

УДК 621.642.39.03

ОСОБЕННОСТИ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ РЕЗЕРВУАРА И УСТРОЙСТВ РАЗМЫВА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВИНТОВОГО ТИПА

Чепур П.В., Тарасенко А.А.

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

В пакете ANSYS разработана конечно-элементная модель резервуара РВС-20000 с учетом элементов металлоконструкций дополнительно устанавливаемых систем размыва донных отложений типа «Диоген-500, 700», «Тайфун-24». Предложена расчетная схема воздействия перечисленных систем во время их работы на НДС резервуара при максимальном заполнении с учетом действующих эксплуатационных нагрузок. Получены значения действующих эквивалентных напряжений и прогибов металлоконструкций РВС-20000 с учетом влияния жесткости патрубка устройства размыва, веса и создаваемого им крутящего момента, а также реактивного отпора на валу для каждого типа устройства. Рассмотрены наиболее неблагоприятные режимы работы систем размыва, влияющие на общее НДС стенки. Сравнивая результаты численного эксперимента с данными, полученными в работе [1], сделаны выводы о недопустимости неучета жесткости опорного кольца и кровли с балочным каркасом.

Ключевые слова: резервуар, РВС, НДС, МКЭ, УРДО, Диоген, Тайфун, устройство размыва, ANSYS

THE FEATURES OF WASHOUT SEDIMENTS DEVICES SCREW TYPE AND TANK COLLABORATION

Chepur P.V., Tarasenko A.A.

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

The package is designed ANSYS finite element model tank PBC-20000 with the elements of metal structures further establishes a system of erosion sediment type «Diogenes, 500, 700», «Typhoon-24». Proposed a design scheme of non-axisymmetric effects of these systems during their work on the stress-strain state tank maximum level, taking into account the existing operating loads. The values of the current equivalent stresses and deflections of steel structures RVS-20000 with the influence of the stiffness pipe erosion devices, weight and torque created by them, as well as reactive resistance on the shaft for each device type. Considered the most unfavorable operating conditions Systems erosion affecting the total stress-strain state wall. Comparing the results of numerical experiments with the data obtained in [1], the conclusions about the inadmissibility of not taking into account the stiffness of the support ring and a beamed roof frame.

Keywords: tank, aboveground tank, stress-strain state, FEM, WD, Diogen, washout device, Taifun, ANSYS

Для предотвращения образования и накопления донных остатков в крупногабаритных вертикальных стальных резервуарах широко применяются устройства размыва донных отложений. Отложения, переходящие в твердую фазу, при определенных условиях могут приводить к нарушению нормальной эксплуатации технологического оборудования и самого резервуара. Устройства размыва донных отложений (УРДО) типа «Диоген», «Тайфун» и др., стационарно подключаемые к резервуарам с врезкой в I пояс стенки, позволяют производить очистку РВС от парафиновых отложений за счет направленного воздействия подвижной струи хранимой жидкости, формируемой гребным винтом вала.

Несмотря на несомненные преимущества такого метода очистки РВС, возникают вопросы относительно обеспечения условий безопасной эксплуатации приведенных выше устройств. Перечисленные УРДО при работе вызывают появление динамических нагрузок с воздействием на тонкостенную оболочку стенки резервуара. Возникающее

моментное напряженно-деформированное состояние (НДС), обусловленное весом устройства и реактивным отпором при работе вала пропеллера, с учетом гидростатической нагрузки хранимого продукта, может привести к появлению недопустимых напряжений в металлоконструкциях.

Авторами статьи, основываясь на [15], предлагается оценить изменение напряженно-деформированного состояния резервуара при воздействии устройств размыва донных отложений. В работе [1] предпринята попытка получить параметры НДС стенки резервуара РВС-20000 при работе УРДО «Диоген-700». С использованием численных методов в программе ANSYS была построена оболочечная модель резервуара. Однако при анализе предложенной расчетной схемы выяснилось, что упрощение конструктивной геометрии РВС (отсутствие кольца жесткости, балочного каркаса кровли, листового настила кровли) привело к снижению точности расчетов и получению результатов с завышенными значениями напряжений и перемещений металлоконструкций.

В работе предлагается получить значения деформаций и действующих напряжений в металлоконструкциях резервуара РВС-20000 от воздействия устройств «Диоген-700», «Диоген-500» и «Тайфун-24» при максимальном проектном уровне взлива резервуара и мощности работы вала пропеллера. В расчетной схеме учитываются следующие параметры:

– для расчетов использована геометрическая модель резервуара, выполненная в [15], и учитываются конструктивные особенности днища, окрайки, кольца жесткости, кровли. Модель конструкции патрубка УРДО в первом поясе РВС предусматривает усиливающий воротник с типовыми проектными размерами;

– граничные и контактные условия учитывают упругое взаимодействие центральной части днища и нижней грани фунда-

ментного кольца с грунтовым основанием с коэффициентом постели $3 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^3$;

– учитывается снеговая нагрузка и избыточное давление паров нефти согласно РД-23.020.00-КТН-283-09. Гидростатическая нагрузка прикладывается к стенке РВС при максимальном уровне взлива нефти $H_{\text{взл}} = 10,88 \text{ м}$ и её плотности $\rho = 865 \text{ кг/м}^3$;

– реактивный отпор, вызванный работой приводного вала с пропеллером при максимальной мощности работы УРДО составил: 4200 Н – «Тайфун-24», 4000 Н – «Диоген-700», 3000 Н – «Диоген-500»;

– момент от действия веса УРДО составил: 2400 Н·м – «Тайфун-24», 1920 Н·м – «Диоген-700», 1850 Н·м – «Диоген-500».

На рис. 1 представлена расчетная схема РВС-20000 при заданных условиях нагружения.

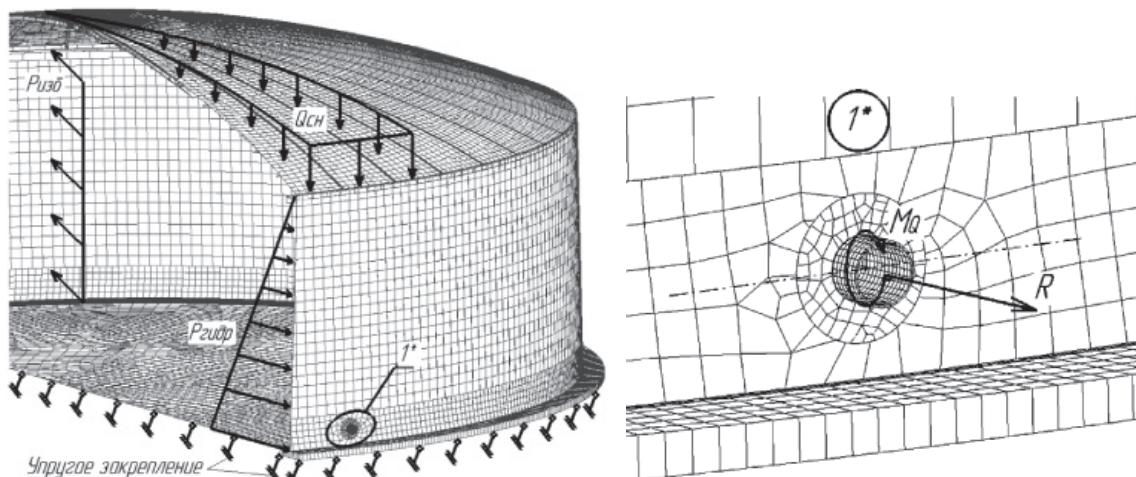


Рис. 1. Расчетная схема

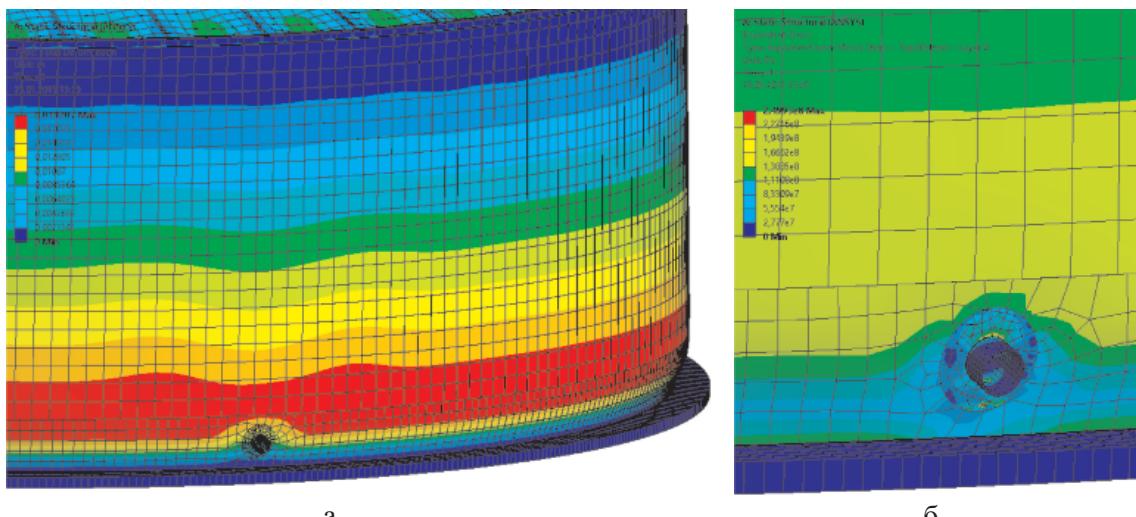


Рис. 2. Деформации (а) и действующие эквивалентные напряжения (б)
в металлоконструкциях РВС-20000 при работе УРДО «Диоген-700»

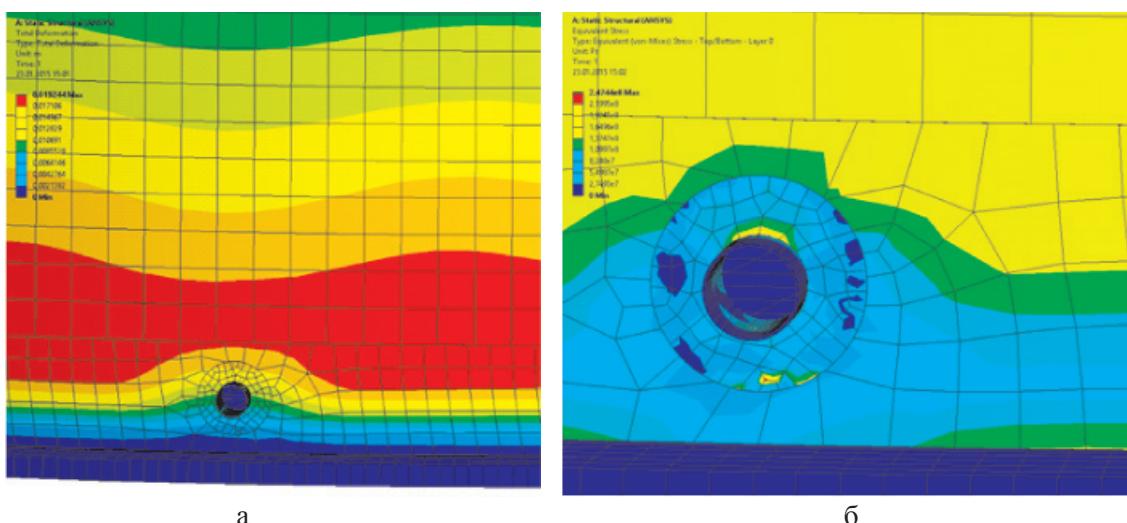


Рис. 3. Деформации (а) и действующие эквивалентные напряжения (б) в металлоконструкциях РВС-20000 при работе УРДО «Диоген-500»

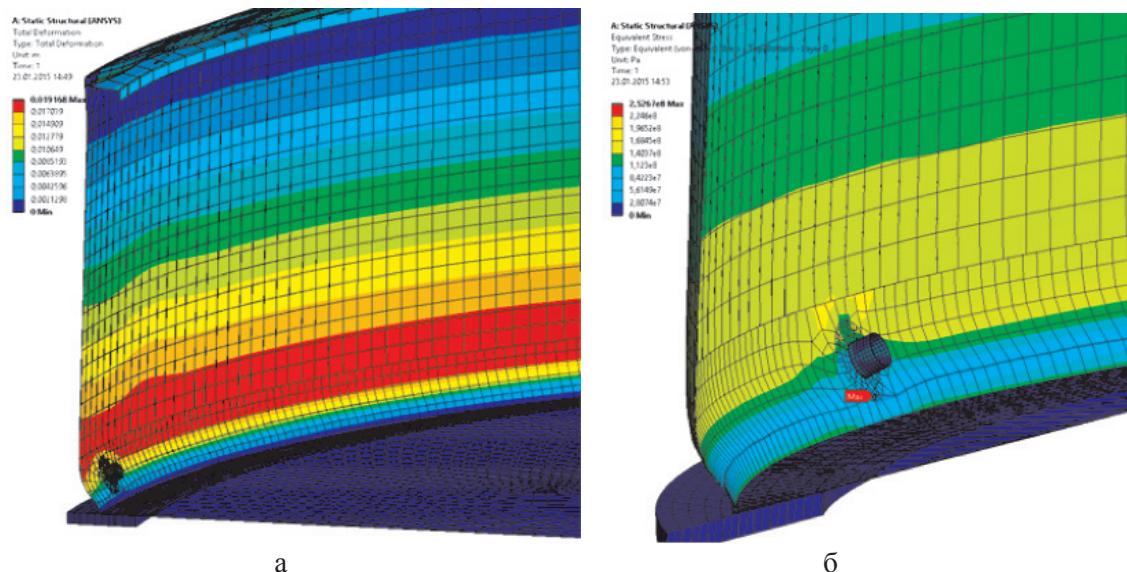


Рис. 4. Деформации (а) и действующие эквивалентные напряжения (б) в металлоконструкциях РВС-20000 при работе УРДО «Тайфун-24»

При создании расчетной схемы учитывается, что момент от веса устройства прикладывается к наружной грани фланца, лежащей в плоскости, перпендикулярной оси вала пропеллера. Реактивная сила приложена к внутренней поверхности фланца соосно валу по направлению «изнутри» резервуара. Согласно предложенной расчетной схеме выполнено 3 расчета в программе ANSYS для каждого типа УРДО. На рис 2–4 представлены эпюры прогибов и действующих напряжений.

Для визуализации полученных результатов был применен масштабный коэффициент $\times 30$ для перемещений элементов металлоконструкций. Анализ действующих напря-

жений свидетельствует о том, что для всех трех систем УРДО действующие напряжения не превышают предела текучести используемой стали 09Г2С $\sigma_t = 325$ МПа. Однако при сравнении полученных значений НДС с допускаемыми напряжениями – $[\sigma] = 188$ МПа (согласно действующей нормативной документации) выяснилось, что имеет место превышение предельно допускаемых значений для всех трех случаев. В таблице приведены максимальные значения напряжений и прогибов для 3 типов УРДО, а также приведены результаты расчета авторов [1], использовавших упрощенную геометрическую модель без учета жесткости опорного кольца и стационарной кровли.

Параметры НДС металлоконструкций РВС-20000 при воздействии УРДО

Параметры расчетов	Диоген-500	Диоген-700		Тайфун-24
	результаты численного эксперимента	результаты численного эксперимента	результаты, полученные в работе [1]	результаты численного эксперимента
Максимальные эквивалентные напряжения в стенке $\sigma_{\text{экв}}$, МПа	247,4	249,9	475	252,7
Максимальные радиальные прогибы стенки, мм	19,24	19,20	49,92	19,17

Анализ данных табл. 1 показал, что расчет совместной работы стенки резервуара и УРДО без учета жесткости верхнего узла приводит к большим погрешностям, тем самым подтверждаются выводы работ [8, 12–13]. Также необходимо отметить, что в существующей НТД, регламентирующей требования по проектированию, строительству и ремонту РВС, представлены типовые проверочные расчеты на обеспечение прочности и устойчивости стенки. В расчете на прочность учитываются только осесимметричные составляющие гидростатической, снеговой, ветровой нагрузок и др., при этом не рассматривается влияние устройств размыва, вызывающих динамические воздействия в наиболее нагруженном I поясе стенки РВС. Учитывая, что поля напряжений при воздействии УРДО превышают допускаемые значения, необходимо внести изменения в нормативную базу в части оценки воздействия устройств размыва отложений на общее НДС резервуара.

Выводы

1. Разработаны модели совместной работы РВС-20000 с устройствами размыва донных отложений типа «Диоген-500, 700», «Тайфун-24» с использованием пакета ANSYS, реализующим метод конечных элементов. В модели учитываются металлоконструкции кольца жесткости, стационарной кровли, центральной части днища и окраинки. Расчеты выполнялись для максимально заполненного резервуара при комбинации наиболее невыгодного сочетания эксплуатационных нагрузок.

2. Получены значения действующих эквивалентных напряжений и прогибов металлоконструкций РВС-20000 с учетом влияния жесткости патрубка УРДО, веса и создаваемого им крутящего момента, а также реактивного отпора на валу для каждого типа устройства. Рассмотрены наиболее неблагоприятные режимы работы систем размыва, влияющие на общее НДС стенки: вал создает максимальную реактивную силу (4200 Н – «Тайфун-24», 4000 Н – «Диоген-700», 3000 Н – «Диоген-500») при про-

ектной высоте взлива нефти $H_{\text{взл}} = 10,88$ м. Результаты численного эксперимента показали, что наибольшие напряжения возникают в усиливающем воротнике и сварном шве фланца со стенкой. Так, при воздействии устройства «Тайфун-24», имеющем наибольший вес и электрическую мощность, возникают напряжения $\sigma_{\text{экв}} = 252,7$ МПа, что на 34 % превышает предельно допустимое значение по действующей нормативной документации – $[\sigma] = 188$ МПа.

3. Расчеты НДС для всех трех типов УРДО показали, что условия прочности $[\sigma] = 188$ МПа конструкции начинают обеспечиваться лишь при высоте взлива нефти менее 7 метров.

4. Сравнивая результаты численного эксперимента с данными, полученными в работе [1], можно сделать выводы о необходимости учета жесткости опорного кольца и кровли с балочным каркасом. Максимальные радиальные прогибы верхнего контура стенки в [1] составили 49,92 мм, а действующие напряжения 475 МПа, что более чем в 2 раза превышает значения, полученные согласно расчетной схеме данной работы. Это связано с тем, что оболочки стенки отсутствуют связи в верхнем узле и при неосесимметричном воздействии имеет гораздо большую деформируемость, что не соответствует реальному проектно-эксплуатационному состоянию конструкции РВС.

Список литературы

1. Мустафин Ф.М., Жданов Р.А., Каравайченко М.Г., Ахметов Ф.Ш., Боднарчук Д.А., Лукьянова И.Э. Резервуары для нефти и нефтепродуктов: Том 1. Конструкции и оборудование: учебник для вузов. – СПб.: Недра, 2010. – 480 с.
2. Тарасенко А.А. Напряженно-деформированное состояние крупногабаритных резервуаров при ремонтных работах: дис. ... канд. техн. наук. – Тюмень, 1991. – 254 с.
3. Тарасенко А.А., Николаев Н.В., Хоперский Г.Г., Овчар З.Н., Саяпин М.В. Исследование влияния приемораздаточных патрубков на напряженно-деформированное состояние стенки вертикальных цилиндрических резервуаров // Известия вузов «Нефть и газ». – 1998. – № 1. – С. 59–68.
4. 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». – 1997. – № 3. – С. 75–79.

5. Тарасенко А.А., Тюрин Д.В. Моделирование нефтяных стальных вертикальных цилиндрических резервуаров // Известия вузов «Нефть и газ». – 2001. – № 4. – С. 65–69.
6. Тарасенко А.А., Чепур П.В. Деформирование стационарной крыши крупногабаритного резервуара при неравномерных осадках основания // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11–2. С. 296–300.
7. 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.
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. Хоперский Г.Г., Саяпин М.В., Тарасенко А.А. Принцип независимости действия сил при расчете напряженно-деформированного состояния стенки резервуаров // Известия вузов «Нефть и газ». – 1998. – № 4. – С. 73–77.
10. Хоперский Г.Г., Саяпин М.В., Тарасенко А.А., Николаев Н.В. Расчет прочности фундаментного кольца резервуара при воздействии сосредоточенной нагрузки от подъемного устройства // Известия вузов «Нефть и газ». – 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». – 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. Чепур П.В., Тарасенко А.А. Оценка воздействия приемо-раздаточного патрубка при развитии осадки резервуара // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11–3. – С. 540–544.
15. 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.

References

1. Mustafin F.M., Zhdanov R.A., Karavajchenko M.G., Ahmetov F.Sh., Bodnarchuk D.A., Lukjanova I.Je. Rezervuary dlja nefti i nefteproduktov: Tom 1. Konstrukcii i oborudovanie: uchebnik dlja vuzov. SPb.: Nedra, 2010. – 480 p.

2. Tarasenko A.A. Naprjazheno-deformirovannoe sostojanie krupnogabaritnyh rezervuarov pri remontnyh rabotah: dis. ... kand. tehn. nauk. Tyumen, 1991. 254 p.
3. Tarasenko A.A., Nikolaev N.V., Hoperskij G.G., Ovchar Z.N., Sajapin M.V. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Neftigaz. 1998, no. 1, pp. 59–68.
4. Tarasenko A.A., Nikolaev N.V., Hoperskij G.G., Sajapin M.V. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Neftigaz. 1997, no. 3, pp. 75–79.
5. Tarasenko A.A., Turin D.V. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Neftigaz. 2001, no. 4, pp. 65–69.
6. Tarasenko A.A., Chepur P.V. Fundamental research, 2014, no. 11 part 2, pp. 296–300.
7. Tarasenko A.A., Chepur P.V., Kuzovnikov E.V., Tarasenko D.A. Fundamental research, 2014, no. 9 part 7, pp. 1471–1476.
8. Tarasenko A.A., Chepur P.V., Chirkov S.V. Neftjanoe hozjajstvo. 2014. no. 10, pp. 121–123.
9. Hoperskij G.G., Sajapin M.V., Tarasenko A.A. Izvestija vuzov. Neftigaz. 1998, no. 4, pp. 73–77.
10. Hoperskij G.G., Sajapin M.V., Tarasenko A.A., Nikolaev N.V. Izvestijavuzov. Neftigaz. 1998, no. 2, pp. 60–64.
11. Hoperskij G.G., Ovchar Z.N., Tarasenko A.A., Nikolaev N.V. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Neftigaz. 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. Chepur P.V., Tarasenko A.A. Fundamental research, 2014, no. 11 part 3, pp. 540–544.
15. Chirkov S.V., Tarasenko A.A., Chepur P.V. Fundamental research, 2014, no. 9–5, pp. 1003–1007.

Рецензенты:

Обухов А.Г., д.ф.-м.н., профессор кафедры «Высшая математика», ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень;

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

Работа поступила в редакцию 10.03.2015.