

Особенности строительства вертикальных стальных резервуаров большой вместимости для хранения нефтепродуктов в особых климатических условиях

А.Ю. Масалитин, И.П. Гулый, В.А. Перфилов

Волгоградский Государственный технический университет, Волгоград

Аннотация: Российская Федерация является одним из лидеров по добыче и переработке нефти, газа и нефтепродуктов. Ещё буквально 100 лет назад человечество не знало, как правильно, и главное бережно, хранить нефтепродукты. Строительство вертикальных стальных резервуаров отлично от строительства обычных (гражданских) зданий и сооружений. Специфика строительства резервуаров рассматривается в данной статье.

Ключевые слова: фундамент, резервуар, нефть, нефтепродукты, строительство, морозное пучение, вечная мерзлота, монтаж.

Российская Федерация является одним из мировых лидеров по добыче и переработке нефти, газа и нефтепродуктов. Все эти продукты должны храниться в специальных «ёмкостях». Строительство таких резервуаров, само по себе, отлично от гражданского, и тем более, в тех случаях, когда он имеет большой объем, расположен в особых климатических или геологических условиях. Проблема строительства таких конструкций в суровых условиях актуальна и сегодня, а ее решение имеет большое значение для дальнейшей добычи в этом направлении.

Основания и фундаменты резервуаров

Усиленное основание – характерная особенность конструктивной составляющей вертикальных стальных резервуаров (далее РВС) большой вместимости. В процессе заполнения резервуара продуктом, создается давление, которое определяется из выражения:

$$\rho = h_p + Q_p / \omega,$$

где h - высота столба жидкости; ρ - плотность жидкости; Q_p - масса резервуара; ω - площадь поперечного сечения резервуара.

В месте прилегания стенки РВС с поверхностью днища создается большая избыточная нагрузка, которую испытывает основание. Укладка прочного фундамента из железобетонных плит или сооружение кольцевого фундамента помогает достичь более прочной конструкции, и как следствие, повышения несущей способности основания. Конкретный тип фундамента определяется путем анализа факторов, таких, как: качество грунтового покрытия (грунта) и неравномерной просадки стенки РВС, точнее необходимость её исключения, дабы минимизировать потерю цилиндричности самого РВС.

Для РВС высотой 11-12 метров давление на грунт не превышает 1,2-1,3 кгс/см²; для резервуаров высотой 17-18 метров - не превышает 1,8-1,9 кгс/см². В процессе подбора участков под резервуарные парки следует выбирать такие участки местности, где грунтовое покрытие (грунт) отвечает требованиям по несущей способности – 1,3-2 кгс/см².

РВС сооружают и эксплуатируют на различных типах грунта, таких как: скальные, полускальные, песчаные, макропористые, глинистые и крупнообломочные [1-3].

В Японии хранилища часто приходится возводить на намытых грунтах. Японские фирмы накопили большой опыт по уплотнению и укреплению грунтов. Грунт уплотняют (до 10 м) с помощью глубинных вибраторов, устанавливаемых на площади 10 м² в количестве 5-10 штук. Под основанием устраивают песчаные сваи в виде скважин, заполненных уплотненным песком. В результате этого несущая способность грунта увеличивается от 0,1 до 4 кгс/см². Согласно методу фирмы «Чиёда» грунт окончательно уплотняют после изготовления корпуса РВС без днища. Его заменяют временной полихлорвиниловой (ПВХ) пленкой. Она размещается по всему

периметру основания и прикрепляется по краям днища. Далее пространство внутри хранилища наполняется водой и выдерживается до 25 суток. Затем из хранилища удаляют всю воду и демонтируют пленку, для возврата конструкции в проектное положение и размеры в местах просадки. После выполняют монтаж днища РВС. Аналогичные основания разрабатываются в России для северных регионов [4].

Основания для нефтехранилищ большой вместимости (10-100 тыс. м³) в России сооружают, как правило, на ровных площадках. Перед началом работ по устройству фундамента снимают растительный слой почвы (грунта) бульдозером, выкорчевывают пни и удаляется слой почвы на соответствующую глубину со всего планируемого участка. Далее производится тщательный осмотр поверхности естественного основания, и состояние грунта с его соответствием геологическому разрезу на уровне планировочной поверхности фиксируется актом. Затем местный грунт (суглинок и др.) укладывается горизонтальными слоями по 15-20 сантиметров, уплотняя каждый слой катками. Вслед за этим насыпают песчаную подушку, которую также уплотняют катками и поливают водой [5].

В случае неблагоприятных инженерно-геологических условий, например, лессовидных просадочных суглинков при строительстве РВС вместимостью 50 тыс. м³, активно используется метод глубокого обжига грунта со стабилизацией структуры просадочного грунта. Для этого в зоне будущего основания фундамента бурят скважины и с помощью газо-воздушной смеси обжигают грунт на глубину до 12 м. После окончания обжига роют котлован глубиной до 2,6 м. Допустимые значения давления на обожженный массив грунта принимаются равным 5 кгс/см² [6].

Чтобы равномерно распределить нагрузку от кровли и стенки по периметру РВС, проектами предусматривается возведение бетонного кольца. Бетонное кольцо собирают из фундаментных плит размером 1200×1200×250

мм. Внутри каждой плиты устанавливают рабочую арматуру. Плиты размещают по периметру резервуара (рис. 1) с изменяющимся зазором между ними 20-94 мм. Сверху плит устраивают цементную подливку толщиной 50 мм. Железобетонное фундаментное кольцо может быть выполнено монолитным с температурными швами через каждые 25 метров длины кольца. Для защиты днища от влияния различных факторов, таких как: воздействие воды и пара, проводят изоляцию особым гидрофобным слоем над песчаной насыпью. Также он способствует уменьшению газопроницаемости грунта и создает препятствие для воздухообмена под днищем.

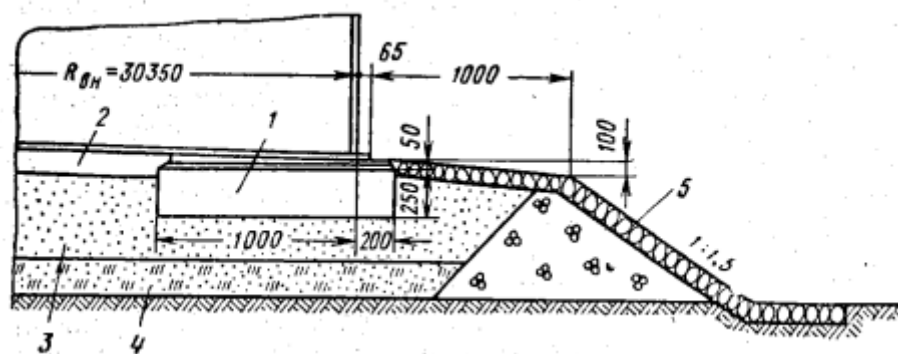


Рис. 1 – Фундамент резервуара вместимостью 50 тыс. м³

1 – бетонное кольцо; 2 – гидрофобный слой; 3 – песчаная подушка; 4 – грунтовая подсыпка; 5 – отсыпка.

Изоляционный слой изготавливается из песчаного грунта с добавлением специальных веществ (материалов), повышающих вязкость путем тщательного перемешивания. В качестве вяжущих материалов используют жидкие битумы, гудрон и полугудрон.

Кроме указанных продуктов нефтепереработки в качестве вяжущего вещества можно использовать сырую с высоким содержанием смол (высокосмолистую) нефть. Ее вязкость по стандартному вискозиметру должна быть не менее 7 Ст, содержание фракций, выкипающих при температуре до 360° С, - около 35% по объему. Применение сырой

высокосмолистой нефти позволяет повысить морозостойкость гидроизолирующего слоя. Смесь готовят в растворомешалках и непосредственно на основании резервуара [7].

Металлы для резервуаров большой вместимости

Для изготовления РВС применяют главным образом сталь следующих видов: сталь углеродистую обыкновенного качества по классу прочности С225 в состоянии поставки; сталь низколегированную конструкционную качественную по классу прочности С325 в состоянии поставки и высокопрочную строительную сталь по классам прочности С440, С590, С735 термически упрочненную.

Требования, предъявляемые к материалам для сооружения резервуаров

Большое напряжение, создаваемое давлением нефти или других углеводородов, которые располагаются в РВС, возникает из-за значительной величины рабочего давления. Как правило, это напряжение действует на нижний пояс (для хранилища вместимостью 50 тысяч куб. м. оно может достигать 30 кгс/мм²). Совокупность нагрузок, таких как ветровая и снеговая, влияет на возникновение дополнительных напряжений в металле. Также стоит учесть наружную температуру воздуха, которая в разных районах России колеблется от -50 до +50° С. Наличие большого числа сварных соединений приводит к возникновению в металле местных остаточных напряжений. Несвоевременное (ранее положенного срока) разрушение дна (днища) и кровли РВС может возникнуть от действия коррозии. Она, в свою очередь, может быть спровоцирована от воздействия ряда факторов, таких, как подмывание подземными водами, влияние атмосферы, сернистых паров нефти и других углеводородов.

Исходя из условий эксплуатации, материалы для производства резервуаров должны обладать определенным набором свойств, таких, как: высокая прочность при достаточно высокой пластичности и вязкости сплава,

минимальная склонность к хрупкому разрушению, разрушению от холода и старения, низкая чувствительность к порезам. Материал должен быть хорошо сварен, чтобы гарантировать полную герметичность резервуара [8-9].

Мероприятия по борьбе с морозным пучением

Для того чтобы минимизировать воздействия сил морозного пучения на основания фундаментов конструкций, в необходимых случаях должны быть предусмотрены меры по борьбе с пучением:

- защита сезонно промерзающего грунта вблизи фундамента от чрезмерного увлажнения;
- покрытие поверхности фундамента в пределах слоя сезонного промерзания грунта кремнийорганической эмалью, термоусаживаемой оболочкой или полимерной пленкой;
- обратная засыпка котлованов после монтажа подземных конструкций непучинистым грунтом.

Для противодействия силам морозного пучения целесообразно использование винтовых свай, а также стальных свай с анкерами из уголков, анкерами – лепестками и т.п. (рис. 2). Эффективно применение свай с термоусаживаемой противопучинистой оболочкой.

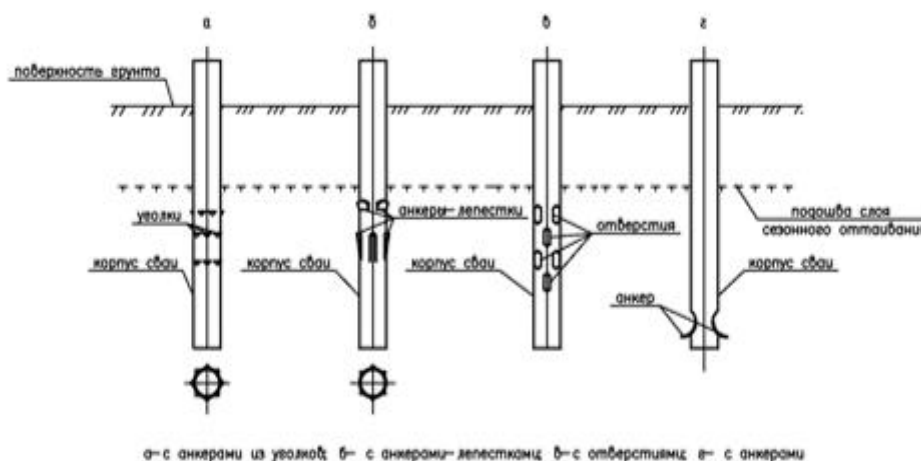


Рис. 2 – Схемы противопучинистых металлических свай

Выводы

Около 25% всей поверхности земли – это районы вечной мерзлоты (далее РВМ). Здесь на сегодняшний день реализовано много объектов, относящихся к добыче, переработке и транспортировке нефтепродуктов. Множество объектов будет реализовано в будущем, в связи с крупными запасами в этих районах. После проведения сравнительного анализа ряда проблем и решений в разных проектах в РВМ (например, фундамент здания, автодороги, ж/д полотна и трубопроводы) можно сделать следующие выводы. Специальное геотехническое проектирование для объектов в РВМ необходимо, чтобы исключить возможные серьезные проблемы [10].

Невозможно с точностью утверждать, какое из конструктивных решений окажется наиболее эффективным. Любые из существующих на сегодняшний день решений могут быть целесообразными для одних условий и совершенно неподходящими для других. В зависимости от типа проекта, для создания стабильной структуры, продуктивной добычи и переработки нефтепродуктов в РВМ следует использовать активные или пассивные системы охлаждения и технологии оттаивания или их комбинацию.

Литература

1. Бородавкин П.П., Березин В.Л. Сооружение магистральных трубопроводов. - Недра. Москва, 1987г., 472 с.
2. Жур В.Н. Определение несущей способности в грунтовых условиях II типа по просадочности свай по фоновым материалам полевых испытаний свай статической нагрузкой // Инженерный вестник Дона. 2013. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2144
3. Godoy L. A. Buckling of vertical oil storage steel tanks: Review of static buckling studies //Thin-Walled Structures. 2016. Т. 103. С. 1-21.

4. Долгих Г.М., Окунев С.Н., Кинцлер Ю.Э. Практический опыт строительства оснований зданий и сооружений в условиях ВМГ. Тюмень. ООО НПО «Фундаментстройаркос» 2002, 456 с

5. Суворов А.Ф., Лялин К.В. Сооружение крупных резервуаров. – Недра. Москва, 1979г., 224 с.

6. Жабер Жубейли. Повышение эффективности эксплуатации резервуаров нефтехранилищ: специальность 05.15.13: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Жабер Жубейли. Москва, 2000. 23 с.

7. Tarasenko A., Chepur P., Gruchenkova A. Study of deformations in a large-capacity oil storage tank in the presence of subgrade inhomogeneity zones //MATEC Web of conferences. EDP Sciences, 2016. T. 73. C. 01025.

8. Грученкова, А. А. Анализ причин разрушения цилиндрических стальных резервуаров для хранения нефти // Нефтегазовый терминал: материалы Международной научно-технической конференции «Транспорт и хранение углеводородного сырья», Тюмень, 25–26 апреля 2019 года. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2019. С. 177-180.

9. Васильев, Г. Г., Сальников А.П. Анализ причин аварий вертикальных стальных резервуаров // Нефтяное хозяйство. 2015. № 2. С. 106-108.

10. Дмитриенко И.А., Перфилов В.А., Особенности строительства свайных фундаментов в зонах вечной мерзлоты на объектах нефтегазовой отрасли: обзор// Инженерный вестник Дона. 2019. №8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N8y2019/6122

References

1. Borodavkin P.P., Berezin V.L. Sooruzhenie magistral'nyh truboprovodov [Construction of main pipelines]. Nedra. Moskva, 1987, 472 p.

2. Zhur V.N. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2144

3. Godoy L. A. Buckling of vertical oil storage steel tanks: Review of static buckling studies Thin-Walled Structures. 2016. T. 103. pp. 1-21.
4. Dolgih G.M., Okunev S.N., Kincler Ju.Je. Prakticheskij opyt stroitel'stva osnovanij zdaniy i sooruzhenij v uslovijah VMG [Practical experience in the construction of foundations for buildings and structures in permafrost soils]. Tjumen'. OOO NPO «Fundamentstrojarkos» 2002, 456 p.
5. Suvorov A.F., Ljalin K.V. Sooruzhenie krupnyh rezervuarov [Construction of large reservoirs]. Nedra. Moskva, 1979, 224 p.
6. Zhaber Zhubejli. Povyshenie jeffektivnosti jekspluatacii rezervuarov neftehranilishh [Improving the efficiency of oil storage tanks operation]: special'nost' 05.15.1: avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehniceskikh nauk Zhaber Zhubejli. Moskva, 2000. 23 p.
7. Tarasenko A., Chepur P., Gruchenkova A. Study of deformations in a large-capacity oil storage tank in the presence of subgrade inhomogeneity zones MATEC Web of conferences. EDP Sciences, 2016. T. 73. p. 01025.
8. Gruchenkova, A. A. Analiz prichin razrushenija cilindricheskikh stal'nyh rezervuarov dlja hranenija nefti Neftegazovyj terminal: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Transport i hranenie uglevodorodnogo syr'ja», Tjumen', 25–26 aprelja 2019 goda Tjumen': Tjumenskij industrial'nyj universitet, 2019. pp. 177-180.
9. Vasil'ev, G. G., Sal'nikov A.P. Analiz prichin avarij vertikal'nyh stal'nyh rezervuarov Neftjanoe hozjajstvo. 2015. № 2. pp. 106-108.
10. Dmitrienko I.A., Perfilov V.A., Inzhenernyj vestnik Dona. 2019. №8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N8y2019/6122.