мостов [4]. Они должны обеспечивать реальные

горизонтальные и угловые смещения торцов пролетных строений в условиях низких температур [5].

Наиболее сложными этапами строительства в суровых климатических условиях являются земляные работы и возведение фундаментов. Фундамент важная часть мостового сооружения. От его работы зависит надежность функционирования всего моста. Осадки и просадки фундаментов ведут к образованию трещин, отклонению опор от вертикали и в крайних случаях к потере устойчивости и обрушению опор [6]. Фундаменты должны быть прочными, устойчивыми, легкими и не материалоемкими, так как залегающие грунты обычно слабые.

В высоких широтах в условиях мерзлых грунтов следует применять следующие виды фундаментов: фундаменты мелкого заложения, свайные опоры, а для средних мостов свайные фундаменты.

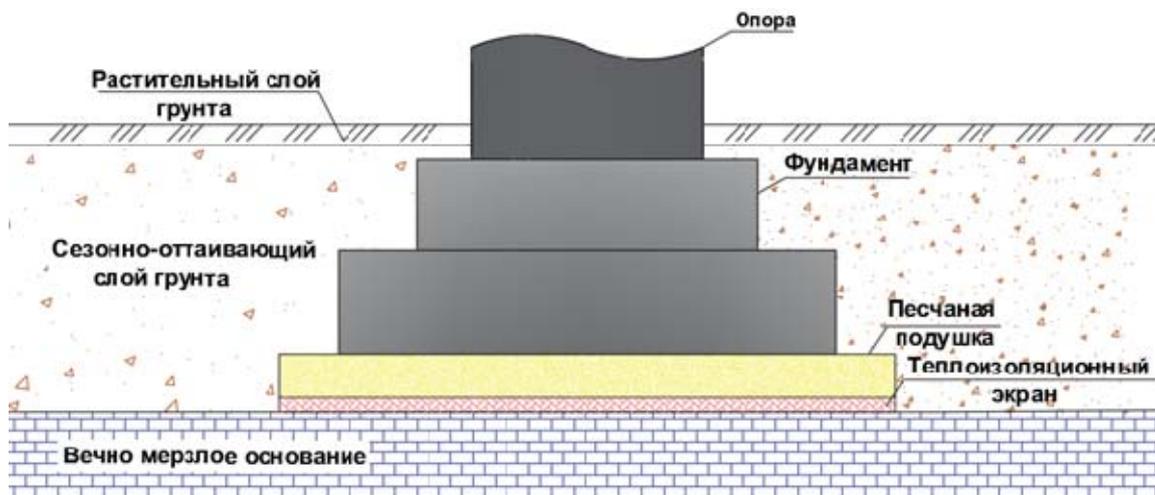


Рис. 2. Фундамент мелкого заложения.

Фундаменты мелкого заложения (Рис. 2) обладают следующими достоинствами: не требуют сваебойного оборудования, легки в монтаже, но должны опираться на не оттаивающий слой грунта. Однако во время эксплуатации плотная структура бетона проводит тепло и способствует оттаиванию грунта под подошвой фундамента. Для защиты грунта от оттаивания под подошвой плотного лакколита устраивают

теплоизоляционные экраны. Наиболее востребованными на рынке теплоизоляционных материалов являются плиты из экструдированного пенополистирола. Утеплители из этого материала выпускаются компанией «ПЕНОПЛЭКС» [7] в форме плит, стандартный размер которых составляет 600x1200 и 600x2400, толщина варьируется от 20 до 100 мм. Для обеспечения плотности стыков по контуру плит устроены L – образные пазы.

К недостаткам такого фундамента следует отнести: большой расход материалов и возможность строительства только в зимний период, когда грунт замерзает, что позволяет производить разработку грунта в котловане.

Свайные опоры (Рис. 3, а) представляют собой сваи, погруженные в грунт на глубину не менее четырех метров в надежное основание и перекрытые сверху ригелем-насадкой. Они не требуют разработки грунта котлована и сочетают в себе функции фундамента и опоры. Поэтому эти опоры являются экономичными, но их применение ограничено интенсивным ледоходом перекрываемых водотоков и большими временными нагрузками. Свайные опоры возможно использовать в малых мостах с небольшими пролетами.

В мостах с большими пролетами опоры передают усилия на фундамент в десятки и сотни тонн, выдержать которые могут только свайные фундаменты (Рис. 3, б). Свайное поле объединенное ростверком способно нести большие нагрузки. Важно, чтобы сваи опирались на прочное, вечномерзлое основание. Обычные способы погружения свай такие как забивной, вибропогружение и буронабивной не применимы в условиях вечно мерзлых грунтов.

В северном строительстве используют другие способы погружения свай, такие как опускной, буроопускной и бурозабивной.

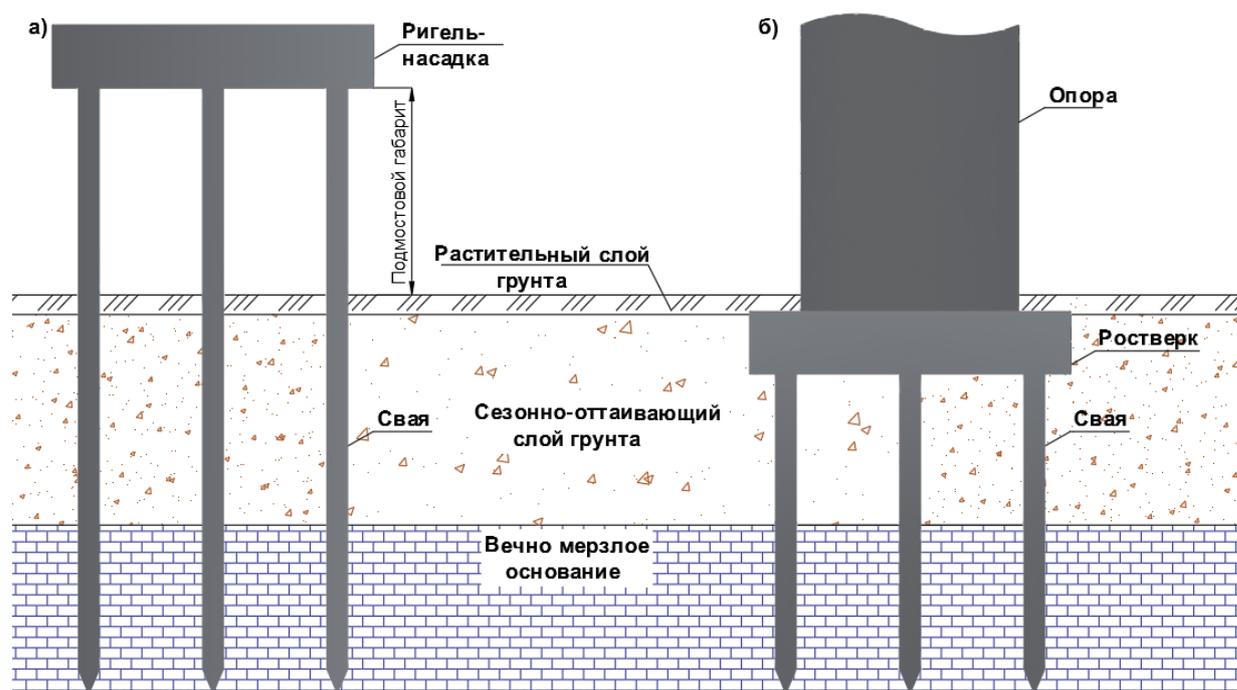


Рис. 3. а) свайные опоры; б) свайный.

Опускной способ применяется в глинистых твердомерзлых грунтах и мелких песках со средней температурой вечномерзлых грунтов ниже -1.5°C . Размораживание грунта может производиться термическим способом, когда грунт обрабатывают газовой струей с температурой $900-1500^{\circ}\text{C}$. Затем производится разработка шурфов буровой установкой с удалением грунта струей отработанного газа. Затем в полученную скважину опускается стальная свая. Последующее замерзание грунта способствует прочному сцеплению основания со свайей. Так же размораживание может осуществляться горячим паром, в этом случае буровая техника не требуется. Прогретый грунт приобретает разжиженное состояние, в него и опускается свая. К недостаткам опускного способа следует отнести медленное восстановление вечной мерзлоты, а, следовательно, и набора прочности основания в зоне погружения свай.

Буроопускной способ применяется для скальных, твердомерзлых или любых мерзлых грунтов с твердыми включениями при средней температуре вечномерзлого грунта $-0,5^{\circ}\text{C}$. Сваи погружаются в заранее пробуренные

скважины. Диаметр скважин должен быть больше диаметра погружаемых свай. Образовавшийся зазор заполняется грунтово-глинистым раствором, который впоследствии замерзает, образуя надежное основание.

Следующий бурозабивной способ погружения свай допускается применять в пластичномерзлых грунтах без крупнообломочных включений. Сваи погружаются забивкой в предварительно пробуренные скважины диаметром на 1-2 см меньше диаметра свай. Это создает необходимое трение поверхности свай о грунт.

Возведение фундамента, способного обеспечить стабильность сооружения, является необходимым, но недостаточным условием. Поскольку мерзлые грунты являются надежным основанием только в том случае, когда находятся в расчетных отрицательных температурах. Поэтому требуется поддержание природных температурных режимов грунта, а лучше их понижение. Для этого применяют систему мер по управлению температурным режимом [8]. Все мероприятия можно разделить на мероприятия строительного и эксплуатационного периодов.

Во время строительства на выполнение работ оказывают неблагоприятное влияние следующие факторы: оттаивание мерзлых грунтов в летний период, наличие термокарстов, выпадение осадков и вызванные ими паводки, низкие отрицательные температуры зимой, глубокое сезонное промерзание грунтов, образование наледи.

Природный мохорастительный слой способствует сохранению мерзлого состояния грунта в летний период поскольку обладает термоизолирующими свойствами. Поэтому важным условием поддержания грунта в

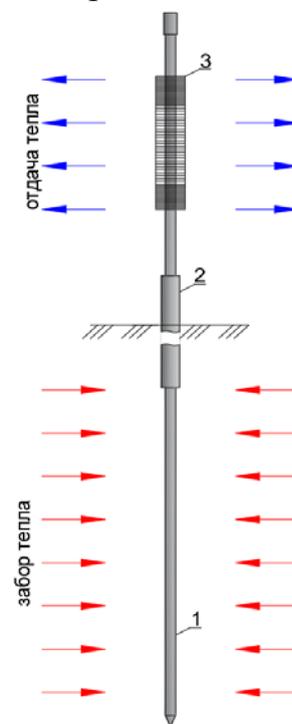


Рис. 4. Схема теплопегвлятона.

мерзлом состоянии в период строительства является по возможности сохранение этого слоя. Гусеничная техника должна передвигаться по строительной площадке по определенным, намеченным стройгенпланом дорогам.

Из-за летнего оттаивания, а также возможных отклонений от проектных решений и плохого качества выполнения строительно-монтажных работ, возможны проблемы с поддержанием грунта в мерзлом состоянии, в результате чего снижаются показатели надежности и долговечности сооружения. Поэтому при проектировании и эксплуатации сооружения особое внимание следует уделять искусственным методам поддержания мерзлости грунтов [9].

Для искусственного поддержания грунта в мерзлом состоянии при строительстве в грунт закладывают специальные приборы – терморегуляторы (Рис. 4), которые в течение многих лет могут обеспечивать стабильность основания мостового сооружения. В настоящее время самыми

эффективными мерами по терморегуляции грунта принято считать применение парожидкостных термостабилизаторов [10]. Парожидкостные термостабилизаторы грунтов представляют собой герметичные сварные металлические сосуды из труб различного диаметра, частично заполненные легкокипящим хладагентом. На схеме (Рис. 3) видно, что они состоят из трех функциональных участков: 1 – испаритель; 2 – транспортный участок; 3 – конденсатор. Испаритель представляет собой герметичную трубку, погруженную в грунт, через стенки которой происходит процесс теплообмена между жидким

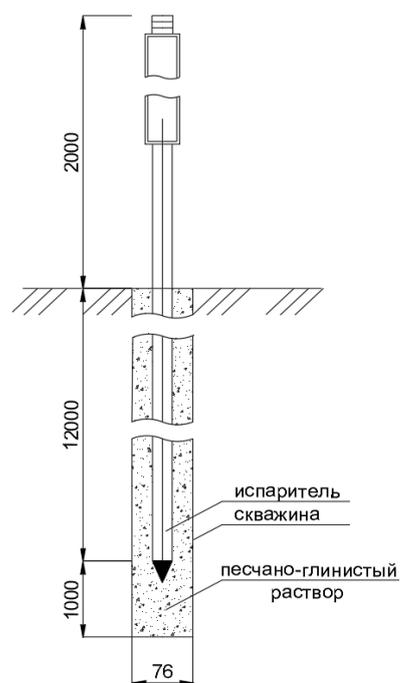


Рис. 4. Схема погружения терморегулятора.

хладон и грунтом. В результате теплообмена хладон переходит в газообразное состояние и через транспортный участок поступает в воздушный конденсатор. Остывая, хладон переходит в жидкое состояние и возвращается в испаритель. Термостабилизация грунтов осуществляется в два этапа: первый этап – охлаждение основания в контуре сооружения на глубину погружения сваи до расчетной температуры; второй этап – поддержание расчетного теплового режима при помощи термостабилизаторов в период эксплуатации сооружения [11]. Термостабилизаторы устанавливаются в предварительно пробуренные скважины диаметром больше прибора на 30-40 мм. и глубиной на один метр больше глубины погружения (Рис. 4). Перед погружением скважину на половину ее глубины заполняют песчано-глинистым раствором состава один к одному и влажностью не менее 0,5. Для обеспечения работы термостабилизаторов необходим обдув наружным воздухом надземной части охлаждающего устройства (конденсатора) по всей длине.

Использование современных методов строительства транспортных сооружений на мерзлых грунтах позволяет развивать северные регионы России. Совершенствование технологий и использование новой техники стабилизации грунтов во время сезонных оттаиваний удешевляет строительство и повышает рентабельность объектов. Важно создавать автономно работающее оборудование для термостабилизации оттаивающих грунтов, которое не требует источников энергии. Далеко не все залежи полезных ископаемых разведаны и открыты. Еще долго предстоит создавать, увеличивать и эксплуатировать транспортную сеть с искусственными сооружениями в суровых северных условиях.

Литература.

1. Blaizot M. Arctic may reveal more hydrocarbons as shrinking ice provides access // Oil and Gas J. — 2011 — Vol. 109 — May 2 — pp. 48—54.



2. Montgomery S. L. Geologic assessment and production forecasts for the ANWR 1002 Area // Oil and Gas J. — 2003 — Vol. 101, № 16 — pp. 35—40.

3. А.В. Макаров, А.Э. Купрещенков. К вопросу о проектировании биметаллических мостов Инженерный вестник Дона, 2018, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2018/4961.

4. А.В. Макаров, В.С. Карпов. Рекомендации по подбору опорных частей с целью увеличения срока службы мостового строения Инженерный вестник Дона, 2017, №1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4079

5. А.В. Макаров, А.В. Журавлев. Деформирующиеся плоские опорные части мостов Инженерный вестник Дона, 2018, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4707.

6. Саламахин П.М. Инженерные сооружения в транспортном строительстве, учеб. для вузов: в 2 кн., книга 1. М.: Академия, 2007. 352 с.

7. Фундаменты на вечномёрзлых грунтах/ URL: penoplex.ru/partners/fundamenty-na-vechnomerzlykh-gruntakh.

8. Ефимов В.М., Попенко Ф.Е., Рожин И.И., и др. Формирование температуры грунтов оснований при использовании сезонно-охлаждающих устройств (СОУ) в условиях криолитозоны центральной Якутии // Арктика и Антарктика. — 2017. - № 4. - С.98-105.

9. Лопухов А.А., Макаров А.В. Мостовые опоры в зоне распространения вечномёрзлых грунтов./ Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2014. № 4. С. 419-424.

10. В.А. Максименко, В.С. Евдокимов, А.А. Гладенко, А.А. и др. Система заморозки грунта на основе парокомпрессионного и естественно-циркуляционного циклов/ Омский научный вестник №2 2012. С. 163-166.

11. Термостабилизатор грунтов: пат. 2661167 Рос. Федерация. / Вельчев С.П., Вельчев А.С., Ченышев Р.Р.; заявл.26.12.2016; опубл. 26.06.2018, бюл. №18. 9 с.

References

1. Blaizot M. Arctic may reveal more hydrocarbons as shrinking ice provides access. Oil and Gas J. 2011. Vol. 109. May 2. pp. 48-54.
2. Montgomery S. L. Geologic assessment and production forecasts for the ANWR 1002 Area. Oil and Gas J. 2003. Vol. 101, № 16. pp. 35-40.
3. A.V. Makarov, A.EH. Kupreshchenkov. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2018/4961.
4. A.V. Makarov, V.S. Karpov. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4079.
5. A.V. Makarov, A.V. ZHuravlev. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4707.
6. Salamahin P.M. Inzhenernye sooruzheniya v transportnom stroitel'stve, [Engineering structures in transport construction] ucheb. dlya vuzov: v 2 kn., kniga 1. M.: Akademiya, 2007. 352 p.
7. Fundamenty na vechnomerzlykh gruntah. [Foundations on permafrost soils]. URL: penoplex.ru/partners/fundamenty-na-vechnomerzlykh-gruntakh.
8. Efimov V.M., Popenko F.E., Rozhin I.I., i dr. Arktika i Antarktika. 2017. №4. pp. 98-105.
9. Lopuhov A.A., Makarov A.V. Resursoehnergoehffektivnye tekhnologii v stroitel'nom komplekse regiona. 2014. № 4. pp. 419-424.
10. V.A. Maksimenko, V.S. Evdokimov, A.A. Gladenko, i dr. Omskij nauchnyj vestnik №2, 2012. pp. 163-166.
11. Termostabilizator gruntov [Soil heat stabilizer]: pat. 2661167. Ros. Federaciya. Vel'chev S.P., Vel'chev A.S., CHenyshev R.R.; zayavl.26.12.2016; opubl. 26.06.2018, byul. №18. 9 p.