

УДК 624.139.2:624.139.621.643

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ ОБЪЕКТОВ ОБУСТРОЙСТВА НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В СЛОЖНЫХ МЕРЗЛОТНО-ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЯХ

*Рассматриваются обоснованные прогнозными теплотехническими расчетами технические решения оснований и фундаментов для регионов распространения многолетнемерзлых грунтов. Приведены примеры успешной реализации разработанных проектов.*

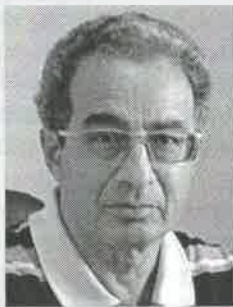


**КУТВИЦКАЯ  
НАТАЛЬЯ БОРИСОВНА**

Кандидат технических наук, главный инженер отдела термостабилизации, инженерной защиты и мониторинга ОАО "Фундаментпроект", член академии "Северный форум", почетный строитель РФ (Москва, Россия)

Основные направления научной деятельности - строительство оснований и фундаментов на многолетнемерзлых грунтах, инженерная защита территорий от развития опасных мерзлотно-геологических процессов, геотехнический мониторинг.

Автор более 100 опубликованных работ и 18 патентов.



**МИНКИН  
МАРК АБРАМОВИЧ**

Доктор геолого-минералогических наук, профессор, генеральный директор ОАО "Фундаментпроект", почетный строитель РФ (Москва, Россия).

Основные направления научной деятельности - инженерно-геологические изыскания и исследования вечномерзлых грунтов, геотехнический мониторинг и прогнозная теплофизика.

Автор более 120 опубликованных работ и 15 патентов.

При строительстве в северных регионах практически все площадки имеют сложные, неоднородные по простиранию и глубине мерзлотно-грунтовые условия. Так, на одной строительной площадке в основании сооружений могут залегать как талые, так и мерзлые грунты сливающегося и несливающегося типов, пластичномерзлые и охлажденные, сильнольдистые, засоленные и т.д.

В таких условиях практически невозможно обеспечить требования СП 25.13330.2012 "Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах" об использовании грунтов площадки (и даже отдельного сооружения) по единому принципу - в мерзлом (принцип I) или талом (принцип II) состоянии.

При переводе грунтов в твердомерзлое состояние (принцип I) требуется замораживание и понижение их температуры по всей площади здания и на всю глубину распространения "слабых" грунтов. Это требование реализуется предпостроечным промораживанием, например, вертикальными сезоннодействующими охлаждающими устройствами - термостабилизаторами. При использовании грунтов в талом состоянии (принцип II) необходимо выполнить их предпостроечное оттаивание и уплотнение. Допустить оттаивание мерзлых грунтов в процессе эксплуатации возможно только на скальных и малопросадочных грунтах.

Как показала практика проектирования, в сложных мерзлотно-грунтовых условиях эффективнее и надежнее использовать грунты в мерзлом состоянии, обеспечивая термостабилизацией их высокую несущую способность. При этом не обязательно стремиться проморозить основание по всей площади здания или площадки, достаточно обеспечить локальное промораживание и, следовательно, упрочнение "слабых" грунтов в зонах размещения несущих фундаментов [1].

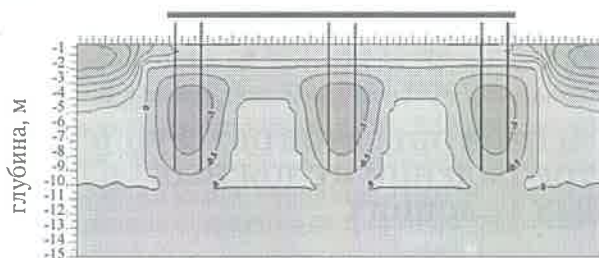


Рис. 1. Температурное поле основания здания с вентилируемым подпольем после первого зимнего сезона работы термостабилизаторов

Для различных типов зданий (сооружений), и способов передачи нагрузки на грунты оснований ОАО "Фундаментпроект" разработаны технические решения по упрочнению и температурной стабилизации локальных объемов "слабонесущих" грунтов оснований. Технические решения, обоснованные прогнозными расчетами – теплотехническими, деформационными, несущей способности фундаментов, успешно применены при проектировании и строительстве гражданских и промышленных зданий, резервуаров, трубопроводов, в том числе, трубопроводов обвязки добывающих скважин, факельных установок и др.

С технико-экономической точки зрения преимуществом рассматриваемых решений является то, что термостабилизация грунтов проводится, как правило, не в предпостроечный, а строительный период и не по всей площади здания или сооружения, а только в зонах основания, на которые передаются нагрузки от фундаментов.

Для реализации поставленной задачи разработаны конструкции парожидкостных термостабилизаторов сезонного и круглогодичного действия [2], которые формируют в грунтах основания области повышенной несущей способности различной конфигурации и формы. В этих областях располагаются традиционные фундаменты (свайные, плитные, ленточные и др.). Нагрузки от надземной части сооружения воспринимаются фундаментами и упрочненными несущими льдогрунтовыми элементами, форма и размеры которых соответствуют фундаментам.

Специалистами ОАО "Фундаментпроект" разработана линейка термостабилизаторов сезонного и круглогодичного действия, включающая в себя вертикальные, наклонные, горизонтальные и анкерные конструкции, которые упрочняют (замораживают) грунт в наиболее нагруженных областях основания [3].

Для обоснования параметров льдогрунтовых конструкций и несущей способности фундаментов разработано программное обеспечение [4, 5], позволяющее проводить прогнозные теплотехнические, прочностные, деформаци-

онные и фильтрационные расчеты оснований, а также аэродинамические расчеты вентилируемых подполий.

**Льдогрунтовые опоры.** Для строительства на высокотемпературных многолетнемерзлых грунтах сливающегося и несливающегося типов разработаны льдогрунтовые опоры, создаваемые путем установки термостабилизаторов [6] вблизи фундаментов (свайных или столбчатых) или вмонтированных в них. Благодаря работе термостабилизаторов формируется несущая льдогрунтовая опора: при работе одного термостабилизатора диаметр может быть не менее 2 м и более в зависимости от требований проекта. Льдогрунтовая опора позволяет значительно повысить несущую способность основания, сократить количество и размеры фундаментов (например, длину и сечение свай, площадь подошвы малозаглубленных опор), исключить действие нормальных сил морозного пучения на подошвы фундаментов столбчатого и ленточного типов, уменьшить его касательные силы.

Применение льдогрунтовых опор вместо площадного промораживания обеспечивает сокращение трудозатрат при строительстве в 1,5...3 раза и стоимости основания до 4 раз. Так, в идентичных условиях при замораживании грунтов до глубины, например, 9 м по всей площади основания (установка термостабилизаторов по сетке 3×3 м) стоимость только термостабилизаторов без свай составляет 1,0 тыс. руб. на 1 м<sup>2</sup> площади здания, а при создании льдогрунтовых опор (по два термостабилизатора у сваи, установленных по сетке 6×6 м) – 0,25 тыс. руб. (в действующих ценах).

На рис. 1 для несливающейся мерзлоты Заполярного газоконденсатного месторождения (ЗГКМ) приведено температурное поле (вертикальный разрез), которое формируется в основании здания с вентилируемым подпольем и установленными в нем вертикальными парожидкостными термостабилизаторами сезонного действия. Расчет выполнен О.А. Ковылиной по программе теплотехнических расчетов, разработанной С.П. Дмитриевой [4].

Многолетняя (более 15 лет) эксплуатация льдогрунтовых опор на ЗГКМ и других объектах нефтегазового строительства (Юбилейное, Ямбургское, Бованенковское и др.) и при гражданской застройке (Салехард, Анадырь) подтвердила эффективность и надежность льдогрунтовых опор.

**Льдогрунтовая плита.** Для тепловыделяющих зданий и сооружений на естественном основании (с полами по грунту насыпи) на многолетнемерзлых грунтах традиционно применялось предпостроечное паро- или электрооттаи-





Рис. 2. Температурное поле в основании сооружения с полами по грунту после первого зимнего сезона (в октябре)

вание и уплотнение грунтов по размерам расчетной чаши оттаивания. Эти технологии трудоемкие и дорогостоящие, требующие больших временных затрат для консолидации оттаянных грунтов (в некоторых случаях до 2...3 лет), в том числе при искусственном глубинном водоотводе (дренажа) и уплотнении (например, вибросваями).

Так, при предпостроечном оттаивании основания до глубины 14 м суммарная стоимость предпостроечного оттаивания основания здания в ценах 2013 г. составляет 49,0 тыс. руб. на 1 м<sup>2</sup> площади здания.

В соответствии с предлагаемыми техническими решениями для таких зданий и сооружений предусматривается устройство под полами несущей льдогрунтовой плиты [5], создаваемой с помощью горизонтальных термостабилизаторов круглогодичного или сезонного действия и теплозащитного экрана. На рис. 2 показано температурное поле, сформировавшееся в основании после первого зимнего сезона работы горизонтальных стабилизаторов. Расчет выполнен М.А. Магомедгаджиевой по программе С.П. Дмитриевфй [4].

Льдогрунтовые опоры линейных сооружений. Наиболее сложными на многолетнемерзлых грунтах являются проектирование и эксплуатация "теплых" трубопроводов подземной прокладки. В процессе эксплуатации такого трубопровода (с положительными температурами транспортируемого продукта, например, нефти, газа, воды и др.) на участках, сложенных мерзлыми грунтами, осадка грунтов основания, вызванная их оттаиванием вокруг трубы, приводит к неравномерным вдоль трубопровода деформациям.

Традиционные решения, обеспечивающие устойчивость трубопровода, включают в себя кольцевую теплоизоляцию трубы, замену просадочных грунтов (до расчетной глубины ореола оттаивания) на непросадочные при оттаивании, установку подземных свайных опор вдоль трассы. Эти трудоемкие и дорогостоящие решения не во всех случаях эффективны и на-

дежны при многолетней эксплуатации. Так, кольцевая теплоизоляция замедляет процесс оттаивания, но не исключает его; замененный грунт насыщается сезонноталой водой, что снижает его несущие качества.

Термостабилизаторы, установленные вдоль трубопровода на всем его протяжении или отдельных участках, уменьшают влияние "теплого" транспортируемого продукта на мерзлые грунты, стабилизируют глубину оттаивания под трубой и понижают природную температуру грунтов, что обеспечивает эксплуатационную устойчивость и несущую способность трубопровода. Пример температурного поля основания трубопровода с установленными вдоль него термостабилизаторами приведен на рис. 3. Расчет выполнен О.В. Горбуновой по программе С.П. Дмитриевой [4]. Для формирования несущего основания под трубой использованы термостабилизаторы анкерного типа [3] и теплозащитный экран, уложенный на дно траншеи. Такое решение исключает повышение температур хладагента (потери "холода") в слое сезонного и многолетнего оттаивания вокруг трубы и применено на ряде трасс межпромысловых трубопроводов.

Установка льдогрунтовых опор в комбинации с теплозащитными экранами не вдоль всей трассы, а только на участках переходов от подземной прокладки в надземную [7] или от сильнопросадочных при оттаивании мерзлых грунтов к малопросадочным позволяет увеличить расстояние между опорами и в несколько раз снижает стоимость строительно-монтажных работ.

Льдогрунтовые консольные опоры для трубопроводов обвязки добывающих скважин. Вокруг скважин (температура добываемого продукта до +60°C) происходит оттаивание грунтов и наблюдаются осадки. В радиусе теплового влияния скважины устанавливаются термостабилизаторы таким образом, чтобы понижение температуры при охлаждении в холодный период было более интенсивным, чем ее повышение в теплый период года, и обеспечивало твердомерзлое состояние грунтов, а также устойчивость и несущую способность грунтовой консоли. На рис. 4 приведены температурные поля, которые сформировались за 30 лет эксплуатации скважины. Расчеты выполнены Т.А. Юраскиной по программе С.П. Дмитриевой [4].

Таким образом, утепляющее влияние добывающей скважины компенсируется охлаждающим эффектом от работы термостабилизаторов, а устойчивость опор трубопроводов вблизи скважины обеспечивается сформированной несущей льдогрунтовой консолью. Прочностные

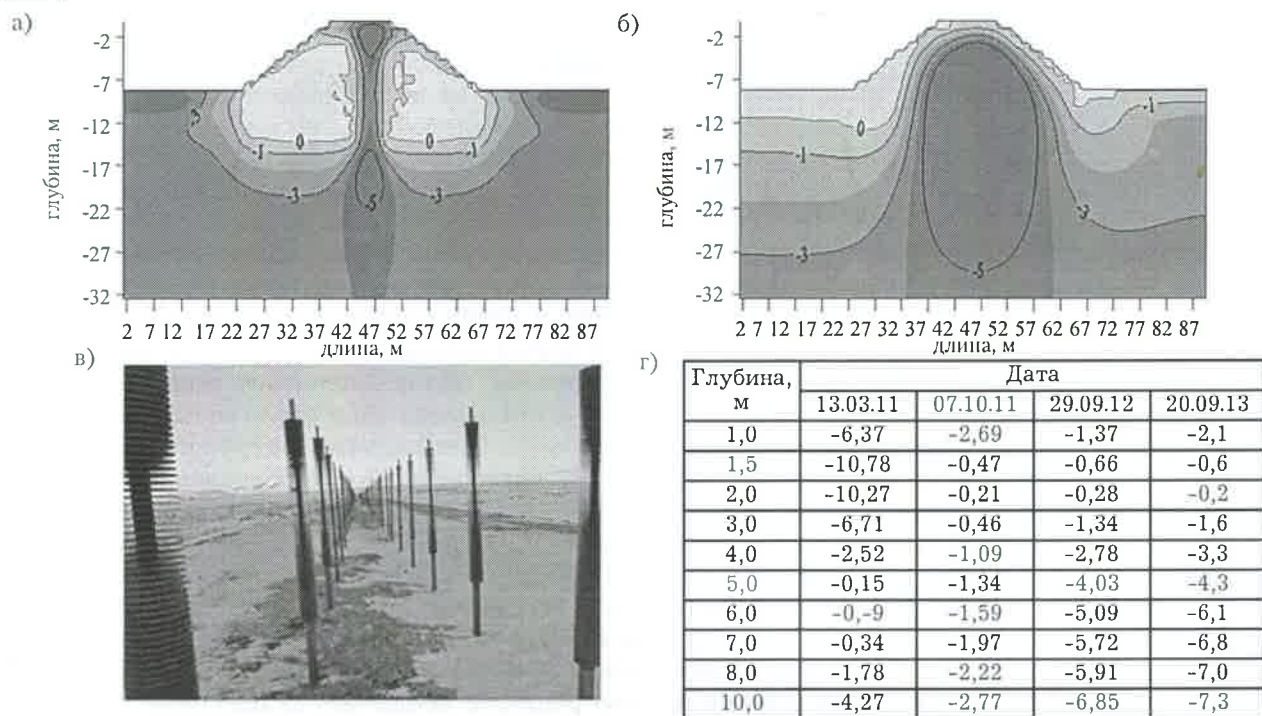


Рис. 3. Формирование льдогрунтовой ПФЗ на плотине Майского ГОК:  
а, б - температурные поля после одного и пяти лет работы термостабилизаторов; в - гребень плотины с установленными термостабилизаторами; г - замеры температуры льдогрунтовой ПФЗ после начала работы термостабилизаторов

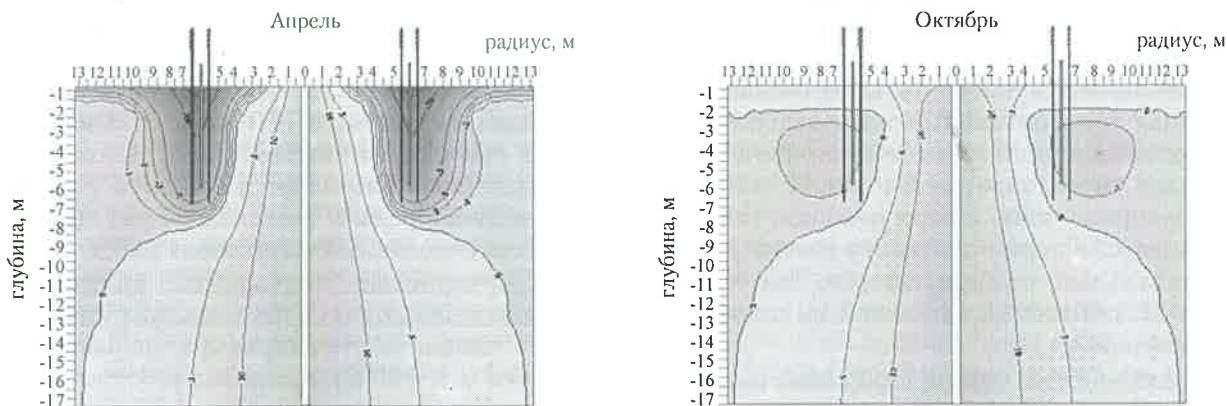


Рис. 4. Температурное состояние льдогрунтовой консольной конструкции после 30 лет эксплуатации газодобывающей скважины

параметры консоли рассчитываются по методике С.Е. Гречищева [6]. Изменяя температуру грунтов и геометрические параметры консоли с помощью выбора типа, параметров и расстановки термостабилизаторов достигается необходимая эксплуатационная надежность технического решения и его экономическая эффективность.

Льдогрунтовые противофильтрационные завесы (ПФЗ) и подпорные стены. В северных природно-климатических условиях при устройстве ПФЗ грунтовых плотин и подпорных стен различного назначения применяются льдогрунтовые конструкции, способные обеспечить высокие противофильтрационные качества и не-

сущую способность. За десятилетия эксплуатации льдогрунтовые ПФЗ последовательно создавались с помощью воздушных, жидкостных и парожидкостных термостабилизаторов (например, плотина грунтового типа на Иреляхском водохранилище, г. Мирный). Возможность замены или дополнительной установки термостабилизаторов в процессе эксплуатации льдогрунтовых ПФЗ и подпорных стен является несомненным преимуществом.

Благодаря современным конструкциям термостабилизаторов и новым методикам прогнозных теплогидравлических расчетов, льдогрунтовые ПФЗ, подпорные стены, льдогрунтовые ядра плотин используются для создания защи-



ты территорий от подтопления подземными грунтовыми водами, предотвращая возникновение наледей, бугров пучения и других опасных мерзлотных процессов.

На рис. 3 приведено температурное поле в теле плотины Майского ГОК на Чукотке, построенной в 2011 г. Проект и расчетное обоснование ПФЗ разработаны специалистами отдела термостабилизации, инженерной защиты и мониторинга ОАО "Фундаментпроект" (Е.Д. Мороз, Ю.А. Власовой [4], М.А. Магомедгаджиевой [5]), а конструирование, изготовление и установка термостабилизаторов выполнены отделением строительно-монтажных работ. Прогноз формирования мерзлого ядра плотины подтвержден натурными измерениями.

Например, на Ю. Хыльчуйском месторождении с помощью системы вертикальных 12-метровых термостабилизаторов сезонного действия запроектирована и успешно эксплуатируется льдогрунтовая ПФЗ.

Факельные установки аварийного сжигания газа являются неотъемлемой частью любого нефтегазового месторождения. Влияние их на многолетнемерзлые грунты основания при температуре на поверхности грунта свыше 100°C рассчитаны по программному комплексу ТГ-НОРД, разработанному Л.А. Дугиновым и М.Х. Разовским [5]. В расчетах дополнительно учитываются высота факельной установки, размер и температура пламени, скорость и направление ветра, фазовые переходы "лед-вода-пар".

В качестве примера ниже приведены результаты расчета динамики температурного поля многолетнемерзлых грунтов основания факельной установки, выполненного Е.А. Мельниковой по программе ТГ-НОРД, с режимом работы: 1 год непрерывно, затем 10 сут в год в течение всего срока эксплуатации (30 лет). При горении температура на поверхности у основания факельного ствола составляет 200°C.

Без учета парообразования (испарения) расчетная глубина оттаивания грунта около факела на 10 м больше, чем при таком же расчете, но с учетом парообразования. Разница глубин фазовых переходов "вода-пар" при расчетах с

учетом и без учета изменения влажности составляет около 1,5 м только за первый год работы факельной установки. Более корректный расчет дает возможность уложить необходимый теплозащитный экран, например, из экструдированных плит "Пеноплэкс" (допустимая температура при эксплуатации которых не выше +50°C) на глубину не более 2,0 м вместо 3,5 м.

### Выводы

Технические решения с использованием несущих льдогрунтовых фундаментных конструкций, создаваемых с помощью различных типов парожидостных термостабилизаторов сезонного и круглогодичного действия, более 15 лет успешно применяются в практике проектирования, строительства и эксплуатации оснований зданий и сооружений, в том числе на объектах обустройства нефтегазоконденсатных месторождений и при застройке северных городов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кутвицкая Н.Б. Фундаменты из упрочненного мерзлого грунта // Проблемы механики грунтов и инженерного мерзлотоведения. - М., 1990. - С. 29-36.
2. Патент 55522. Установка для охлаждения и замораживания грунта / Абросимов А.И., Гвоздик В.И., Минкин М.А. // Бюллетень изобретений, 2003.
3. Патент 2327 940. С1. Гравитационная тепловая труба / Абросимов А.И., Кутвицкая Н.Б., Минкин М.А., Рязанов А.В. // Бюллетень изобретений, 2008. - № 18.
4. Минкин М.А., Дмитриева С.П. Геокриологический прогноз для объектов обустройства газоконденсатного месторождения // Материалы первой конф. геокриологов России. - М., 1996. - С. 89-101.
5. Кутвицкая Н.Б., Дугинов Л.А., Розовский М.Х. и др. Моделирование процессов тепло-влажнопереноса в грунтах методом тепловых и гидравлических сопротивлений // Материалы четвертой конф. геокриологов России. - М., 2011. - С. 261-267.
6. Гречищев С.Е., Магомедгаджиева М.А., Кутвицкая Н.Б. Геокриотехнические расчеты термостабилизруемых грунтовых оснований на участках с пониженной кровлей вечномерзлых грунтов // Промышленное и гражданское строительство. - 2006. - № 9.
7. Кутвицкая Н.Б., Горбунова О.В., Кауркин В.Д., Рязанов А.В. Стабилизация положения трубопровода подземной прокладки в многолетнемерзлых грунтах // "ОФМГ". - 2011. - № 5. - С. 31-34.
8. Дмитриева С.П., Кутвицкая Н.Б., Мороз Е.Д., Власова Ю.А. Льдогрунтовая противифльтрационная завеса грунтовых плотин в суровых природно-климатических условиях // Тр. X Международной конф. по мерзлотоведению. - Салехард - 2011. - Т. 5.