

# Тепловое Взаимодействие Системы «Вертикальная факельная установка – Многолетнемерзлые Грунты Основания» с Учетом Процессов Излучения и Парообразования

А.И. Ракова, Н. Б. Кутвицкая, М.А.Магомедгаджиева

ОАО «Фундаментпроект», Российская Федерация 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, дом 1,  
строение 1. Тел.: (499) 158-04-81; Факс: (499) 158-30-78; Web-site: [www.fundamentproekt.ru](http://www.fundamentproekt.ru),  
E-mail: [fund@fundamentproekt.ru](mailto:fund@fundamentproekt.ru)

Факельные установки аварийного сжигания газа на сегодняшний день являются неотъемлемой частью любого нефтегазового месторождения.

Большинство месторождений углеводородного сырья в России находится в пределах развития криолитозоны, работа факельных установок оказывает негативное действие на многолетнемерзлые грунты (ММГ) основания самой факельной установки, а также зданий и сооружений, расположенных в радиусе её влияния.

Поэтому актуальным является решение вопроса прогнозирования взаимодействия системы «факельная установка – многолетнемерзлые грунты» и разработка технических решений, направленных на сохранение несущей способности оснований факела и окружающих сооружений [2].

Учитывая, что за счет излучения при горении факела на поверхности грунта формируются высокие температуры (значительно выше  $100^{\circ}\text{C}$ ), в грунтах происходит не только процессы оттаивания, но и парообразования. Как правило, в существующих программах теплотехнических расчетов фазовый переход «вода-пар» не учитывается, также как и изменения влажности грунта при парообразовании.

В данной работе проведена оценка влияния процессов парообразования в грунтах под действием излучения горящего факела. Исследование выполнено с использованием специальной программы, основанной на методе тепловых сопротивлений, которая разработана Л.А. Дугиновым и М.Х. Разовским [1].

Эта программа позволяет учитывать такие параметры как высоту факельной установки, размер пламени, тепловой поток, скорость и направление ветра, температуру на поверхности, а также фазовые переходы «лед-вода-пар» и изменения влажности грунта при фазовых переходах. Указанные факторы существенно влияют на значения глубины оттаивания, распределение

температур в массиве грунта, а, следовательно, и на принятие технических решений, связанных с обеспечением устойчивости факельной установки.

В качестве примера рассмотрен факел с режимом работы: 1 год непрерывно, затем 10 суток в год в течении всего срока эксплуатации (30 лет). В режиме горения температура на поверхности у основания факельного ствола составляет  $200^{\circ}\text{C}$ .

Геологический разрез в сновании факельной установки, принятый в расчете, сложен многолетнемерзлыми грунтами сливающегося типа и представлен песчаными и суглинистыми грунтами. Температура грунтов на глубине годовых нулевых амплитуд задана минус  $1.4^{\circ}\text{C}$ .

В прогнозных теплотехнических расчетах рассмотрена зона максимальной тепловой нагрузки в радиусе 50 м от факельной установки.

Результаты расчетов показали, что учет фазовых переходов «лед-вода-пар» и изменения при этом влажности грунтов существенно влияют на температурный режим грунтов. Это наглядно подтверждается приведенными на рис. 1 зависимостями увеличения глубин оттаивания грунтов непосредственно под стволом факела в течение 30-летнего эксплуатационного периода при указанном выше режиме его работы и на рис.2 сопоставлением глубины расположения фронта «вода-пар» в период непрерывного горения факела в течение первого года.

В зависимости от типа факельных установок (вертикальный или горизонтальный факел) и их параметров (температура и продолжительность горения, высота, размер пламени...) температуры на поверхности грунта могут быть значительно выше приведенных в примере (более  $300...600$  градусов). В этом случае вклад процессов парообразования и одновременно влияние изменения влажности грунтов в формирование теплового состояния основания увеличивается.

В целях уменьшения теплового влияния излучения от горящего факела предложены и обоснованы расчетами технические решения, обеспечивающие сохранение несущей способности свайного снования факела на весь период эксплуатации.

Условно эти решения разделены на две группы:

- конструктивные мероприятия, уменьшающие поток излучения от факела к поверхности грунтов;
- теплоизолирующие элементы, закладываемые в грунтовые основания для уменьшения глубин оттаивания в зоне влияния факела.

В первой группе рассмотрены светоотражающие экраны, устанавливаемые вблизи факела и (или) фундаментов. Экраны позволяют уменьшить влияние излучения на локальных участках поверхности, что, помимо уменьшения тепловых потоков в грунты, необходимо для функционирования различных типов сезоннодействующих охлаждающих устройств (например, термостабилизаторов).

Ко второй группе относятся горизонтальные или наклонные слои из теплоизолирующих материалов (теплозащитные экраны – ТЗЭ), которые укладываются в грунты для защиты мерзлых грунтов от процессов многолетнего оттаивания и осадок.

Если конструктивные мероприятия первой группы требуют значительных затрат и их эффективность может снижаться в процессе эксплуатации (из-за загрязнения отражающих поверхностей), то ТЗЭ легки в эксплуатации, их теплозащитные свойства практически не снижаются.

Последнее относится к современным экструдированным пенополистирольным материалам, которые обладают низкой теплопроводностью, высокой прочностью и низкой степенью водонасыщения, что делает их эффективными для использования именно в грунтовых основаниях.

Однако, применение этих материалов ограничено температурным диапазоном – максимально допустимая температура составляет не более 60...80<sup>0</sup>С. При более высоких температурах, которые формируются в основании горящего факела традиционные материалы, такие как керамзитовый гравий, не применимы из-за недолговечности их работы в условиях переменной влажности и температуры.

Наиболее эффективными в условиях высоких температур являются различные материалы с использованием, например, пеностекла.

В настоящей работе разработано решение с использованием двух видов ТЗЭ, укладываемых на глубинах, где их материалы способны выдержать создаваемую факелом температуру грунтов. Таким образом, результаты прогнозных тепловых расчетов основания, которыми учитываются или не учитываются процессы парообразования, являются определяющими при оценке экономической эффективности технических решений основания.

Как видно из рисунка 2, разница в глубинах фазовых переходов «вода-пар» (граница температур 100<sup>0</sup>С), при расчете с учетом и без учета изменения влажности составляет около 1.5м. только за первый год работы факельной установки. Учет фазового перехода «вода-пар» позволяет укладывать ТЗЭ, например, из пенополистирольных плит, выдерживающих температуры не более 60 град., не на глубине не 3.5 м (если фазовый переход «вода-пар» не учтен), а на глубине 2.0 м. При более высоких температурах грунтов этот эффект сказывается существеннее.

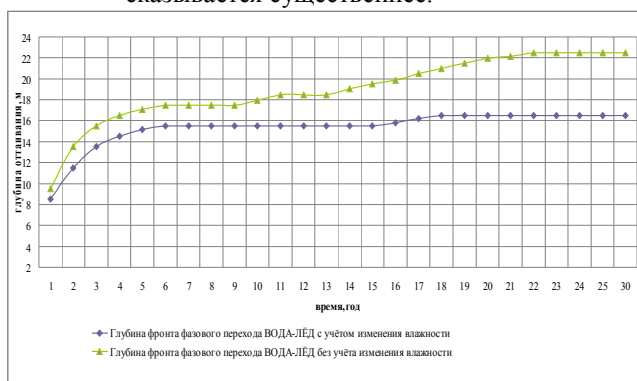


Рисунок 1. Сопоставление динамики оттаивания грунта с учетом и без учета изменения влажности при фазовом переходе «лёд-вода»

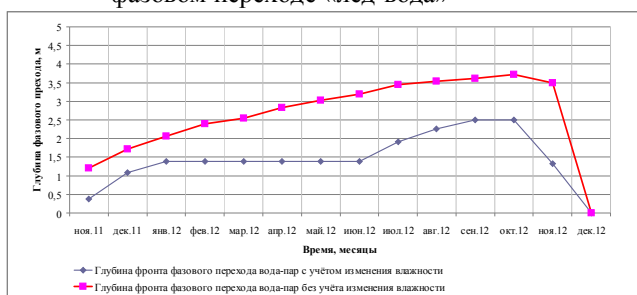


Рисунок 2. Глубина фронта фазового перехода «вода-пар» при температуре 200<sup>0</sup>С на поверхности

Для обеспечения сохранения несущей способности свайного основания факела на весь период эксплуатации возможно также применение традиционных методов, таких как устройство регулируемых опор в основании факельной установки и светоотражающего навеса.

### Литература

1. Кутвицкая Н.Б., Дугинов Л.А., Розовский М.Х., Рязанов А.В., Магомедгаджиева М.А. Моделирование процессов тепло-влажнопереноса в грунтах методом тепловых и гидравлических сопряжений, Материалы четвертой конференции геокриологов России, М., Университетская книга, 2011.
2. Дмитриева С.П., Кутвицкая Н.Б., Ракова А.И. Оценка негативного влияния факельной установки на многолетнемерзлые грунты основания, Сборник трудов Интергажия, партнерство и инновации в строительной науке и образовании. Международная научная конференция, МГСУ, 2011