

УДК 621.642.39.03

ДЕФОРМИРОВАНИЕ ВЕРХНЕГО КРАЯ ОБОЛОЧКИ ПРИ РАЗВИТИИ НЕРАВНОМЕРНЫХ ОСАДОК РЕЗЕРВУАРА

Тарасенко А.А., Чепур П.В., Тарасенко Д.А.

*ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет»,
Тюмень, e-mail: a.a.tarasenko@gmail.com; chepur@me.com; zuleen@mail.ru*

В статье рассмотрен вопрос деформирования верхнего края оболочки при развитии неравномерных осадок резервуара. Проанализированы работы, посвященные математическому представлению процесса изменения напряженно-деформированного состояния различных элементов резервуара при неравномерных осадках. Созданы модели РВС-20000 для расчета НДС по упрощенной и расширенной (полной) схемам. В предложенной модели авторами была поставлена задача учесть максимальное количество геометрических элементов металлоконструкции резервуара. Особое внимание уделено моделированию узлов сопряжения стенки и окрайки, стенки и настила кровли, балок кровли и кольца жесткости. В работе получены кривые вертикальных и горизонтальных перемещений стенки для полной и упрощенной расчетных схем. Доказана необходимость учета величины выступа окрайки, опорного кольца жесткости, балочной конструкции кровли, листовой конструкции кровли при расчете НДС резервуара при неравномерных осадках, эти факторы значительно влияют на конечную жесткость всего резервуара.

Ключевые слова: резервуар, РВС, НДС, неравномерные осадки, ANSYS, оболочка, моделирование, метод конечных элементов, МКЭ

THE UPPER EDGE DEFORMATION OF THE SHELL UNDER DEVELOPING DIFFERENTIAL SETTLEMENTS OF THE VERTICAL STEEL STORAGE TANK

Tarasenko A.A., Chepur P.V., Tarasenko D.A.

*Tyumen State Oil and Gas Institute, Tyumen,
e-mail: a.a.tarasenko@gmail.com; chepur@me.com; zuleen@mail.ru*

This article reflects the problem of the shell's upper edge deformation under development of differential settlements. The issues, devoted to mathematical analyses of the process of stress-strain state changing for different elements of the tank under differential settlements are considered. The authors created simple and advanced models of the tank RVS-20000 for stress-strain state finite element analyses. The presented finite element model takes into account the maximum quantity of tank's geometrical elements. Particular attention was devoted to modelling connections: wall and bottom border, wall and roof, reinforce ring and roof. In the article presented the diagrams of horizontal and vertical displacements for simple and advanced models. The authors proved the idea of necessity taking into account different factors: bottom border, reinforce rings, beams of the roof, sheet of the roof for calculating tank's stress-strain state with differential settlements. These factors considerably influence on the finite rigidity of the tank.

Keywords: aboveground oil tank, RVS, stress-strain state, differential settlements, ANSYS, shell, model, finite element method, FEM

Неравномерные осадки наружного контура днища резервуара оказывают существенное влияние на напряженно-деформированное состояние его конструктивных элементов [4, 5, 6, 7, 13]. Из литературных источников известно, что осадки являются одним из наиболее опасных факторов, нередко приводящих к повреждению и разрушению РВС [8, 9, 12]. Получить решение аналитическими методами для неосесимметричного деформирования можно лишь вводя ряд допущений, существенно снижающих точность результатов [14]. Авторы поставили задачу получить зависимости между величинами просадочной зоны, значениями возникающих напряжений и перемещений элементов РВС. При развитии осадки нижнего контура верхний край стенки резервуара также перемещается в радиальном направлении, величина деформации зависит от собственной жесткости оболочки. Располагая подобной зависимостью для каждого типоразмера резервуара, можно по

данным геодезических измерений установить, происходит ли развитие неравномерной осадки наружного контура днища, либо деформация оболочки – следствие дефектов монтажа металлоконструкций корпуса и днища.

Приближенное решение задачи с использованием численных методов получено в [3]. Автор воспользовался вычислительным комплексом «ЛИРА» в линейной постановке. Принятые в работе допущения привели к недостаточной точности решения и снизили практическую значимость исследования. Возможности программы не позволили включить в модель кольцо жесткости и кровлю резервуара и их воздействие было заменено нулевыми осевыми перемещениями для верхней кромки стенки резервуара. Такой подход не отражает реальную жесткость конструкций РВС и значительно искажает результаты расчетов. С появлением новых вычислительных пакетов появилась возможность моделировать

и исследовать сооружение целиком, включая все элементы его конструкции.

Предлагается сравнить результаты изменения НДС резервуара по упрощенной (без учета кровли, кольца жесткости и других параметров согласно [3]) и предложенной авторами статьи расчетным схемам при различных величинах просадочной зоны. В исследовании используется современный программный продукт ANSYS Workbench 14.5, основанный на конечно-элементном анализе [1]. В первом случае (упрощенная схема) авторами была рассмотрена деформация стенки РВС – тонкой цилиндрической оболочки в неосесимметричной постановке,

при различных коэффициентах просадки n . Подробное описание методики моделирования неравномерной осадки с параметром n приведено в работах [10, 15]. В упрощенной расчетной схеме приняты граничные условия аналогично работе [3]: резервуар жестко закреплен в 24 точки уторного шва, верхняя кромка стенки не закреплена. В геометрии не учитываются кольцо жесткости, кровля, окрайка, центральная часть днища. На рис. 1 приведены результаты расчетов радиальных перемещений стенки резервуара при $n = 1$. На рис. 2–3 построены графики зависимости перемещений от величин просадочной зоны ($n = 1...6$).

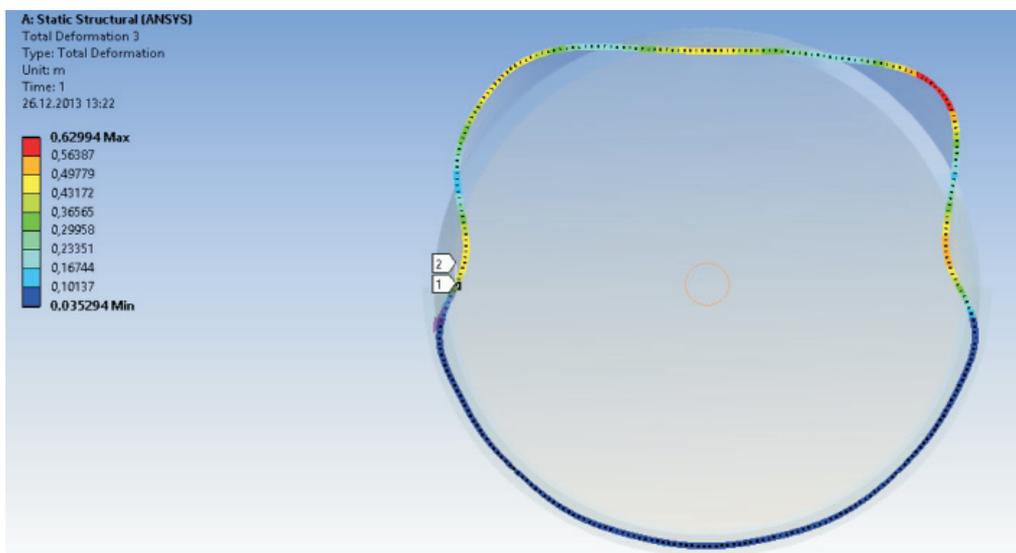


Рис. 1. Радиальные перемещения верхней кромки 8-го пояса стенки при $n = 1$

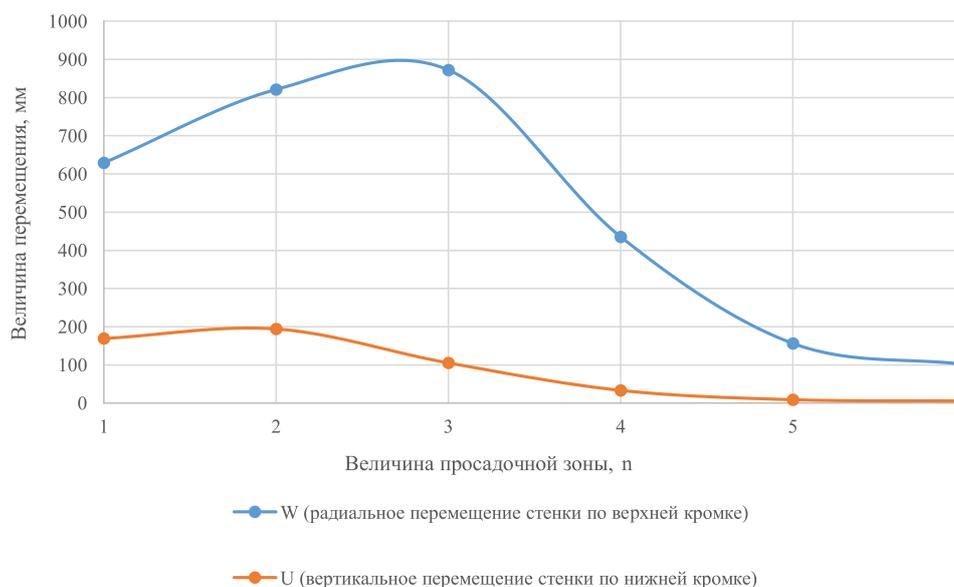


Рис. 2. Перемещения стенки без крыши и опорного кольца

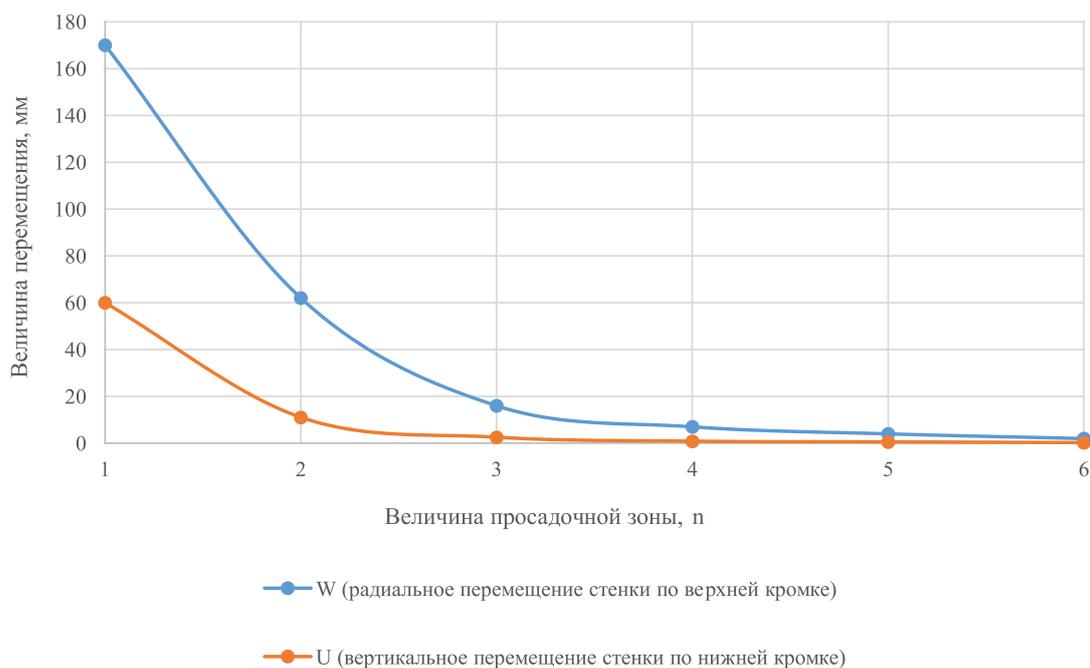


Рис. 3. Перемещения стенки по И.В. Слепневу [3]

Для получения достоверных результатов деформирования конструкций РВС при неравномерных осадках авторами была разработана модель, учитывающая физическую и геометрическую нелинейность процессов деформирования металлоконструкций. В расчетной модели учитываются следующие элементы: фундаментное кольцо, стенка, окрайка, центральная часть днища, опорное кольцо, балки и листы кровли. Модель состоит из балочных (BEAM4, BEAM188), оболочечных (SHELL181) и «контактных» (CONTA175, TARGE170) конечных элементов.

Фундамент и центральная часть днища имеют контактное взаимодействие с грунтовым основанием, данная задача решается в упругой постановке с заданием коэффи-

циента постели грунтового основания, который принимается равным 200 МН/м^3 [2]. Ветровая нагрузка прикладывается к стенке резервуара в соответствии со значениями, принятыми для I ветрового района. Снеговая нагрузка прикладывается к поверхности настила кровли, величина задана для V снегового района. Таким образом, нагружение металлоконструкций выбрано для самых «невыгодных» условий с максимальными показателями. Адекватность предложенной численной модели проверена путем решения осесимметричной задачи и сравнением с аналитическим решением в [11], погрешность при этом составила не более 2%. На рис. 4 поясняется характер деформирования конструкций РВС при $n = 1$.

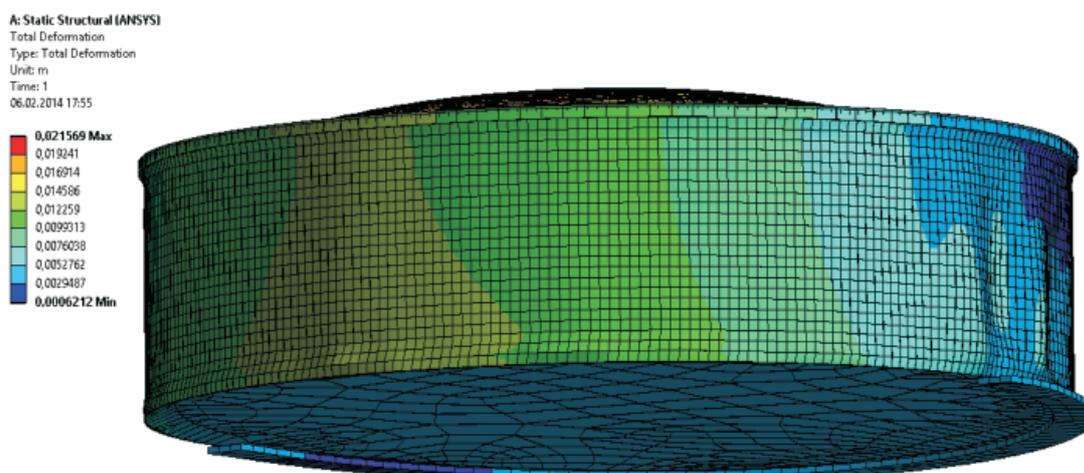


Рис. 4. Перемещения конструкций РВС при $n = 1$

На рис. 5 построены графики зависимости радиальных и вертикальных перемещений от величин просадочной зоны ($n = 1...6$).

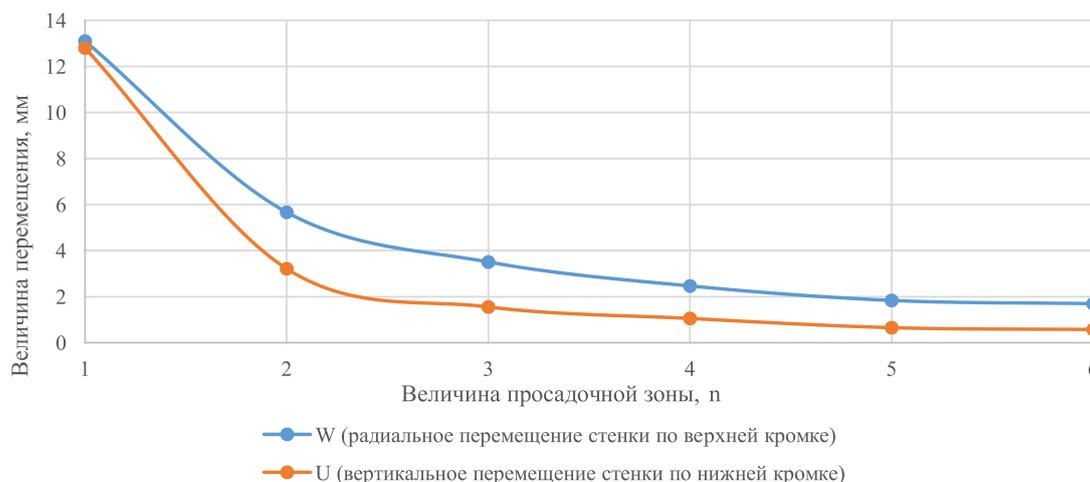


Рис. 5. Перемещения стенки согласно предложенной авторами схеме (ANSYS)

Использование геометрически и физически точных моделей, а также современных расчетных пакетов позволило получить адекватную картину напряженно-деформированного состояния металлоконструкций РВС, пригодную для практического применения.

Выводы

1. В программном комплексе ANSYS создана конечно-элементная модель резервуара РВС-20000, учитывающая максимальное количество элементов конструкции и физические свойства используемой стали, при развитии неравномерной осадки наружного контура днища.

2. Установлено, что при расчетах напряженно-деформированного состояния резервуаров должна учитываться реальная жесткость РВС. Неучет таких элементов конструкции, как окрайка, опорное кольцо жесткости, балочная конструкция стационарной кровли, листы настила, может приводить к погрешностям в расчетах до 1300%.

3. Получена зависимость между величиной осадки и радиальным перемещением верхней кромки стенки РВС-20000.

Список литературы

1. Семин Е.Е., Тарасенко А.А. Использование программных комплексов при оценке технического состояния и проектирование ремонтов вертикальных стальных резервуаров // Трубопроводный транспорт: теория и практика. – М., 2006. – № 4. – С. 84–87.

2. Сильницкий П.Ф., Тарасенко М.А., Тарасенко А.А. Расчет фундаментного кольца резервуара с дефектами //

Известия вузов «Нефть и газ». – Тюмень, 2011. – № 5. – С. 76–78.

3. Слепнев И.В. Напряженно-деформированное упруго-пластическое состояние стальных вертикальных цилиндрических резервуаров при неравномерных осадках оснований: дис. ... канд. техн. наук. – М., 1988. – 228 с.

4. Тарасенко А.А. Напряженно-деформированное состояние крупногабаритных резервуаров при ремонтных работах: дис. ... канд. техн. наук. – Тюмень, 1991. – 254 с.

5. Тарасенко А.А. Разработка научных основ методов ремонта вертикальных стальных резервуаров: дис. ... д-ра техн. наук. – Тюмень, 1999. – 299 с.

6. 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.

7. 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.

8. Тарасенко А.А., Сильницкий П.Ф., Тарасенко Д.А. Противоречия в современной нормативно-технической базе при ремонте резервуаров // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10 (часть 15). – С. 3400–3403; URL: www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10002342.

9. Тарасенко А.А., Хоперский Г.Г., Саяпин М.В. Исследование возможности применения сварки для ремонта коррозионных повреждений металлоконструкций резервуаров // Известия вузов «Нефть и газ». – Тюмень, 1997. – № 6. – С. 129.

10. 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 (часть 15). – С. 3409–3413; URL: www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10002344.

11. Тарасенко А.А., Чепур П.В., Чирков С.В., Тарасенко Д.А. Модель резервуара в среде ANSYS Workbench 14.5 // Фундаментальные исследования. –

2013. – № 10 (часть 15). – С. 3404–3408; URL: www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10002343.

12. Тарасенко М.А., Сильницкий П.Ф., Тарасенко А.А. Анализ результатов дефектоскопии коррозионных поврежденных резервуаров // *Известия вузов «Нефть и газ»*. – Тюмень, 2010. – № 5. – С. 78–82.

13. 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.

14. Хоперский Г.Г., Саяпин М.В., Тарасенко А.А., Николаев Н.В. Принцип независимости действия сил при расчете напряженно-деформированного состояния стенки резервуаров // *Известия вузов «Нефть и газ»*. – Тюмень, 1998. – № 4. – С. 73–77.

15. 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 (часть 15). – С. 3441–3445; URL: www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10002350.

References

1. Semin E.E., Tarasenko A.A. *Pipeline transport: theory and practice*, 2006, no. 4, pp. 84–87.

2. Sil'nickij P.F., Tarasenko M.A., Tarasenko A.A. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Neft'igaz – Academic news «Oil and gas»*, 2011, no.5, pp. 76–78.

3. Slepnev I.V. Naprjazhenno-deformirovannoe uprugoplastichesкое sostojanie stal'nyh vertikal'nyh cilindricheskikh rezervuarov pri neravnomernyh osadkah osnovanija. Diss. kand. tehn. nauk [Stress-strain elastic-plastic state steel vertical cylindrical tanks with irregular settlement base. Candidate technical sciences dissertation]. Moscow, MISI im. V.V. Kujbysheva, 1988. 228 p.

4. Tarasenko A.A. Naprjazhenno-deformirovannoe sostojanie krupnogabaritnyh rezervuarov pri remontnyh rabotah: dis. cand. tehn. nauk [Stress-strained state of large-sized tanks during repairs. Candidate technical sciences dissertation]. Tyumen, 1991. 254 p.

5. Tarasenko A.A. Razrabotka nauchnyh osnov metodov remonta vertikal'nyh stal'nyh rezervuarov: dis. doct. tehn. nauk

[Development of scientific bases of methods of repair of vertical steel tanks]. Tyumen, 1999. 299 p.

6. Tarasenko A.A., Nikolaev N.V., Hoperskij G.G., Sajapin M.V. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Neft'igaz – Academic news «Oil and gas»*, 1997, no. 3, pp. 75–79.

7. Tarasenko A.A., Sajapin M.V. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Neft'igaz – Academic news «Oil and gas»*, 1999, no.1, pp. 52–56.

8. Tarasenko A.A., Sil'nickij P.F., Tarasenko D.A. *Fundamental research*, 2013, no. 10 part 15, pp. 3400–3403.

9. Tarasenko A.A., Hoperskij G.G., Sajapin M.V. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Neft'igaz – Academic news «Oil and gas»*, 1997, no.6, pp. 129.

10. Tarasenko A.A., Chepur P.V., Chirkov S.V. *Fundamental research*, 2013, no. 10 part 15, pp. 3409–3413.

11. Tarasenko A.A., Chepur P.V., Chirkov S.V., Tarasenko D.A. *Fundamental research*, 2013, no.10 part 15, pp. 3404–3408.

12. Tarasenko M.A., Sil'nickij P.F., Tarasenko A.A. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Neft'igaz – Academic news «Oil and gas»*, 2010, no. 5, pp. 78–82.

13. Hoperskij G.G., Ovchar Z.N., Tarasenko A.A., Nikolaev N.V. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Neft'igaz – Academic news «Oil and gas»*, 1997, no. 5, pp. 80–85.

14. Hoperskij G.G., Sajapin M.V., Tarasenko A.A., Nikolaev N.V. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Neft'igaz – Academic news «Oil and gas»*, 1998, no. 4, pp. 73–77.

15. Chepur P.V., Tarasenko A.A., Tarasenko D.A. *Fundamental research*, 2013, no. 10 part 15, pp. 3441–3445.

Рецензенты:

Иванов В.А., д.т.н., профессор кафедры «Транспорт углеводородных ресурсов», 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 11.04.2014.