

## Строительство и проектирование зданий и сооружений в условиях вечной мерзлоты

*Т.В. Охлопкова, Г.Р. Гурьянов, А.А. Плотников*

*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), Москва*

**Аннотация:** В статье приводятся исследования по проблематике строительства и проектирования зданий и сооружений в условиях вечной мерзлоты России. На основании исследований работы сформированы принципы строительства на вечномерзлых грунтах. Показано, что проектирование и строительство зданий и сооружений может вестись как, при условии, что почвы основы остаются мёрзлыми как при строительстве, так и в процессе эксплуатации, так и в том случае, когда почвы обязательно приобретут талое состояние в период строительства или в процессе эксплуатации зданий и сооружений.

**Ключевые слова:** строительство, проектирование, вечная мерзлота, грунт, фундамент, конструкции, Крайний Север, климат, почва, здание, сооружение.

**Введение.** Общеизвестный факт, что большая часть территории Российской Федерации расположено в условиях вечной мерзлоты, создает основание к актуальности использования ресурсов и богатств данных территорий для эффективного социально-экономического развития нашей страны. Именно виду того, что большая часть ресурсного потенциала России сосредоточено в недрах северных территорий, уже достаточно большой период времени ведутся успешные исследования и проектные разработки различных строительных и инженерных объектов широкого круга сфер промышленности России: нефтегазовой, добывающей, жилищно-строительной и др. Это позволило достичь такой ситуации, что сегодня новые объекты в северных территориях строятся уже не путем проб и ошибок, а на основании научных знаний, для таких сооружений существуют особые требования к проектированию и изысканиям. Вопросами строительства на мерзлоте занимается целая научная отрасль - инженерная геокриология. Причем Россия более полувека является лидером в этой области. Современные ученые подтверждают, что технологии строительства на вечномерзлых грунтах отработаны хорошо. Однако все еще остается научно актуальным вопрос повышения эффективности процессов

---

строительства и проектирования зданий и сооружений в условиях вечной мерзлоты.

**Цель статьи:** исследование эффективных условий строительства и проектирования зданий и сооружений в условиях вечной мерзлоты.

Основной особенностью Северной строительно-климатической зоны являются низкие зимние температуры воздуха и вечномёрзлые грунты, которые распространены на 11 млн. км<sup>2</sup>, что составляла 47% территории России. Исходя из влияния строительно-климатических характеристик на объёмно-планировочные и конструктивные решения жилых зданий территорию Крайнего Севера можно разделить на три зоны.

*Первая зона* охватывает территории, прилегающие к арктическому побережью, и отличаются сильными ветрами, в сочетании с низкими зимними температурами до  $-40^{\circ}\text{C}$ , снегозаносами и солнечным климатом, характерном для зоны, расположенной за полярным кругом, когда солнце светит круглые сутки, низко поднимаясь над горизонтом – до  $23^{\circ}$  севернее полярного круга. В этой зоне находятся такие города как Норильск и Воркута.

*Вторая зона* отличается резко-континентальным климатом с очень низкими зимними температурами до  $-55^{\circ}\text{C}$  и жарким летом, с температурой до  $30^{\circ}\text{C}$ , малым количеством осадков, как в жидком, так и твердом виде, слабыми ветрами. Инсоляция и солнечная тепловая радиация отсутствует зимой, длина светового дня составляет 2 – 4 часа. Большие перепады температур приводят к значительным температурным деформациям, сопутствующие замерзанию-оттаиванию влаги в конструкциях. При низких среднегодовых температурах воздуха, ниже  $-6^{\circ}\text{C}$ , и малой толщине снеговых отложений, грунты промерзают и образуется устойчивая мерзлая толща с постоянной температурой грунта в  $-2^{\circ}\text{C}$  на глубине 10-15 м и ниже. Для этой зоны характерна разница среднегодовых температур воздуха и грунта в  $2-4^{\circ}\text{C}$ . В этой зоне находятся такие города как Якутск и Мирный.

---

*Третья зона* является переходной от мерзлых грунтовых оснований к обычным грунтам с положительными температурами. Проектирование в этой зоне наиболее сложное, так как там имеются в основании как мерзлые, так и талые грунты. Причем островные талики, также, как и мерзлые могут со временем изменять свою конфигурацию и местоположение. Это прежде всего связано с большими снеготаносами и ветром.

В этой зоне находятся такие города как Чита и Магадан.

Основной особенностью, которая влияет на объемно-планировочные и конструктивные решения зданий на Севере, является наличие вечномёрзлых грунтов в основании и особенно низкие температуры воздуха зимой. [1-3]

При возведении здания и сооружений на вечномёрзлых грунтах строителям приходится решать вопрос о выборе принципа строительства - основного направления, которому необходимо следовать при проектировании, возведении и эксплуатации: в каком состоянии использовать грунты в качестве основания здания - в мёрзлом или талом. В зависимости от конструктивных и технологических особенностей зданий и сооружений, а также от геокриологических условий территории строительства, принимается тот или иной принцип использования вечномёрзлых грунтов в качестве оснований. [1,2]

**I принцип** - вечномёрзлые грунты основания используются в мерзлом состоянии, сохраняемом в процессе строительства и в течение всего периода эксплуатации здания или сооружения.

**II принцип** - мёрзлые грунты основания используются в оттаявшем состоянии, с допущением оттаивания их в процессе эксплуатации здания и сооружения, или оттаивания грунтов на расчётную глубину до начала возведения здания.

Абсолютное большинство жилых многоэтажных зданий в городах, расположенных в зоне устойчивых вечномёрзлых грунтов построены по I

---

принципу.[3] Достигается это за счет открытого пространства под зданием, так называемого вентилируемого подполья как это показано на примере многоэтажного жилого дома в г. Мирном- (рис.1). Как известно прочностные и деформационные свойства мерзлых грунтов определяются прежде всего значением их отрицательной температуры [3,4,5,6]. Поэтому сохранение расчетного температурного режима грунтов основания является основной задачей при проектировании зданий, возводимых по I принципу. В настоящее время известны два основных средства для охлаждения грунтовых массивов оснований зданий. Это *проветриваемое подполье*, и *глубинные охлаждающие устройства*.



Рис. 1. - Проветриваемое подполье в жилом доме

**Конструкции фундаментов.** В качестве фундаментов зданий, построенных по I принципу, применяются сваи, установленные в заранее пробуренные скважины и вмороженные в грунты основания. Сваи работают как стойки, жестко заземленные одним концом в грунт, а верхним концом закрепленные в монолитный фундаментный ростверк. При температурных

деформациях ростверка верхние концы свай перемещаются в зависимости от длины ростверка. Особенно это касается крайних свай.

Уменьшить нагрузку от температурных деформаций возможно за счет увеличения свободой длины свай, и путем устройства температурных швов. Необходимо отметить, что при включении отопления температурные деформации ростверка сокращаются, так как он жестко связан с конструкциями здания.

**Проветриваемое подполье** представляет собой часть здания, заключённую между перекрытием первого этажа и грунтом основания. Высота подполья определяется расстоянием от поверхности грунта до низа выступающей конструкции и составляет не менее 1.2 - 1.7 м до балки ростверка. По режиму охлаждения и вентилирования холодные подполья подразделяются на закрытые, открытые и с регулируемым проветриванием. ограждается сеткой или стенкой со щелью внизу высотой 20 см по контуру здания. На рис. 2. представлено вентилируемое подполье в здании без технического этажа.

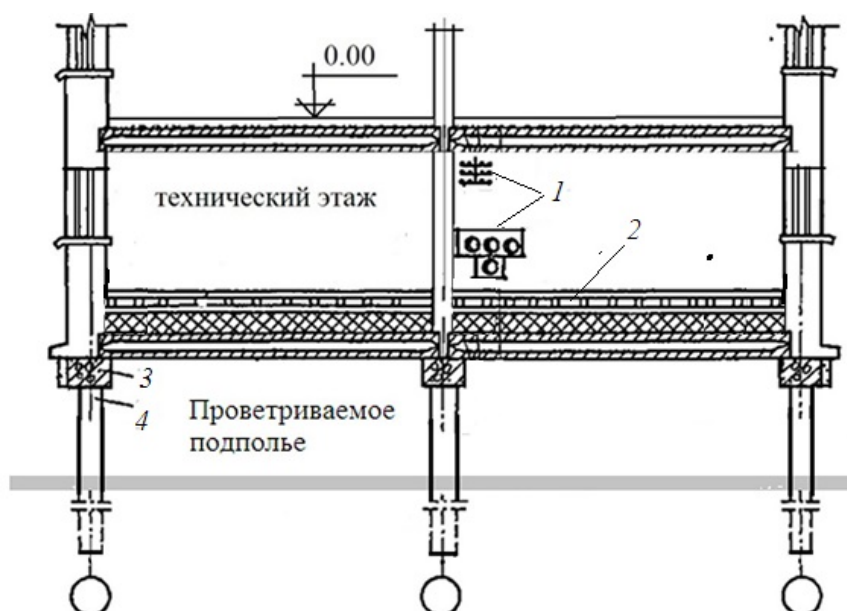


Рис. 2. - Конструкция проветриваемого подполья в жилом доме:  
1— инженерные коммуникации; 2 — цокольное перекрытие; 3 — ростверк;  
4 — свая.

В качестве охлаждающих устройств, применяемых для повышения надежности мерзлых оснований как, правило используются сезонно-охлаждающие устройства (СОУ), работающие за счет естественного холода. СОУ могут быть жидкостные, парожидкостные или вентилироваться холодным воздухом [7]. Они могут располагаться рядом со сваей или внутри сваи.

Конструктивной особенностью СОУ-1 с однофазным теплоносителем в виде коаксиального термосифона, является возможность обеспечить необходимую интенсивность теплообмена в зимнее время только за счет поверхности надземной части устройства, вмонтированного в сваю. В летнее время при положительном значении разности температур атмосферного воздуха и грунта циркуляция теплоносителя устраняется автоматически. Это исключает кратковременное повышение температуры на поверхности сваи и опасность потери несущей способности холодной сваи. За счет применения в качестве теплоносителя авиационного керосина СОУ-1 является абсолютно надежным [8,9].

СОУ-2 с двухфазным теплоносителем представляет собой трубу, внутри которой происходят процессы испарения - конденсации рабочей жидкости - теплоносителя. В качестве теплоносителя используются: аммиак, углекислота, пропан, фреон [7]. Существенным преимуществом конструкции явилось уменьшение диаметров испарителя и конденсатора. В большинстве случаях, используются трубы диаметром 32-57 мм. При этом масса СОУ-2 не превышает 70 кг. Недостатком СОУ-2 недостаточная надежность. В случае утечки хладоносителя устройство выходит из строя. СОУ-2 широко применяются на объектах нефтегазовой добычи в Салехарде, Лабытнанги на Ямале. В городах Воркута, Норильск, Мирный СОУ-2 применяются для экстренного охлаждения грунтов оснований в случае повышения их температуры.

---



Строительство по II принципу допускает оттаивание грунтов основания во время эксплуатации здания. Такой метод строительства актуален для районов, где в течение срока эксплуатации здания возможен переход грунта из мерзлого в талое состояние или наоборот. Как известно при промерзании сильновлажных грунтов происходит активное деформации в виде пучения. При оттаивании лед переходит в воду и объем грунта уменьшается. Для снижения амплитуды температурных колебаний в грунтах основания применяется метод стабилизации. Но надежность этого метода недостаточна из-за резких климатических изменения температуры воздуха и влажности, особенно толщины снегового покрова.

Современный опыт показал, что строительство не ограничивается применением только I или II принципа использования грунтов основания в качестве фундаментов. В Якутске основания зданий, построенных на намывных грунтах по I принципу со столбчатыми фундаментами, постепенно оттаивали, но осадки фундаментов оказались допустимыми для данной конструкции здания, и, таким образом, здания, построенные по Принципу I, постепенно, в связи с деградацией вечной мерзлоты, эксплуатируются по Принципу II[10]. Это можно объяснить тем, что при массив намывных грунтов состоит главным образом из песков, который характеризуется как мощный (6,5–8,5 м) слой уплотнившихся грунтов с малой влажностью, мало подверженный деформациям при промерзании-оттаивании. Аналогичные ситуации могут возникать также при наличии крупнообломочных или скальных грунтов на небольшой глубине.



Рис. 3. - Жилой дом на намывных грунтах без вентилируемого подполья в Якутске в 203 мкр-не.



Рис. 3. - Жилой дом на намывных грунтах с вентилируемым подпольем в Якутске в 202 мкр-не.

Научная новизна исследования состоит в определении применимости двух принципов строительства на вечномёрзлых грунтах с учетом современных технологий, таких как намывные песчаные основания, само-охлаждающие устройства, автоматизация регулирования вентиляции подполья под зданием



и т.д. Показано, что возможно не только строительство по I или II принципу, но и методы, позволяющие строить с учетом обоих способов строительства.

### Литература

1. Цытович Н. А. Механика мерзлых грунтов. Учебн. пособие. М., «Высш. школа», 1973. 448 с.
2. Справочник по строительству на вечномёрзлых грунтах. Под ред. Велли Ю. Я., Докучаева В. П., Федорова Н. Ф. Л., Стройпздат, 1977, 552 с.
3. Васьковский А. П., Шкляров Н. Д. Конструкции гражданских зданий для строительства на Севере. Л.: 1979. 136 с.
4. Геотехнические вопросы освоения Севера/Под ред. Андерсленда О. Б. и Андерсона Д. М.: Пер. с англ.— М.: Недра, 1983. - 551 с.
5. Ананьев В.П., Потапов В.Д. Инженерная геология: Учебник. – М.: Высш. шк., 2002. – 511 с.
6. Алёшина, Т. (б.д.). Строительство на мерзлоте: опыт и новшества. Получено 8 Сентябрь 2016 г., из Сибирский форум: URL: [sibforum.sfu-kras.ru/node/106](http://sibforum.sfu-kras.ru/node/106) (Дата обращения 30.09.2018)
7. Механика мерзлых грунтов и принципы строительства нефтегазовых объектов в условиях Севера: Учебник / Под ред. Карнаухова Н.Н. - М: Изд. ЦентрЛит- НефтеГаз. - 2008. - с. 432- (Серия «Высшее нефтегазовое образование»)
8. Makarov V.I. Plotnikov A.A. & Chumaevski V.F., 1978. Construction of multi-storey structures on refrigerated piles in the city of Mirnyi. Third Intern, permafrost, Proc. Intern. Conf. Permafrost, Canada, Edmonton, 1: pp. 820—825.
9. Плотников А.А. Макаров В.И. Методы охлаждения оснований зданий, построенных по принципу сохранения грунтов в мерзлом состоянии (на примере г. Мирного), ОФМГ, №5-2017, С. 26-31.



10. Шестернев Д.М. Строительство на намывных грунтах в Якутии. Сб. докладов расширенного заседания Научного совета по криологии Земли РАН «Актуальные проблемы геокриологии» М КДУ Университетская книга, Ч 5, 2018 с. 124- 129
11. Шеина С.Г., Крикунов Ф.А., Соболевский А.И. Исследования возведения объектов строительства в сложных инженерно-геологических условиях (на примере г. Ростова-на-Дону) // Инженерный вестник Дона, 2018, №1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4626.
12. Шилов А.В., Петров К.С., Бобин А.А. Метод сокращения сроков строительства производственного предприятия путем использования новых сборно-монолитных конструкций // Инженерный вестник Дона, 2017, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4559.
13. Theodossopoulos D. Structural Design in Building Conservation. – Routledge; 1 edition, 2012. – 280 p.

### References

1. Tsytoich N. A. Mekhanika merzlykh gruntov. [Mechanics of frozen soils]. Uchebn. posobie. M., «Vyssh shkola», 1973. 448 p.
2. Spravochnik po stroitel'stvu na vechnomerzlykh gruntakh. Pod red. Velli YU. Y.A, Dokuchaeva V. P., Fedorova N. F., L., Strojzdat. [Handbook of construction on permafrost]. 1977, 552 p.
3. Vas'kovskij A. P., SHklyarov N. D. Konstruktsii grazhdanskikh zdaniy dlya stroitel'stva na Severe. [Structures of civilian buildings for construction in the North]: L. 1979. 136 p.
4. Geotekhnicheskie voprosy osvoeniya Severa [Geotechnical issues of the North] pod red. Anderslenda O. B. i Andersona D. M.: Per. s angl. M.: Nedra, 1983, 551 p.



5. Anan'ev V.P., Potapov V.D. Inzhenernaya geologiya [Engineering geology]: Uchebnik. M.: Vyssh. shk., 2002. 511 p.
  6. Alyoshina, T. (b.d.). Stroitel'stvo na merzlotte: opyt i novshestva.[Construction on permafrost: experience and innovations] Polucheno 8 Sentyabr' 2016 r., iz Sibirskij forum: URL:sibforum.sfu-kras.ru/node/106 (Data obrashheniya 30.09.2018)
  7. Mekhanika merzlykh gruntov i printsipy stroitel'stva neftegazovykh ob"ektov v usloviyakh Severa [The mechanics of frozen soils and the principles of construction of oil and gas facilities in the North]: Uchebnik pod red. N.N. Karnaukhova. M: Izd. TsentrLit- NefteGaz. 2008. p. 432. (Seriya «Vyshee neftegazovoe obrazovanie»)
  8. Makarov V.I. Plotnikov A.A. & Chumaevski B.F., 1978. Construction of multi-storey structures on refrigerated piles in the city of Mirnyi. Third Intern, permafrost, Proc. Intern. Conf. Permafrost, Canada, Edmonton, 1: pp.820—825.
  9. Plotnikov A.A. Makarov V.I. Metody okhlazhdeniya osnovanij zdaniy, postroennykh po printsipu sokhraneniya gruntov v merzлом sostoyanii(na primere g. Mirnogo), [Methods for cooling the foundations of buildings built on the principle of preserving soils in a frozen state (using the example of the town of Mirny)], OFMG, №5-2017, pp. 26-31.
  10. Shesternev D.M. Stroitel'stvo na namyvnykh gruntakh v Yakutii. [Sb. dokladov rasshirennogo zasedaniya Nauchnogo soveta po kriologii Zemli RAN «Aktual'nye problemy geokriologii» [Construction on alluvial soils in Yakutia. Sat reports of the extended meeting of the Scientific Council on Earth Cryology of the Russian Academy of Sciences "Actual problems of permafrost"]. M KDU Universitetskaya kniga, CH 5, 2018 pp. 124- 129
  11. Sheina S.G., Krikunov F.A., Sobolevskij A.I. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4626.
-



12. SHilov A.V., Petrov K.S., Bobin A.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4559](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4559).
13. Theodossopoulos D. Structural Design in Building Conservation. Routledge; 1 edition, 2012. 280 p.