

УДК 621.642.39.03

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КРИТЕРИЕВ СТАНДАРТА API-653 ДЛЯ ОЦЕНКИ НЕРАВНОМЕРНОЙ ОСАДКИ РЕЗЕРВУАРОВ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ТИПОРАЗМЕРОВ

Чепур П.В., Тарасенко А.А., Грученкова А.А.

Тюменский государственный нефтегазовый университет, Тюмень,
e-mail: chepur@me.com, a.a.tarasenko@gmail.com

Проведены расчеты допустимой неравномерной осадки для резервуара РВС-20000 согласно стандарту Американского Института Нефти API-653. Выполнено сравнение допускаемых значений осадки с российскими нормативами, в частности, РД-23.020.00-КТН-283-09 ОАО «АК «Транснефть». Осуществлено конечно-элементное моделирование процесса развития неравномерной осадки резервуара РВС-20000 для получения параметров НДС конструкции при критических значениях, установленных в API-653 [15]. Установлены возникающие напряжения и деформации, вызванные неосесимметричным деформированием конструкции резервуара. Получены зависимости максимальных эквивалентных напряжений в металлоконструкциях РВС от величины вертикальной составляющей осадки для просадочных зон длиной от 6 до 72 м. Установлено, что при длине просадочной зоны 6 м предельное состояние вызывает вертикальная осадка 30 мм, а напряжения в стенке превышают 330 МПа. При длине просадочной зоны 36 м напряжения достигают предела текучести только при 100 мм вертикальной составляющей осадки.

Ключевые слова: резервуар, РВС, НДС, основание, фундамент, МКЭ, API 653, НТД

ANALYSIS OF CRITERIA STANDARD API-653 FOR EVALUATION DIFFERENTIAL SETTLEMENT TANKS OF RUSSIAN SIZES

Chepur P.V., Tarasenko A.A., Gruchenkova A.A.

Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, e-mail: chepur@me.com, a.a.tarasenko@gmail.com

The calculations of allowable differential settlement for the tank RVS-20000 according to the standards of the American Petroleum Institute API-653. The comparison allowed drafts to the Russian standards, in particular, the RD-23.020.00-KTN-283-09 «Transneft». Implemented finite element modeling of the process of differential settlement tank RVS-20000 to obtain design parameters stress-strain state at critical values established in API-653 [15]. Installed emerging stresses and strains caused by non-axisymmetric deformation of the tank structure. The dependences of the maximum equivalent stress in structures tank on the value of the vertical component of rainfall for subsidence zones ranging in length from 6 to 72 m. It was found that the length of the subsidence zone 6 m vertical limit condition causes sediment to 30 mm, and the stresses in the wall exceeds 330 MPa. With a length of 36 m subsidence zone, stress reaches the yield stress only at 100 mm vertical component of rainfall.

Keywords: tank, aboveground tank, stress-strain state, base, foundation, FEM, API 653, standard

Неравномерные осадки являются одной из причин, приводящих к возникновению предельных состояний в металлоконструкциях вертикальных стальных резервуаров, что в отдельных случаях приводит к аварийным ситуациям. Существует ряд нерешенных вопросов, связанных с оценкой реального напряженно-деформированного состояния РВС, подверженного явлению неравномерных осадок основания. При неосесимметричных деформациях корпуса резервуара не всегда можно определить зоны с повышенными напряжениями в металлоконструкциях и, как следствие, принять эффективные меры для устранения проблемы. Для предотвращения появления недопустимых напряжений в конструкции РВС, в отечественных и зарубежных нормативных документах приняты критерии, определяющие допустимые значения неравномерной осадки. Так, в нормативных документах РФ (ГОСТ, РД, СА, РБ) и США (API) представлены конкретные формулы, зависимости и табличные значения, позволяющие определить предельную осад-

ку для РВС различных конструкций и типоразмеров. Необходимо отметить, что в некоторых странах вообще отсутствуют четкие требования к назначению допустимой осадки. Так, в стандартах Eurocode EN (Евросоюз), BS (Великобритания) предельную осадку назначает проектная организация исходя из требований заказчика, при этом выполняется полное техническое обоснование принятых решений с участием специалистов, имеющих соответствующую квалификацию. Расширение международных связей, глобализация энергетических рынков и, как следствие, привлечение зарубежных подрядчиков для сооружения резервуаров на территории РФ, предопределило необходимость гармонизации отечественной нормативной базы в области резервуаростроения. Авторами предлагается рассмотреть возможность использования требований стандарта API-653 (Appendix B) к назначению допустимых осадок резервуаров отечественного образца. Существенной проблемой является то, что резервуары, построенные

по отечественным и западным стандартам, имеют различия в конструкции и применяемых материалах, что влияет на общую жесткость сооружения, определяющую согласно [8] характер деформирования корпуса РВС при развитии неравномерных осадок. Поэтому для обоснования возможности использования американского стандарта API, необходимо выполнить ряд проверочных расчетов НДС конструкции резервуара при заданных параметрах неравномерной осадки, определить действующие напряжения в конструктивных элементах и сравнить их с допускаемыми значениями для определенной марки стали (09Г2С). Далее авторами будет рассматриваться наиболее распространенный в РФ резервуар РВС-20000 со стационарной крышей и ж/б фундаментным кольцом.

В стандарте API-653 [15] максимально допустимая величина осадки рассчитывается индивидуально для каждого резервуара, имеющего неравномерные составляющие осадки. Для этого выполняется нивелировка наружного контура днища и построение кривой депланации. Далее выделяются просадочные зоны и определяется их дли-

на – S_{arc} , называемая «дугой просадки». Для каждой дуги просадки в соответствии с формулой (1) рассчитывается предельно допустимая вертикальная составляющая – S_{max} . В данной формуле (API-653, Appendix B.3.2.2) учитывается диаметр и высота РВС, материал резервуарной стали. В таблице (ч. 1) представлены дополнительные безразмерные коэффициенты, тип конструкции РВС, выбираемые в соответствии с диаметром резервуара.

$$S_{max} = \min [K \times S_{arc} \times (D / H) \times (Y / E)], \quad (1)$$

где S_{max} – предельно допустимая величина вертикальной составляющей неравномерной осадки, дюйм;

S_{arc} – эффективная длина дуги просадочной зоны, футы;

D – диаметр резервуара, футы;

Y – предел текучести металла резервуара, фунт-сила на квадратный дюйм;

E – модуль Юнга, футы;

H – высота резервуара, футы;

K – безразмерный параметр, зависящий от типа и диаметра резервуара, выбирается в соответствии с данными таблицы.

Таблица

Часть 1		Часть 2	
Выбор коэффициента K в зависимости от диаметра РВС согласно API-653 [15]		Параметры РВС-20000 для расчета допустимой осадки согласно (1)	
Диаметр РВС, фут	K, для резервуаров со стационарной крышей	Параметр	Значение параметра
$D \leq 50$	10,5	$S_{arc}, м$	6..72
$50 < D \leq 80$	5,8	$D, м$	45,6
$80 < D \leq 120$	3,9	Y (09Г2С), МПа	325
$120 < D \leq 180$	2,3	E , МПа	210000
$180 < D \leq 240$	не применимо	H , м	14
$240 < D \leq 300$	не применимо	Коэффициент K	2,3
$300 < D$	не применимо		

Для выполнения проверочного расчета резервуара РВС-20000 выбраны значения дуги просадки S_{arc} с длиной от 6 до 72 метров. Другие параметры резервуара представлены в таблице (ч. 2). С помощью формулы (1) были получены предельные значения осадки точек наружного контура днища в зависимости от величины просадочной зоны РВС-20000. На рис. 1 данные зависимости представлены графически.

Также на график нанесены предельные значения осадки в соответствии с требованиями отраслевого стандарта ОАО «АК «Транснефть» РД-23.020.00-КТН-283-09. Видно, что предельные допуски по величине неравномерной осадки в стандарте API-653 намного шире, нежели в оте-

чественном документе, что особенно проявляется при величине просадочной зоны более 10 м. Это объясняется большей жесткостью резервуаров, построенных по стандартам API.

Для того чтобы рассчитать параметры НДС резервуара РВС-20000 при предельных значениях, определенных в [15], авторами предлагается воспользоваться созданной в [12] и верифицированной в [7] конечно-элементной моделью резервуара. Разработанная в программе ANSYS модель позволяет получать значения эквивалентных напряжений и деформаций металлоконструкций РВС при задании параметров осадки – длины просадочной зоны и вертикальной составляющей.

Расчетная схема, граничные и контактные условия, параметры нагружения для модели подробно описаны в [12]. На рис. 2–4 представлены результаты чис-

ленного моделирования развития осадки РВС-20000 для просадочных зон длиной 12, 72 м и вертикальных составляющих 10, 30, 100 мм.

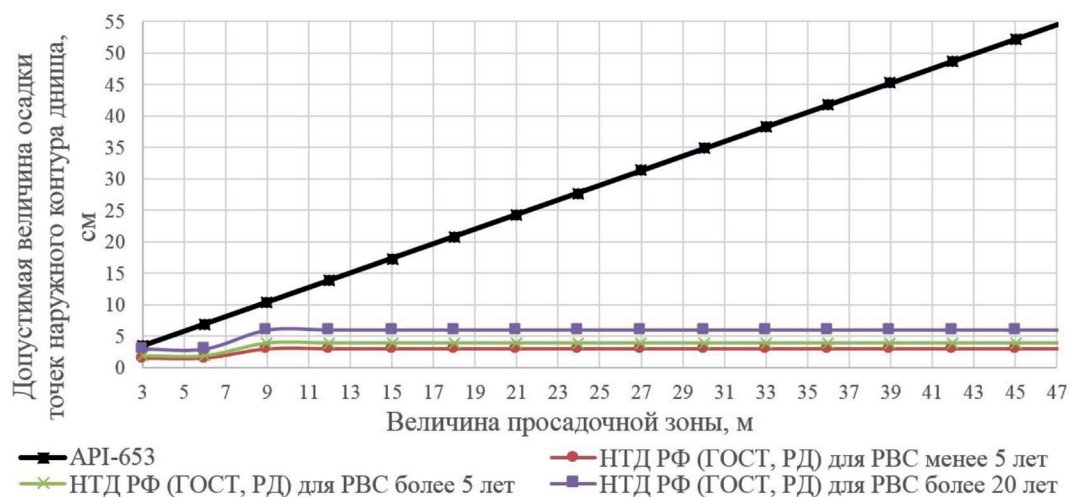


Рис. 1. Требования НТД России и США, определяющие предельные значения осадки точек наружного контура днища в зависимости от величины просадочной зоны РВС

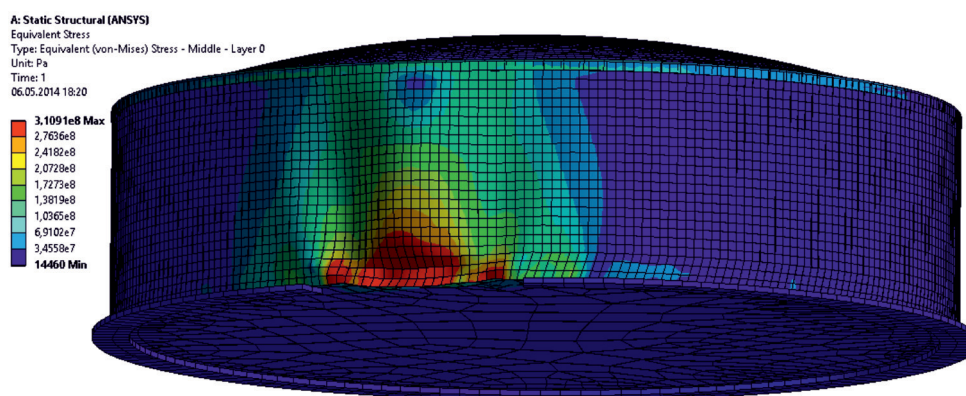


Рис. 2. Действующие напряжения при осадке 30 мм с просадочной зоной 12 м

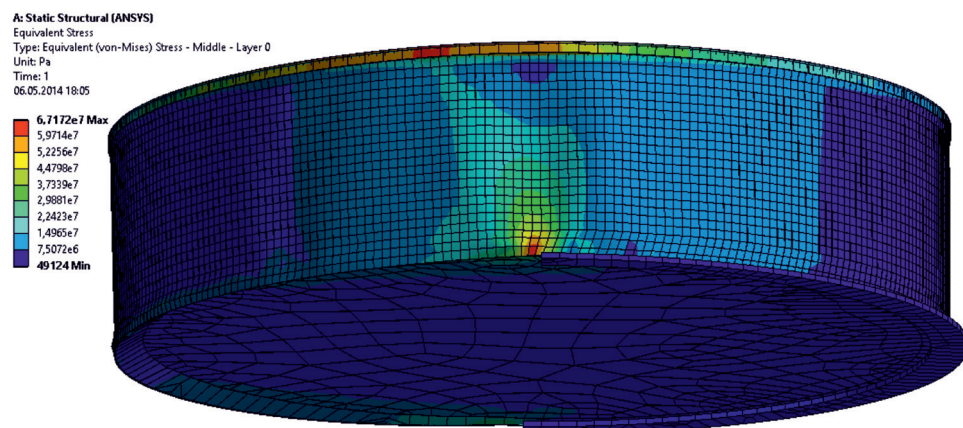


Рис. 3. Действующие напряжения при осадке 10 мм с просадочной зоной 72 м

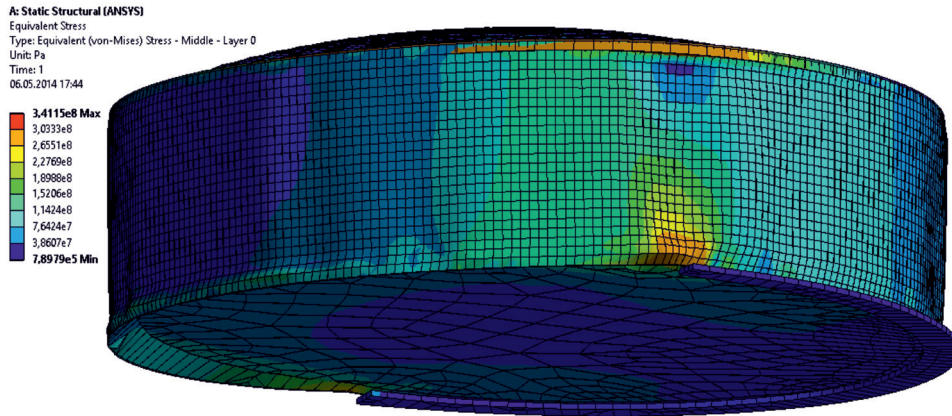


Рис. 4. Действующие напряжения при осадке 100 мм с просадочной зоной 72 м

Результаты постпроцессинговой обработки результатов позволили получить зависимости максимальных эквивалентных напряжений в металлоконструкциях РВС от величины вертикальной составляющей осадки для просадочных зон длиной от 6 до 72 м. На представленном графике (рис. 5) обозначены предельные зоны: 1 – зона,

где напряжения в металлоконструкциях не превышают допускаемые согласно НТД РФ (188 МПа); 2 – зона, где напряжения превышают допускаемые и при значении 325 МПа достигают предела текучести для резервуарной стали 09Г2С; 3 – зона наступления недопустимых пластических деформаций.

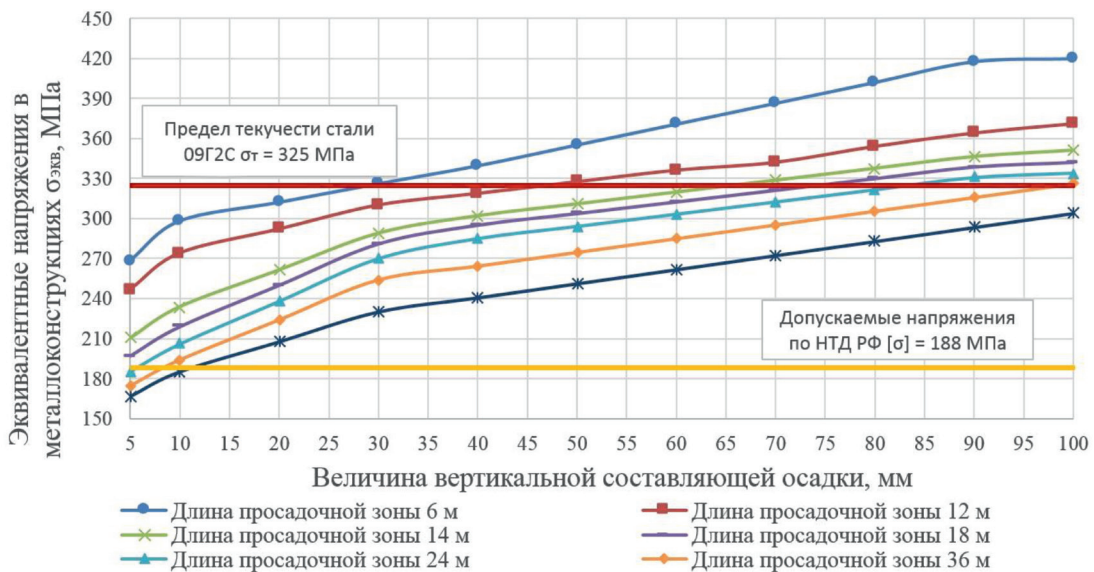


Рис. 5. Зависимости максимальных эквивалентных напряжений в металлоконструкциях РВС от величины вертикальной составляющей осадки для просадочных зон длиной от 6 до 72 м

Полученные зависимости свидетельствуют о том, что предельное состояние в конструкции РВС-20000 возникает при вертикальной осадке 100 мм с величиной просадочной зоны до 72 м, что составляет $\frac{1}{2}$ длины наружного контура днища резервуара. При этом согласно [15] для резервуаров, построенных по нормам АРІ, до-

пустимой осадкой является депланация с вертикальной составляющей 500 мм при длине просадочной зоны 45 м. Это, несомненно, говорит о недопустимости прямого использования американских стандартов при оценке неравномерной осадки отечественных РВС. Чтобы использовать подходы стандарта [15] и гармонизировать

стандарты РФ в части оценки неравномерных осадок основания, необходимо провести дополнительные расчеты с целью получения зависимостей и коэффициентов для резервуаров российской конструкции.

Выводы

1. Проведены расчеты допустимой неравномерной осадки для резервуара РВС-20000 согласно стандарту Американского Института Нефти API-653 [15]. Выполнено сравнение допускаемых значений осадки с российскими нормативами, в частности, РД-23.020.00-КТН-283-09 ОАО «АК «Транснефть». Допуски на осадку, установленные в отечественных документах, намного жестче по сравнению с американскими (рис. 1), в особенности при длине зон депланации более 10 м, когда разница допускаемых значений вертикальной составляющей осадки отличается в 2,5 раза и более.

2. Выполнено конечно-элементное моделирование процесса развития неравномерной осадки резервуара РВС-20000 для получения параметров НДС конструкции при критических значениях, установленных в API-653 [15]. Рассмотрены зоны депланации длиной от 6 до 72 м, с вертикальными составляющими от 5 до 100 м. Установлены возникающие напряжения и деформации, вызванные неосесимметричным деформированием конструкции резервуара.

3. Получены зависимости максимальных эквивалентных напряжений в металлоконструкциях РВС от величины вертикальной составляющей осадки для просадочных зон длиной от 6 до 72 м. Установлено, что при длине просадочной зоны 6 м предельное состояние вызывает вертикальная осадка 30 мм, а напряжения в стенке превышают 330 МПа. При длине просадочной зоны 36 м, напряжения достигают предела текучести только при 100 мм вертикальной составляющей осадки.

4. На основании проведенных расчетов, можно сделать вывод, что представленные в [15] критерии нельзя использовать при определении допустимой неравномерной осадки РВС, построенных по отечественным стандартам. Для этого необходимо провести дополнительные исследования НДС с целью определения коэффициентов в формуле (1), которые бы отражали жесткостные характеристики резервуара РВС-20000, после чего предложенный подход [15] можно было бы распространить в отечественном резервуаростроении.

Список литературы

1. Тарасенко А.А. Напряженно-деформированное состояние крупногабаритных резервуаров при ремонтных работах: дис. канд. техн. наук. – Тюмень, 1991. – 254 с.
2. Тарасенко А.А., Николаев Н.В., Хоперский Г.Г., Овчар З.Н., Саяпин М.В. Исследование влияния приемо-раздаточных патрубков на напряженно-деформированное состояние стенки вертикальных цилиндрических резервуаров // Известия вузов «Нефть и газ». – Тюмень, 1998. – № 1. – С. 59–68.
3. Тарасенко А.А., Николаев Н.В., Хоперский Г.Г., Саяпин М.В. Напряженно-деформированное состояние стенки резервуара при неравномерных осадках основания // Известия вузов «Нефть и газ». – Тюмень, 1997. – № 3. – С. 75–79.
4. Тарасенко А.А., Чепур П.В. Деформирование стационарной крыши крупногабаритного резервуара при неравномерных осадках основания // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11-2. – С. 296–300.
5. Тарасенко А.А., Чепур П.В. Напряженно-деформированное состояние верхнего опорного кольца резервуара при неосесимметричных деформациях корпуса // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11-3. – С. 525–529.
6. Тарасенко А.А., Чепур П.В., Кузовников Е.В., Тарасенко Д.А. Расчет напряженно-деформированного состояния приемо-раздаточного патрубка с дефектом с целью обоснования возможности его дальнейшей эксплуатации // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9-7. – С. 1471–1476.
7. Тарасенко А.А., Чепур П.В., Тарасенко Д.А. Деформирование верхнего края оболочки при развитии неравномерных осадок резервуара // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 6-3. – С. 485–489.
8. Тарасенко А.А., Чепур П.В., Чирков С.В. Исследование собственной жесткости вертикального стального цилиндрического резервуара // Нефтяное хозяйство. – 2014. – № 10. – С. 121–123.
9. Тиханов Е.А., Тарасенко А.А., Чепур П.В. Оценка экономической эффективности капитального ремонта основания вертикального стального резервуара методом перемещения // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 6-2. – С. 330–334.
10. Хоперский Г.Г., Саяпин М.В., Тарасенко А.А. Расчет прочности фундаментного кольца резервуара при воздействии сосредоточенной нагрузки от подъемного устройства // Известия вузов «Нефть и газ». – Тюмень, 1998. – № 2. – С. 60–64.
11. Хоперский Г.Г., Овчар З.Н., Тарасенко А.А., Николаев Н.В. Определение неравномерной составляющей осадки резервуаров, вызывающей неосесимметричную деформацию // Известия вузов «Нефть и газ». – Тюмень, 1997. – № 5. – С. 80–85.
12. Чепур П.В., Тарасенко А.А. Влияние параметров неравномерной осадки на возникновение предельных состояний в резервуаре // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 8-7. – С. 1560–1564.
13. Чепур П.В., Тарасенко А.А. Методика определения необходимости ремонта резервуара при осадках основания // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 8-6. – С. 1336–1340.
14. Чирков С.В., Тарасенко А.А., Чепур П.В. Конечно-элементная модель вертикального стального резервуара с усиливающими элементами при его подъеме гидродомкратами // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9-5. – С. 1003–1007.
15. API 653. Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction, Fourth Edition. – USA, Washington, 2009.

References

1. Tarasenko A.A. Stress-strained state of large-sized tanks during repairs. Candidate technical sciences dissertation. Tyumen, 1991. 254 p.

2. Tarasenko A.A., Nikolaev N.V., Hoperskij G.G., Ovchar Z.N., Sajapin M.V. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Neft'igaz. 1998, no.1, pp. 59–68.
3. Tarasenko A.A., Nikolaev N.V., Hoperskij G.G., Sajapin M.V. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Neft'igaz. 1997, no. 3, pp. 75–79.
4. Tarasenko A.A., Chepur P.V. Fundamental research, 2014, no.11–2, pp. 296–300.
5. Tarasenko A.A., Chepur P.V. Fundamental research, 2014, no.11–3, pp. 525–529.
6. Tarasenko A.A., Chepur P.V., Gruchenkova A.A., Tarasenko D.A. Fundamental research, 2014, no. 9–7, pp. 1471–1476.
7. Tarasenko A.A., Chepur P.V., Tarasenko D.A. Fundamental research, 2014, no. 6–3, pp. 485–489.
8. Tarasenko A.A., Chepur P.V., Chirkov S.V. Neft'janoe hozjajstvo, 2014, no. 10 pp. 121–123.
9. Tihanov E.A., Tarasenko A.A., Chepur P.V. Fundamental research, 2014, no. 6-2, pp. 330–334.
10. Hoperskij G.G., Sajapin M.V., Tarasenko A.A. Izvestijavuzov.Neft'igaz. 1998, no.2, pp. 60–64.
11. Hoperskij G.G., Ovchar Z.N., Tarasenko A.A., Nikolaev N.V. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Neft'igaz. 1997, no.5, pp. 80–85.
12. Chepur P.V., Tarasenko A.A. Fundamental research, 2014, no.8 part 7, pp. 1560–1564.
13. Chepur P.V., Tarasenko A.A. Fundamental research, 2014, no.8 part 6, pp. 1336–1340.
14. Chirkov S.V., Tarasenko A.A., Chepur P.V. Fundamental research, 2014, no.9-5, pp. 1003–1007.
15. API 653. Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction, Fourth Edition. – USA, Washington, 2009.

Рецензенты:

Соколов С.М., д.т.н., профессор кафедры «ТУР», ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень;

Мерданов Ш.М., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Транспортные и технологические системы», ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень.

Работа поступила в редакцию 16.12.2014.