

УДК 621.642.39.03

## ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИЕМО-РАЗДАТОЧНОГО ПАТРУБКА ПРИ РАЗВИТИИ ОСАДКИ РЕЗЕРВУАРА

Чепур П.В., Тарасенко А.А.

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

На основе разработанной авторами конечно-элементной модели РВС-20000 в [8] выполнено моделирование узла приема-раздачи нефти ПРП-700 с учетом проектной геометрии конструкций: технологических трубопроводов с 90° отводами, усиливающих воротников. Учтены особенности контактного взаимодействия трубопроводов ПРП со скользящими опорами. Предложена расчетная схема деформирования конструкции РВС-20000 с приемно-раздаточным узлом при развитии осадки резервуара, при этом рассмотрены случаи как опорожненного, так и заполненного до максимального уровня РВС, а также выполнены расчеты для 6 вариантов заполнения резервуара нефтью на величину 1,5; 3; 4,5; 6; 7,5; 9 м. Получены зависимости максимальных действующих эквивалентных напряжений в металле в зоне соединения ПРП-700 со стенкой от величины осадки РВС-20000 для пустого резервуара и различных случаев нагружения гидростатической нагрузкой. Расчетные результаты напряженно-деформированного состояния металлоконструкций резервуара при осадках его основания и полученные зависимости планируется использовать в качестве теоретической основы создания методики оценки технического состояния узла приема-раздачи нефти при выявленных неравномерных осадках резервуара.

**Ключевые слова:** резервуар, РВС, НДС, основание, МКЭ, ПРП, приемно-раздаточный патрубок

## IMPACT ASSESSMENT RECEPTION DISPENSERS NOZZLE IN THE DEVELOPMENT OF SETTLEMENTS TANK

Chepur P.V., Tarasenko A.A.

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

On the basis of the authors' finite element model of tank RVS-20000 [8], simulated node receiving the distribution of oil-PRP-700, taking into account the geometry of the design of structures: industrial pipelines with 90° tapped reinforcing collars. Into account peculiarities of contact interaction of pipelines with sliding supports. Proposed a design scheme of deformation structures tank transceiver dispensing unit in the development of precipitation tank, while we consider the cases as emptied and filled to the maximum level of tank, as well as the calculations of 6 options for filling the tank with oil by the amount of 1,5; 3; 4,5; 6; 7,5; 9 m. Dependences of the maximum current equivalent stress in the metal at the junction between the PRP-700 with the wall on the value of rainfall tank for the empty vessel and various load cases hydrostatic load. The calculated results of the stress-strain state of metal tank at its base and sediments obtained depending to be used as a theoretical basis to develop the methodology for assessing the technical state of the node receiving the oil-distribution with the identified differential settlement of the tank.

**Keywords:** tank, aboveground tank, stress-strain state, base, FEM, TDP, two-distributing pipe

Исследованиям напряженно-деформированного состояния (НДС) резервуарных металлоконструкций при осадках основания сооружения посвящены многие работы [2–3, 5–7, 10, 12–14]. В них рассмотрены предельные состояния элементов стенки, днища, кольца жесткости, окрайки, кровли и т.д., возникающие при неосесимметричном воздействии, вызванном неравномерными осадками. Однако для полной оценки технического состояния вертикальных стальных резервуаров, в случае выявления развития осадок оснований, необходимо учитывать влияние элементов дополнительной жесткости на изменение НДС металлоконструкций [1]. Такими элементами могут являться: приемно-раздаточный узел, трубопроводы газоравнительной системы, узлы соединения шахтной лестницы со стенкой РВС. Авторами предлагается рассмотреть воздействие трубопроводов приемно-раздаточного устройства на

общее напряженное состояние сооружения при развитии осадки основания.

Узел сопряжения приемно-раздаточного патрубка со стенкой резервуара является одной из наиболее нагруженных зон. Неблагоприятными факторами, влияющими на надежность узла сопряжения ПРП со стенкой, являются: концентраторы напряжений в сварных швах, циклические нагрузки от сливо-наливных операций, прогибы стенки при максимальном наливе продукта (до 20 мм в радиальном направлении для РВС-20000). Особую опасность представляют осадки резервуара, вызывающие появление дополнительных напряжений в металлоконструкциях, которые, суммируясь с эксплуатационными, могут в дальнейшем привести к возникновению предельных состояний в металле [4, 15]. В таком случае, при появлении непроектных нагрузок от неосесимметричного воздействия неравно-

мерной осадки требуется дополнительное исследование влияния узла ПРП на НДС элементов сооружения.

Для получения численных зависимостей величины осадки на напряженное состояние элементов резервуара вблизи узла сопряжения стенки с ПРП авторами предлагается воспользоваться численными методами на основе конечно-элементного анализа. Программная среда, ANSYS Workbench 14.5, позволяет выполнять расчеты неосесимметричного деформирования цилиндрической оболочки с учетом физической и геометрической нелинейности модели. На основе полученной в [8] модели РВС-20000 построен узел сопряжения ПРП-700 со стенкой резервуара, учитывающий реальную геометрию металлоконструкций: трубопроводы ДУ700

с поворотным отводом 90°, усиливающие воротники с учетом проектного радиуса изгиба стенки. Решена контактная задача соединения трубопровода со стенкой и воротником, учитывающая неразъемное сварное соединение на основе связанного контакта «bonded». Учтены граничные условия взаимодействия трубопроводов ПРП со скользящей опорой: трубопроводы имеют полную свободу перемещения в горизонтальной плоскости, а также могут перемещаться в вертикальной в направлении «вверх». При этом запрещается перемещение в направлении «вниз», т.к. конструкции опор, на которые опираются трубопроводы ПРП, не предполагают просадки. На рис. 1 приведена расчетная схема узла приема-раздачи РВС-20000.

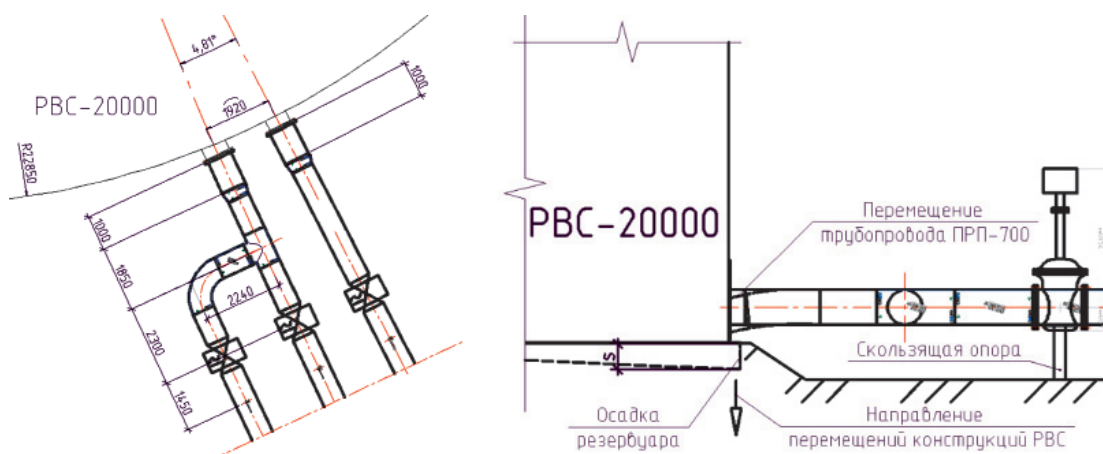


Рис. 1. Расчетная схема

Осадка резервуара РВС-20000 моделируется при помощи условия заданного перемещения «displacement». Величина осадки задается табулированной функцией, в которой учитываются предельные значения осадки от 1 до 50 мм. Были проведены предварительные оценочные расчеты, на основе которых определены границы предельной осадки. Так, при величинах осадки < 1 мм значения напряжений не превышают 150 МПа даже при полностью наполненном РВС. При величине осадки > 50 мм возникают напряжения более 500 МПа в стенке РВС даже в случае полного отсутствия продукта. Для выполнения расчетов было произведено разбиение модели на конечно-элементную сетку. Трубопроводы моделировались при помощи конечных элементов SHELL181, а усиливающие воротники – SOLID186. Поэлементное измельчение сетки составило 0,05 м, на

рис. 2 представлено разбиение элементов модели на конечно-элементную сетку.

Для получения численных зависимостей действующих эквивалентных напряжений в конструкциях от величины осадки РВС было рассмотрено 8 случаев нагружения РВС: опорожненный резервуар, полностью заполненный резервуар нефтью с уровнем налива 10,88 м, а также 6 вариантов заполнения на величину: 1,5; 3; 4,5; 6; 7,5; 9 м. Плотность нефти принимается равной 865 кг/м<sup>3</sup>. Такой подход позволяет произвести оценку напряженно-деформированного состояния узла соединения ПРП со стенкой резервуара в различных эксплуатационных состояниях, а также определить предельно достижимую величину взлива нефти при выявлении осадки основания.

На рис. 3 представлена модель узла ПРП с распределением действующих эквивалентных напряжений в металлоконструкциях.

Представлен случай наступления предельного состояния в зоне сварного соединения трубопроводов ПРП-700 со стенкой при

осадке 30 мм. Участок с наибольшими напряжениями находится в околошовной зоне под нижней частью патрубка.

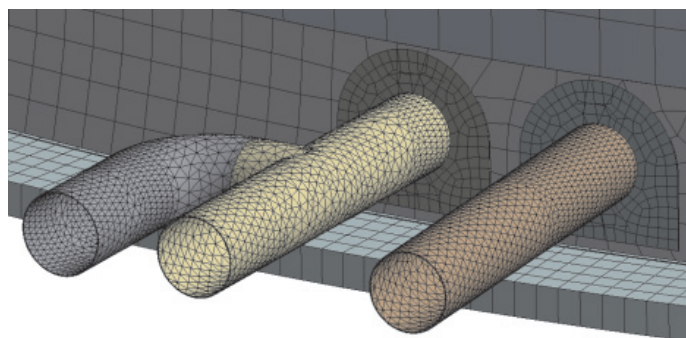


Рис. 2. Конечно-элементная модель узла ПРП-700 РВС-20000

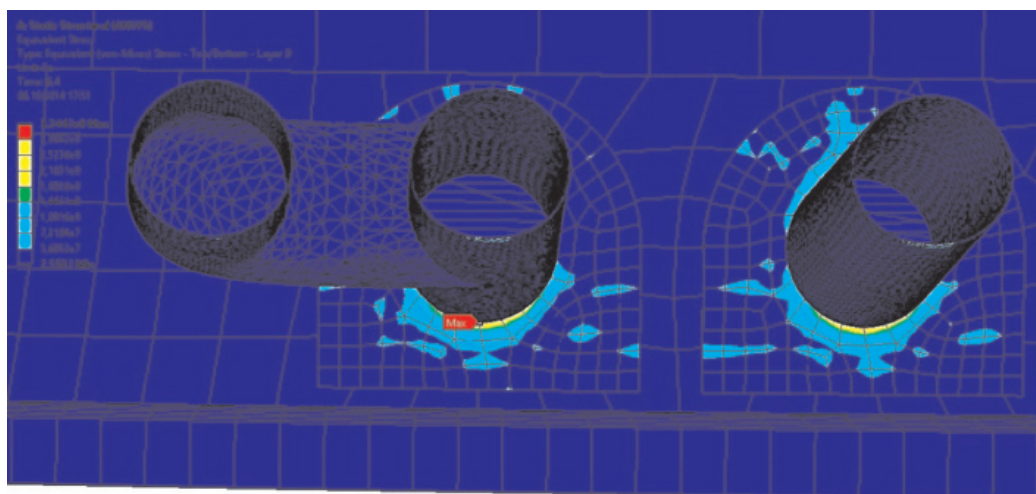


Рис. 3. Эквивалентные напряжения в металлоконструкциях для опорожненного резервуара при осадке 30 мм

Проектная конструкция скользящей опоры, установленной на отдельный фундамент, предусматривает ограничение перемещения трубопроводов узла приема-раздачи в вертикальном направлении «вниз» – т.е. совместно с проседающим РВС. Вследствие этого при осадке РВС возникают деформации металлоконструкций стенки, усиливающего воротника и самого трубопровода ПРП. На рис. 4 представлена модель узла ПРП с распределением деформаций металлоконструкций для полностью заполненного резервуара (высота налива нефти – 10,88 м) при осадке 30 мм. Для оценки характера перемещений конструкций рассматриваемого узла применен масштабный коэффициент х30 для деформаций. Коэффициент применен для глобальной аффинной системы координат в плоскостях X, Y, Z. Из рис. 4 видно, что наибольшие деформации испытывает оболочка стенки РВС-20000, на которую дей-

ствуют непроектные неосесимметричные нагрузки, вызванные осадкой основания.

На основании выполненных конечно-элементных расчетов получены зависимости максимальных действующих эквивалентных напряжений в металлоконструкциях от величины осадки РВС-20000.

На представленных графиках определена зона наступления предельного состояния в металле, а именно обозначен предел текучести стали 09Г2С  $\sigma_t = 325$  МПа. Так, при полностью заполненном резервуаре предельное состояние в металле наступает уже при 3 мм осадки, в случае рассмотрения опорожненного состояния РВС-20000 – предельное состояние наступает при 30 мм осадки.

#### Выводы

1. На основе разработанной авторами конечно-элементной модели РВС-20000 в [8] выполнено моделирование узла при-

ема-раздачи нефти ПРП-700. Учтена проектная геометрия конструкции: технологические трубопроводы с 90° отводами,

усиливающие воротники, особенности контактного взаимодействия трубопроводов ПРП со скользящими опорами.

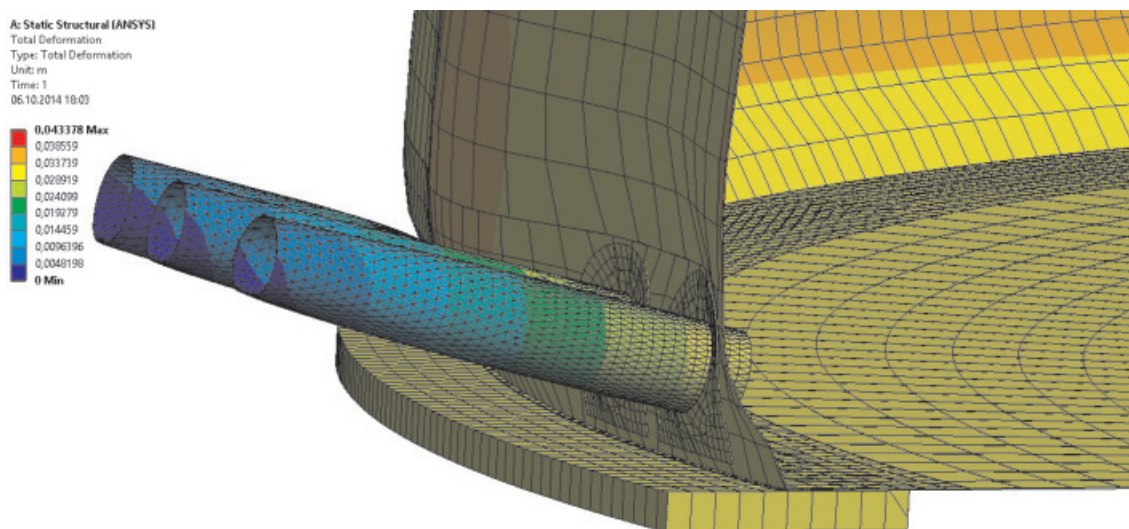


Рис. 4. Деформации металлоконструкций для полностью заполненного резервуара (высота налива нефти – 10,88 м) при осадке 30 мм

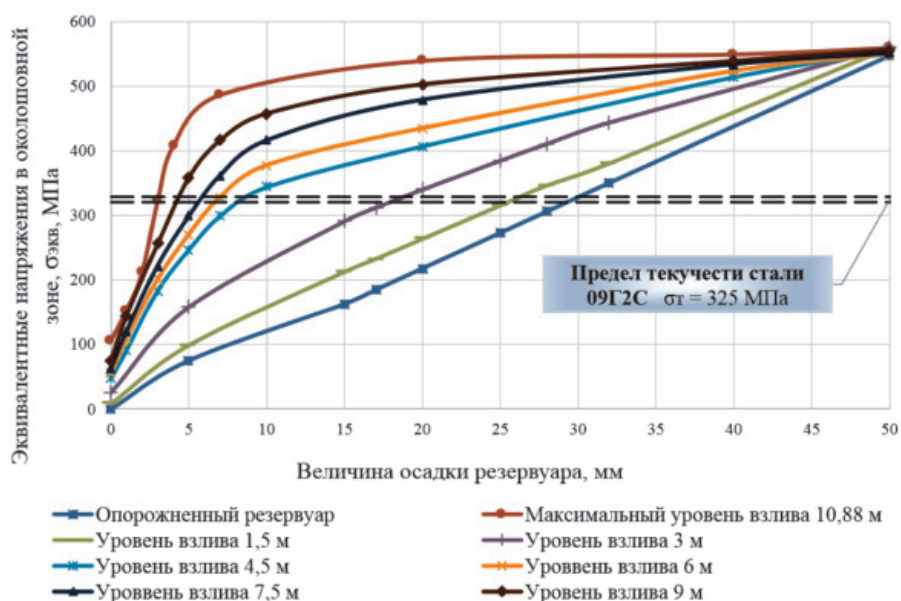


Рис. 5. Зависимости максимальных действующих эквивалентных напряжений в металле в зоне соединения ПРП-700 со стенкой от величины осадки РВС-20000

2. Предложена расчетная схема деформирования конструкции РВС-20000 с приемо-раздаточным узлом при развитии осадки резервуара. При этом рассмотрены случаи как опорожненного, так и полностью до максимального уровня РВС, а также выполнены расчеты для 6 вариантов заполнения резервуара нефтью на величину 1,5; 3; 4,5; 6; 7,5; 9 м.

3. Получены зависимости максимальных действующих эквивалентных напряжений в металле в зоне соединения ПРП-700 со стенкой от величины осадки РВС-20000 для пустого резервуара и различных случаев нагружения гидростатической нагрузкой. При величине осадки 30 мм действующие напряжения достигают 325 МПа (что соответствует пределу текучести стали 09Г2С)

во всех случаях нагружения, как в самом благоприятном – при пустом РВС, так и заполненном нефтью при различных уровнях. Наиболее опасным случаем является осадка РВС с полным заполнением нефтью, при этом предельное состояние наступает при 3 мм, а при величине осадки, превышающей 10 мм, действующие эквивалентные напряжения достигают величины 500 МПа, что приводит к возникновению недопустимых пластических деформаций.

4. Расчетные результаты напряженно-деформированного состояния металлоконструкций резервуара при осадках его основания и полученные зависимости могут быть использованы в качестве теоретической основы создания методики оценки технического состояния узла приема-раздачи нефти при выявленных осадках основания резервуара.

#### Список литературы

1. 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.
2. Тарасенко А.А., Саяпин М.В. Результаты статистической обработки измерений неравномерных осадок наружного контура днища вертикальных стальных резервуаров // Известия вузов «Нефть и газ». – Тюмень, 1999. – № 1. – С. 52–56.
3. Тарасенко А.А., Турин Д.В. Моделирование нефтяных стальных цилиндрических резервуаров // Известия вузов «Нефть и газ». – Тюмень, 2001. – № 4. – С. 65–69.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. Тарасенко М.А., Сильницкий П.Ф., Тарасенко А.А. Анализ результатов дефектоскопии коррозионных повреждений резервуаров // Известия вузов «Нефть и газ». – Тюмень, 2010. – № 5. – С. 78–82.
10. 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.
11. 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.

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 крайки 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. Конечнo-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., Nikolaev N.V., Hoperskij G.G., Ovchar Z.N., Sajapin M.V. Izvestijavuzov.Neft'igaz. 1998, no.1, pp. 59–68.
2. Tarasenko A.A., Sajapin M.V. Izvestijavuzov.Neft'igaz. 1999, no.1, pp. 52–56.
3. Tarasenko A.A., Turin D.V. Izvestijavuzov.Neft'igaz. 2001, no. 4, pp. 65–69.
4. Tarasenko A.A., Chepur P.V., Kuzovnikov E.V., Tarasenko D.A. Fundamental research, 2014, no. 9–7, pp. 1471–1476.
5. Tarasenko A.A., Chepur P.V., Tarasenko D.A. Fundamental research, 2014, no. 6–3, pp. 485–489.
6. Tarasenko A.A., Chepur P.V., Chirkov S.V. Fundamental research, 2013, no. 10–15, pp. 3409–3413.
7. Tarasenko A.A., Chepur P.V., Chirkov S.V. Bezopasnost' trudavpromyshlennosti, 2014, no. 5, pp. 60–63.
8. Tarasenko A.A., Chepur P.V., Chirkov S.V., Tarasenko D.A. Fundamental research, 2013, no. 10–15, pp. 3404–3408.
9. Tarasenko M.A., Sil'nitskiy P.F., Tarasenko A.A. Izvestijavuzov.Neft'igaz. 2010, no. 5, pp. 78–82.
10. Tihanov E.A., Tarasenko A.A., Chepur P.V. Fundamental research, 2014, no.6-2, pp. 330–334.
11. Hoperskij G.G., Sajapin M.V., Tarasenko A.A. Izvestijavuzov.Neft'igaz. 1998, no.2, pp. 60–64.
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 10.10.2014.