

УДК 624.131:627.325.6

**ВОПРОСЫ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ
ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЯНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ
НА ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ ГРУНТАХ**

**THE OVERALL SAFETY DURING LONG-TERM OPERATION OF OIL
TANKS FOR WATER-SATURATED SANDY-CLAY SOILS**

Белов Г.П., Галлямов Э.Э., Хазиев А.Ф., Шутов Н.В.

**Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская федерация**

G. P. Belov, E. E. Gallyamov, A. F. Khaziev, N. In. Shutov

**Ufa State Petroleum Technological University,
Ufa, the Russian Federation**

e-mail: pkpb@mail.ru

Аннотация. В современных условиях интенсивного развития нефтяной промышленности эффективность функционирования нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий определяется надежной и безаварийной эксплуатацией всего комплекса сооружений, входящих в его состав.

Опыт длительной эксплуатации нефтяных резервуаров для хранения нефтяных углеводородов показывает, что возникновение аварийных ситуаций на объектах нефтяного комплекса происходит по различным причинам и приводит к экономическим, социальным потерям, к серьезным экологическим последствиям.

Функционирование резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов во всех случаях сопровождается контаминацией грунтов основания и подземных вод нефтяными углеводородами, что приводит к их

биохимическому преобразованию под воздействием аэробных и анаэробных форм микроорганизмов, углеводородному загрязнению, разрушению структурных связей песчано-глинистых грунтов, повышению содержания малорастворимых газов (метан, азот, водород), снижению у них трения и сцепления, уменьшение их несущей способности. Как следствие данных процессов возникают аварийные ситуации в процессе длительной эксплуатации нефтяных резервуаров вплоть до разрушений емкости приводящей к загрязнению окружающей среды.

Оценка длительной устойчивости нефтяных резервуаров проводится сегодня при условии перехода водонасыщенных песчано-глинистых грунтов основания резервуаров в квазиупругое состояние под действием циклов нагрузки-разгрузки. Однако опыт эксплуатации резервуаров показывает, что в случае наличия в основании водонасыщенных песчано-глинистых грунтов, привнесенной микробиоты в подземной среде, контаминации грунтов основания нефтепродуктами и их подогрева наблюдается активизация деятельности микроорганизмов. Этот процесс переводит глинистые грунты в квазипластическое, квазитекучее состояние, а пески- в состояние «тяжелой жидкости» (пывуна) и к потере устойчивости резервуара.

В статье обсуждается проблема комплексной безопасности системы «основание - резервуар – окружающая среда» в сложных грунтовых условиях, связанных с контаминацией грунтов, подземных и поверхностных вод нефтепродуктами. Даны рекомендации по повышению уровня безопасности при длительной эксплуатации резервуаров для хранения углеводородов.

Abstract. In modern conditions of intensive development of the oil industry the efficiency of oil refineries is determined by the reliable and trouble-free operation of the whole complex of buildings, included in its composition.

The long operational experience of oil storage tanks petroleum hydrocarbons shows that the occurrence of emergency situations on objects of the oil complex

occurs for various reasons and causes economic and social losses, severe environmental consequences.

The operation of storage tanks for oil and oil products in all cases is accompanied by contamination of soils and groundwater with petroleum hydrocarbons, which leads to their biochemical transformation under the impact of aerobic and anaerobic forms of microorganisms, hydrocarbon pollution, destruction of structural links sandy-clayey soils, increased content of poorly soluble gases (methane, nitrogen, hydrogen) to reduce friction and they have a clutch, reducing their bearing capacity. As a consequence of these processes there are emergencies during the long process of exploitation of oil reservoirs up to the destruction capacity leading to environmental pollution.

Assessment of long-term stability in oil reservoirs is performed today in the condition of transition of water-saturated sand-clay soils underlying reservoirs in quasi-elastic state under the action of cycle loading / unloading. However, the experience of exploitation of reservoirs shows that in the case of the base saturated sand-clay soils, the introduction of microbiota in the underground environment, contamination of soils with petroleum products and heating has been an intensification of activities of microorganisms. This process converts clay soils in quasilasticity, quaziteque state, and Sands in a state of "heavy liquid" (quicksand) and to the loss of stability of the tank.

The article discusses the problem of integrated security system "Foundation - tank – environment" in difficult ground conditions associated with the contamination of soils, groundwater and surface waters with oil. Recommendations for improving safety during long-term operation of storage tanks for hydrocarbons.

Ключевые слова: устойчивость, комплексная безопасность, нефтяные резервуары, контаминация.

Key words: sustainability, integrated security, oil tanks, contamination.

Резервуарные парки для хранения нефти и нефтепродуктов являются важнейшей и неотъемлемой составляющей топливно-энергетического комплекса (ТЭК). Степень надежности нефти и нефтепродуктов, резервуарных парков во многом определяет стабильность обеспечения регионов России важнейшими топливно-энергетическими ресурсами.

Резервуары и резервуарные парки в соответствии с ФЗ №116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» относятся к группе опасных производственных объектов и к ним предъявляются более высокие требования по расчету прочности и устойчивости несущих конструкций, контролю качества строительно-монтажных и ремонтных работ, приемочным испытаниям.

При эксплуатации резервуаров и резервуарных парков возможно наличие, при соответствующих условиях, следующих опасных и вредно производственных факторов:

- образование взрывоопасной среды в резервуаре;
- загазованность воздуха рабочей зоны (в пределах территории резервуарного парка, в целом предприятия);
- повышенный уровень статического электричества;
- необходимость работ на высоте;
- недостаточная освещенность на рабочем месте;
- возможность воздействия на организм человека электрического тока;
- повышенная или пониженная влажность воздуха;
- поступление загрязняющих веществ в грунтовую толщу, на поверхность территории, в подземные воды;

Основные требования по безопасности труда, охрана окружающей среды, пожарной безопасности при эксплуатации резервуаров и резервуарных парков представлены в [1].

В современных условиях интенсивного развития нефтяной промышленности эффективность функционирования нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий определяется надежной и

безаварийной эксплуатацией всего комплекса сооружений, входящих в его состав.

Опыт длительной эксплуатации нефтяных резервуаров для хранения нефтяных углеводородов показывает, что возникновение аварийных ситуаций на объектах нефтяного комплекса происходит по различным причинам и приводит к экономическим, социальным потерям, к серьезным экологическим последствиям.

Согласно данным [2], количество загрязняющих веществ, поступивших в грунтовую толщу, на поверхность территории, в подземные воды с предприятий нефтяной промышленности, составило 3 млрд т, из которых на твердые и жидкие углеводороды в их чистом виде приходится около 5,1 млн т. Такое количество углеводородов связано не только с авариями при добыче и переработки нефти, но и с утечками нефти и нефтепродуктов при их хранении и транспортировке.

Хранение нефтяных углеводородов осуществляется, в основном, в стальных резервуарах различного объема (от 100 до 200 тыс. м³). При этом средний объем потерь из каждой емкости может достигать 2,5 т в год. Утечка углеводородов может происходить из-за нарушения целостности резервуаров за счет: коррозии днища и стенок, изменения напряженно-деформированного состояния стальных конструкций при развитии по разным причинам неравномерных осадок грунтов основания.

Основными причинами аварий нефтяных стальных резервуаров являются (в скобках указан процент повторений от общего числа причин аварий)[3]:

- развитие неравномерных осадок грунтов основания(>46%);
- концентрация напряжений в несущих и ограждающих элементах резервуаров из-за несовершенств их конструкций и технологий воздействия резервуаров;
- наличие низкочастотной вибрации и неравномерного нагружения плавающих крыш снеговой нагрузкой с неоднородным трением в затворах,

приводящих к заклиниванию и обрушению крыш с последующим их разрушением и затоплением ($\leq 18\%$);

- дефекты в материалах и конструкциях из-за несоответствия их свойств сертификационным требованиям ($\geq 9\%$);

- нарушение технологии изготовления возведения ($\geq 5\%$);

- несоответствие характеристик используемых материалов, грунтов основания реальным условиям эксплуатации резервуаров;

- грубые ошибки в аналитических расчетах и проектировании резервуаров по предельным состояниям ($\leq 1\%$).

Следует отметить, что характеристики используемых материалов, грунтов основания, возможных состояний элементов резервуаров и резервуаров в целом в их жизненном цикле являются случайными величинами.

Следовательно, при проектировании системы «основание – резервуар – окружающая среда» следует использовать вероятностные методы расчета (ВМР) как единственный метод, позволяющий объективно количественно оценить качество, надежность, риски, комплексную безопасность системы.

Рассмотрим более подробно возможные изменения состояний и физико-механических свойств водонасыщенных дисперсных грунтов в основании нефтяных резервуаров при их эксплуатации:

- технология подогрева нефтяных резервуаров, особенно мазутных емкостей, и возможность контаминации грунтовой толщи основания нефтяными углеводородами при их загрузке - разгрузке [4]. Дело в том, что при хранении тяжелых нефтепродуктов (мазут и др.) эксплуатация резервуаров сопровождается подогревом емкости в пределах 60-90 °С. Это приводит к нагреву верхней зоны водонасыщенной песчано-глинистой толщи оснований до температуры порядка 35 °С, что приводит к изменению структуры и свойств воды (натяжения, теплота испарения, вязкость и др.), термовлагоперенос и влияет на изменение свойств грунтов (прочности, деформируемости). Так при увеличении температуры от 14 до

40 °С ползучесть водонасыщенных глинистых грунтов интенсифицируется, а модуль мгновенной деформации снижается более чем в два раза. Пески могут приходить в состояние «тяжелой» жидкости (пывуч.).

Функционирование резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов во всех случаях сопровождается контаминацией грунтов основания и подземных вод нефтяными углеводородами, что приводит к их биохимическому преобразованию под воздействием аэробных и анаэробных форм микроорганизмов, углеводородному загрязнению, разрушению структурных связей песчано-глинистых грунтов, повышению содержания малорастворимых газов (метан, азот, водород), снижению у них трения и сцепления, уменьшению их несущей способности. Как следствие данных процессов возникают аварийные ситуации в процессе длительной эксплуатации нефтяных резервуаров вплоть до разрушений емкости приводящей к загрязнению окружающей среды.

Учитывая вышесказанное, для обеспечения комплексной безопасности следует:

- при подготовке исходных данных системы «основание резервуара окружающей среды» считать их случайными величинами;
- при количественной оценке характеристик учитывать их возможные вариации с помощью коэффициента вариации, надежности и обеспеченности,
- использовать при проектировании ВМР, основная цель которых – повысить объективность расчетов, что достигается через оценку их надежности [5,6];
- моделировать (прогнозировать) возможные конкурирующие варианты возможного поведения системы «основание-резервуар-окружающая среда»;
- использовать цикл нагрузка-разгрузка для уплотнения грунтов оснований;

- применять свайные фундаменты;
- осуществлять постоянный мониторинг, научно-техническое сопровождение в процессе эксплуатации.

Выводы

Рассмотрены особенности эксплуатации стальных нефтяных резервуаров для хранения углеводородов.

Отмечена превалирующая роль процесса контаминации грунтов основания для активизации деятельности микроорганизмов, ухудшение физико-механических свойств грунтов основания в процессе длительной эксплуатации резервуаров и возможности потери их устойчивости.

Предложен комплекс мероприятий для повышения комплексной безопасности, уменьшение вероятности потенциальных аварийных ситуаций при длительной эксплуатации нефтяных резервуаров для хранения углеводородов.

Список используемых источников

- 1 Резервуары для нефти и нефтепродуктов/Ф.М. Мустафин, Р.А. Жданов, М.Г. Каравайченко, Ф.Ш. Ахметов, Д.А. Бондарчук, И.Э. Лукьянова. СПб недр 2010. Т. 1. Конструкции и оборудование. 477с
- 2 О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2014 году: гос. докл. М.: Минприроды России, 2015. 407с.
- 3 Землянский А.А. Инновационные принципы проектирования резервуаров нового поколения для хранения углеводородов. URL: <http://www.swored.com.ua/simpoz2/112.pdf>.(датаобращения21.01.2016)
- 4 Дашко Р.Э., Ланга Н.Ю. Прогнозирование изменения несущей способности песчанно-глинистых грунтов в процессе их контаминации нефтепродуктами// Записки Горного университета. 2015. №211. С 16-20
- 5 Лычев А.С. Надежность строительных конструкций. М.: АСВ.2008. 184с

6 Ермолаев Н.Н., Михеев В.В. Надежность оснований сооружений. Стройиздат, 1976. 152с.

References

1 Kitaev S.V., Smorodova O.V., Useev N. F. Ob energetike Rossii//Problemi sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproductov. 2016. №4(106). S.241 – 249. [in Russian].

2 1 Rezervuary dlja nefi i nefteproductov/F.M. Mustafin , R.A. Zhdanov, M.G. Karavajchenko, F.Sh. Ahmetov, D.A. Bondarchuk, I.Je. Luk'janova. SPb nedra 2010. T. 1. Konstrukcii i oborudovanie. 477s. [in Russian].

3 O sostojanii i ob ohrane okruzhajushhej sredy Rossijskoj Federacii v 2014 godu: gos. dokl. M.: Minprirody Rossii, 2015. 407s. [in Russian].

4 Zemljanskij A.A. Innovacionnye principy proektirovanija rezervuarov novogo pokolenija dlja hranenija uglevodorodov. URL: <http://www.swored.com.ua/simpoz2/112.pdf>.(dataobrashhenija 21.01.2016) [in Russian].

5 Dashko R.Je., Langa N.Ju. Prognozirovanie izmenenija nesushhej sposobnosti peschanno-glinistyh gruntov v processe ih konteminacii nefteproductami// Zapiski Gornogo universiteta. 2015. №211. S 16-20. [in Russian].

6 Lychev A.S. Nadezhnost' stroitel'nyh konstrukcij. M.: ASV.2008. 184s. [in Russian].

7 Ermolaev N.N., Miheev V.V. Nadezhnost' osnovanij sooruzhenij. Strojizdat, 1976. 152s. [in Russian].

Сведения об авторах

About the authors

Белов Г.П., канд. техн. наук, доцент кафедры «Пожарная и промышленная безопасность (ППБО)» ФГБОУ ВО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация.

G. P. Belov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Chair “Fire and industrial safety (PBO)”, FSBEI HE USPTU, Ufa, the Russian Federation.

Галлямов Э.Э., бакалавр гр. БЧС -13-01 ФГБОУ ВО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация.

E. E. Gallyamov, Undergraduate Student of БЧС-13-01group FSBEI HE USPTU, Ufa, the Russian Federation.

Хазиев А.Ф., бакалавр гр. БЧС-13-01 ФГБОУ ВО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация.

A. F. Khaziev, Undergraduate Student of БЧС-13-01group FSBEI HE USPTU, Ufa, the Russian Federation.

Шутов Н.В., канд. техн. наук, профессор кафедры «Пожарная и промышленная безопасность (ППБО)» ФГБОУ ВО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация.

N. V. Shutov, Candidate of Engineering Sciences, Professor of the Chair “Fire and industrial safety (PBO)” FSBEI HE USPTU, Ufa, the Russian Federation.