

УДК 621.642.39.03

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЖЕСТКОСТИ ГАЗОУРАВНИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ РАЗВИТИИ ОСАДОК РЕЗЕРВУАРА

¹Чепур П.В., ¹Тарасенко А.А., ¹Грученкова А.А., ²Антонов И.В.¹Тюменский государственный нефтегазовый университет,

Тюмень, e-mail: chepur@me.com; a.a.tarasenko@gmail.com;

²ООО НПП «Симплекс», Тюмень, e-mail: simplex_rvs@mail.ru

На основе МКЭ разработана модель деформирования резервуара РВС-20000 при развитии осадок основания с учетом элементов дополнительной жесткости газоравнительной системы. Решена контактная задача взаимодействия трубопровода ДУ700 ГУС со стенкой резервуара через балочные связи (профиль – уголок равнополочный). Также решена задача кинематического взаимодействия трубопровода ГУС в зоне узла сопряжения с тонкостенным листом кровли. Получены зависимости действующих эквивалентных напряжений в металлоконструкциях стенки и трубопровода ГУС от величины осадки РВС-20000. Наибольшие напряжения возникают в трубопроводе ГУС в зоне его выхода на дневную поверхность. Предельное состояние возникает при величине осадки 30 мм, эквивалентные напряжения в металле 09Г2С при этом достигают предела текучести 325 МПа. В местах прикрепления трубопровода к стенке посредством металлических балочных связей-уголков опасных напряжений не возникает. В зонах сварного соединения балок со стенкой максимальные напряжения не превышают 100 МПа при 30 мм осадки. Установлено, что используемая конструкция U-образного компенсатора позволяет избежать появления избыточных напряжений в металлоконструкциях верхнего узла резервуара и трубопровода ГУС при развитии осадки основания РВС-20000. Полученные результаты позволяют внести дополнения в методику [13] оценки технического состояния резервуара РВС-20000 при развитии осадок основания в части учета влияния элементов дополнительной жесткости на НДС резервуара.

Ключевые слова: резервуар, РВС, НДС, основание, фундамент, МКЭ, ГУС

NUMERICAL ANALYSIS OF HARDNESS GAS SYSTEM EQUALIZATION IN DIFFERENTIAL SETTLEMENT DEVELOPMENT OF TANK

¹Chepur P.V., ¹Tarasenko A.A., ¹Gruchenkova A.A., ²Antonov I.V.¹Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, e-mail: chepur@me.com; a.a.tarasenko@gmail.com;²Simplex, Tyumen, e-mail: simplex_rvs@mail.ru

On the basis of the FEM model is developed deformation tank RVS-20000 at the base of the development of the precipitate with the elements added rigidity GSE. Solved the contact problem of the interaction of the pipeline DN700 GSE vessel wall through beam connection (profile – Equal Area). Also solved the problem of the kinematic interaction of the pipeline in the area of GSE node interface with thin-leaf roof. The dependences of the current equivalent stress in structures and pipe wall GSE on the value of rainfall RVS-20000. The highest stresses occur in the pipeline in the area of GSE its release to the surface. The limiting condition occurs at the value 30 mm rainfall equivalent stress in the metal 09G2S thus reach the yield strength 325 MPa. In the field of attachment to the wall of the pipe by means of metal-beam connections over the dangerous voltages arises. In the weld beams to the wall of the maximum voltage does not exceed 100 MPa at 30 mm rainfall. Established that the design used a U-shaped compensator avoids the appearance of excess stresses in structures of the upper node of the tank and piping in the development of GSE rainfall base RVS-20000. The obtained results allow us to make additions to the methodology [11] evaluate the technical condition of the tank RVS-20000 in the development of sediment in the base of the accounting impact of the elements added rigidity to the stress-strain state tank.

Keywords: tank, aboveground tank, stress-strain state, base, foundation, FEM, GSE

При анализе работ [3, 5, 12–13] выяснилось, что осадка основания резервуара может приводить к появлению опасных избыточных напряжений, в особенности при наличии конструктивных элементов дополнительной жесткости. Авторами в работе [3] проанализировано влияние приемо-раздаточного устройства на изменение НДС резервуара РВС-20000 при осадках основания, работа [12] посвящена исследованию влияния системы трубопроводов аварийного сброса нефти. В данной статье предполагается выяснить, как жесткость

трубопровода ДУ700 газоравнительной системы (ГУС) влияет на напряженное состояние РВС-20000 при развитии осадки наружного контура днища. На рис. 1 представлен РВС с трубопроводом ГУС, выходящим на дневную поверхность на расстоянии 2,5 от кольцевого фундамента, имеющим 4 точки присоединения к стенке резервуара, а также узел сопряжения с кровлей посредством использования сварного патрубка, резинотканевого компенсатора, смонтированного посередине U-образного участка трубопровода.



Рис. 1. Общий вид узла соединения ГУС с PVC-20000

Авторами предлагается выполнить численное моделирование деформирования металлоконструкций PVC-20000 при развитии осадки основания с учетом жесткости трубопровода ГУС. Наиболее приемлемым для целей исследования является метод конечных элементов (МКЭ) с реализацией в пакете ANSYS, программная среда которого позволяет строить максимально точную геометрическую модель с учетом нелинейностей и возможностями неосесимметричных расчетов. Известно, что для снижения трудоемкости расчетов с применением МКЭ во многих работах вырезается сегмент модели, после чего, с применением ряда ограничений и допущений, рассчитывается задача в осесимметричной постановке. Однако такой подход не позволяет с достаточной точностью оценить влияние неосесимметричной нагрузки на элементы дополнительной жесткости при развитии осадки резервуара. Поэтому авторы постарались максимально точно выполнить геометрическое моделирование исследуемого объекта – PVC-20000 с учетом особенностей реальной конструкции ГУС. На рис. 2, а, представлена расчетная схема деформирования PVC при развитии осадки основания. Модель резервуара выполнена авторами в [8], а верифицирована в [10]. В данной работе построена модель системы ГУС на основе PVC-20000 с учетом следующих граничных условий: жесткого защемления нижнего торца трубопровода ДУ700, подвижного закрепления верхнего торца с листом кровли, контактного взаимодействия балок-связей со стенкой PVC и трубопроводом ГУС. Осадку предлагается задавать при помощи табулированной функции «tabular data» (рис. 2, б). Исхо-

дя из полученных результатов оценочного расчета, авторами задано 10 этапов с увеличением уровня осадки от 0 до 3 см. Шаг увеличения величины осадки для каждого последующего расчетного этапа варьируется от 10 до 50 мм, значения шага для каждого этапа представлены в таблице на рис. 2, б. Также на данном рисунке приведен график функции приращения величины осадки.

При моделировании верхнего узла сопряжения ГУС с кровлей резервуара необходимо было решить задачу формирования кинематической связи элементов компенсатора на U-образном участке трубопровода. Для этого в программе ANSYS Workbench 14.5 авторами был применен специальный пакет инструментов «Joints». В данном случае были назначены опорные (лист настила кровли толщиной 4 мм) и подвижная (трубопровод ГУС ДУ700) части. При моделировании узла был назначен тип кинематической связи «Planar», при котором для всех узлов опорной и подвижной частей связываются вращательные степени свободы ROTX и ROTY (оси X и Y лежат в горизонтальной плоскости проекции), а также поступательная степень свободы UZ (в осевом направлении).

Разбиение на сетку осуществлялось в автоматическом режиме со сгущением плотности в контактных зонах. Для элементов металлоконструкций ГУС использовались балочные BEAM188 (связи со стенкой) и оболочечные SHELL181 (трубопровод) элементы. В соответствии с предложенной расчетной схемой и настройками решателя были получены численные результаты изменения НДС PVC-20000 при развитии осадки основания с учетом реальной конструкции системы

ГУС. На рис. 3 и 4 представлены эпюры распределения деформаций и эквивалентных на-

пряжений по фон Мизесу в металлоконструкциях РВС-20000 и элементах ГУС.

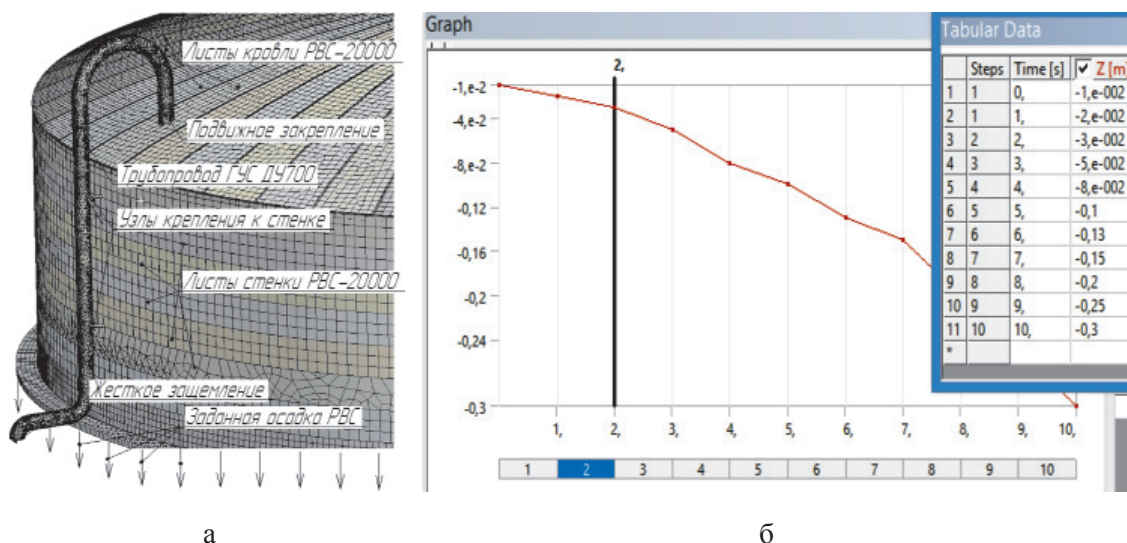


Рис. 2. а – расчетная схема РВС-20000 с ГУС при развитии осадки основания;
б – табулированная функция развития осадки

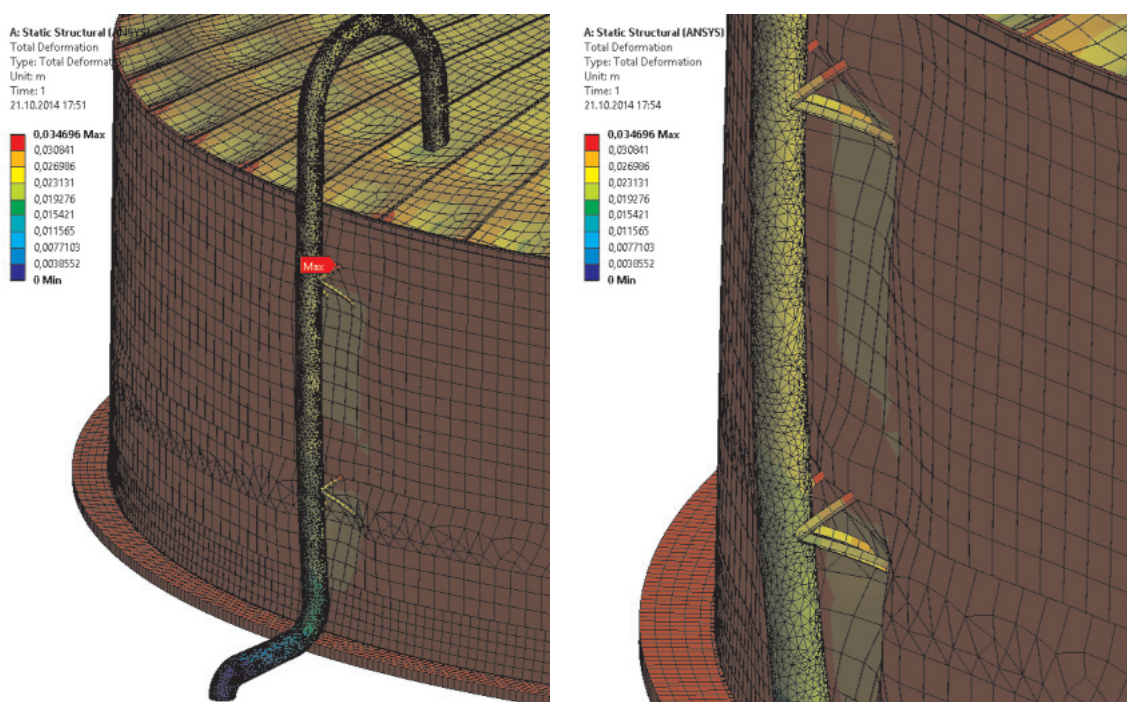


Рис. 3. Деформации металлоконструкций РВС-20000 в местах соединения с ГУС

На основе полученных данных конечно-элементного анализа построены функциональные зависимости значений эквивалентных напряжений в металлоконструкциях от величины осадки основания РВС. Авторами предложено оценить значения действующих напряжений в стенке РВС и трубопро-

воде при значениях осадки от 0 до 30 мм, а также сравнить величину полученных напряжений с предельными значениями.

На рис. 5 представлен график зависимости действующих эквивалентных напряжений в металлоконструкциях стенки и трубопровода ГУС от величины осадки РВС-20000.

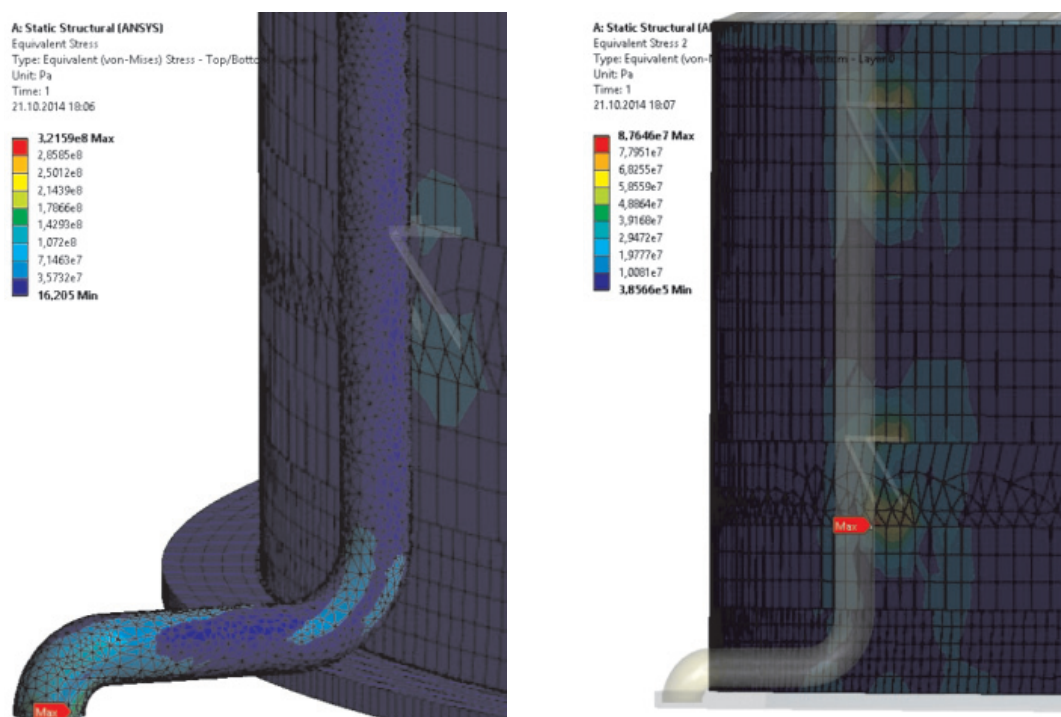


Рис. 4. Действующие эквивалентные напряжения в металлоконструкциях РВС-20000

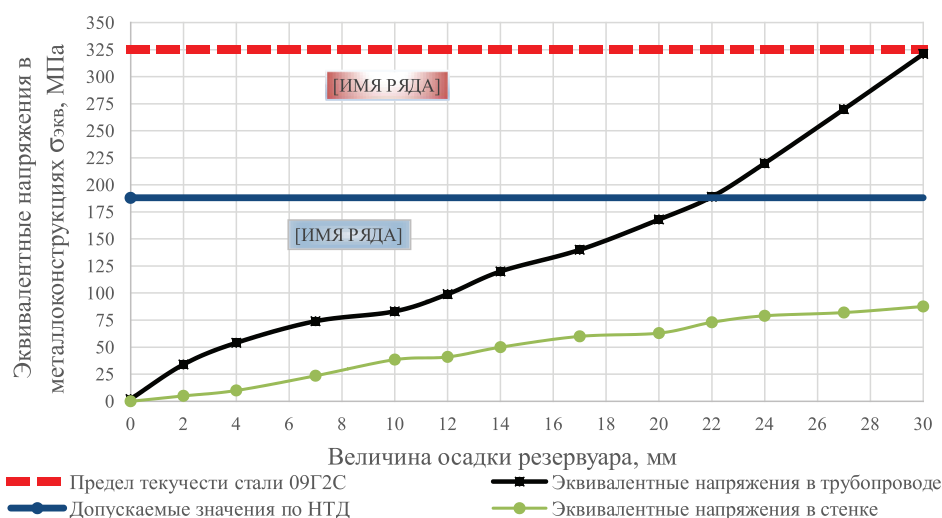


Рис. 5. Зависимость действующих эквивалентных напряжений в металлоконструкциях стенки и трубопровода ГУС от величины осадки РВС-20000

Анализируя полученные зависимости, установлено, что при развитии осадки резервуара с трубопроводом ГУС предельное состояние возникает вначале в трубопроводе ДУ700 в месте его выхода на дневную поверхность. При этом в металлоконструкциях стенки в местах сопряжения с балками-связями трубопровода ГУС действующие напряжения не превышают 100 МПа даже при осадке 30 мм. С другой стороны, уже при величине осадки 22 мм напряже-

ния в трубопроводе ГУС ДУ700 превышают допустимый порог, определенный в НТД (188 МПа), а при величине осадки 30 мм напряжения достигают предела текучести стали 09Г2С. На основе данных исследования авторами сделаны следующие выводы.

Выводы

1. На основе МКЭ разработана модель деформирования резервуара РВС-20000 при развитии осадок основания с учетом элемен-

тов дополнительной жесткости газопроводной системы. Геометрические, конструктивные характеристики модели в рамках предложенной расчетной схемы соответствуют реальным проектным параметрам ГЭС для резервуара РВС-20000. В модели учитываются особенности нелинейного деформирования, свойства материалов модели и условия неосесимметричного нагружения.

2. Решена контактная задача взаимодействия трубопровода ДУ700 ГЭС со стенкой резервуара через балочные связи (профиль – уголок равнополочный). Также решена задача кинематического взаимодействия трубопровода ГЭС в зоне узла сопряжения с тонкостенным листом кровли.

3. Получены зависимости действующих эквивалентных напряжений в металлоконструкциях стенки и трубопровода ГЭС от величины осадки РВС-20000. Наибольшие напряжения возникают в трубопроводе ГЭС в зоне его выхода на дневную поверхность. Предельное состояние возникает при величине осадки 30 мм, эквивалентные напряжения в металле 09Г2С при этом достигают предела текучести 325 МПа. В местах прикрепления трубопровода к стенке посредством металлических балочных связей-уголков опасных напряжений не возникает. В зонах сварного соединения балок со стенкой максимальные напряжения не превышают 100 МПа при 30 мм осадки.

4. Установлено, что используемая конструкция U-образного компенсатора позволяет избежать появления избыточных напряжений в металлоконструкциях верхнего узла резервуара и трубопровода ГЭС при развитии осадки основания РВС-20000.

5. Полученные результаты позволяют внести дополнения в методику [13] оценки технического состояния резервуара РВС-20000 при развитии осадок основания в части учета влияния элементов дополнительной жесткости на НДС резервуара.

Список литературы

1. Тарасенко А.А. Способ определения упругих постоянных материалов // Патент RU 93018681 А, 7.04.1993.
2. Тарасенко А.А. Способ измерения положения стенки резервуара // Патент SU 1778517 А1, 17.12.1990.
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». – Тюмень, 1998. – № 1. – С. 59–68.
4. Тарасенко А.А., Чепур П.В. Определение действующих напряжений от подъемных устройств при ремонте фундамента резервуара // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9–11. – С. 2421–2425.
5. Тарасенко А.А., Чепур П.В., Кузовников Е.В., Тарасенко Д.А. Расчет напряженно-деформированного состояния прямо-раздаточного патрубка с дефектом с целью обоснования возможности его дальнейшей эксплуатации // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9–7. – С. 1471–1476.
6. 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.
7. Тарасенко А.А., Чепур П.В., Шарков А.Е., Греченко Д.А. Технология диагностики вертикальных стальных резервуаров без снятия антикоррозионного покрытия // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9–8. – С. 1703–1708.
8. Тарасенко А.А., Чепур П.В., Чирков С.В. Исследование изменения напряженно-деформированного состояния вертикального стального резервуара при развитии неравномерной осадки наружного контура днища // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10–15. – С. 3409–3413.
9. Тарасенко А.А., Чепур П.В., Чирков С.В. Обоснование необходимости учета истории нагружения конструкции при ремонте фундамента с подъемом резервуара // Безопасность труда в промышленности. – 2014. – № 5. – С. 60–63.
10. Тарасенко А.А., Чепур П.В., Чирков С.В., Тарасенко Д.А. Модель резервуара в среде ANSYS Workbench 14.5 // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10–15. – С. 3404–3408.
11. 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.
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., Тарасенко Д.А. Исследование влияния величины выступа окрайки на напряженно-деформированное состояние вертикального стального цилиндрического резервуара при развитии неравномерной осадки наружного контура днища // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10–15. – С. 3441–3445.
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. Tarasenko A.A. Patent RU 93018681 A, 7.04.1993.
2. Tarasenko A.A. Patent SU 1778517 A1, 17.12.1990.
3. Tarasenko A.A., Nikolaev N.V., Hoperskij G.G., Ovchar Z.N., Sajapin M.V. Izvestijavuzov.Nefbigaz. 1998, no.1, pp. 59–68.
4. Tarasenko A.A., Chepur P.V. Fundamental research, 2014, no. 9–11, pp. 2421–2425.
5. Tarasenko A.A., Chepur P.V., Kuzovnikov E.V., Tarasenko D.A. Fundamental research, 2014, no. 9–7, pp. 1471–1476.
6. Tarasenko A.A., Chepur P.V., Tarasenko D.A. Fundamental research, 2014, no. 6–3, pp. 485–489.
7. Tarasenko A.A., Chepur P.V., Sharikov A.E., Gretchenko D.A. Fundamental research, 2014, no. 9–8, pp. 1703–1708.
8. Tarasenko A.A., Chepur P.V., Chirkov S.V. Fundamental research, 2013, no. 10–15, pp. 3409–3413.
9. Tarasenko A.A., Chepur P.V., Chirkov S.V. Bezopasnost truda v promyshlennosti, 2014, no. 5, pp. 60–63.
10. Tarasenko A.A., Chepur P.V., Chirkov S.V., Tarasenko D.A. Fundamental research, 2013, no. 10–15, pp. 3404–3408.
11. Tihanov E.A., Tarasenko A.A., Chepur P.V. Fundamental research, 2014, no. 6–2, pp. 330–334.
12. Chepur P.V., Tarasenko A.A. Fundamental research, 2014, no. 8–7, pp. 1560–1564.
13. Chepur P.V., Tarasenko A.A. Fundamental research, 2014, no. 8–6, pp. 1336–1340.
14. Chepur P.V., Tarasenko A.A., Tarasenko D.A. Fundamental research, 2013, no. 10–15, pp. 3441–3445.
15. Chirkov S.V., Tarasenko A.A., Chepur P.V. Fundamental research, 2014, no. 9–5, pp. 1003–1007.

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, зав. кафедрой «Транспортные и технологические системы», ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень.

Работа поступила в редакцию 28.10.2014.