

УДК 621.642.39.03

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕЙСТВУЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ ОТ ПОДЪЕМНЫХ УСТРОЙСТВ ПРИ РЕМОНТЕ ФУНДАМЕНТА РЕЗЕРВУАРА**Тарасенко А.А., Чепур П.В.***Тюменский государственный нефтегазовый университет, Тюмень,
e-mail: a.a.tarasenko@gmail.com; chepur@me.com*

Создана конечно-элементная модель резервуара РВС-20000 для расчета общего НДС конструкции и отдельных элементов при подъемных операциях. В полученной модели учтены реальные геометрические и конструктивные характеристики как основных элементов (стенки, кровли, крайки, опорного кольца), так и усиливающих конструкций (вертикальные рамы, косынки, подкосы, дополнительное кольцо жесткости). Решена контактная задача взаимодействия вертикальной опорной рамы дополнительной жесткости и подъемного устройства – гидродомкрата. Исследован случай изменения НДС конструкции РВС-20000 при неосесимметричном нагружении, вызванном неравномерной работой подъемного устройства – гидродомкрата. Получены зависимости действующих напряжений в стенке, усиливающем каркасе и кольце жесткости от величины сосредоточенной нагрузки от гидродомкрата с пределами заданных перемещений 0–30 мм. Обоснована предельная величина перемещения гидродомкрата при подъеме резервуара.

Ключевые слова: резервуар, РВС, подъем, НДС, основание, фундамент, ремонт фундамента, МКЭ**DETERMINE THE EFFECT OF THE TENSION FROM THE LIFTING DEVICE DURING REPAIR TANK FOUNDATION****Tarasenko A.A., Chepur P.V.***Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, e-mail: a.a.tarasenko@gmail.com, chepur@me.com*

Established finite element model of the tank RVS-20000 to calculate the total stress-strain state structure and individual elements in lifting operations. In the resulting model takes into account the actual geometrical and structural characteristics as the basic elements (walls, roofs, selvages, support ring), so reinforcing structures (vertical frames, scarves, braces, extra stiffening ring). Solved the contact problem of interaction between the vertical support frame extra rigidity and the lifting device – hydraulic jack. The case of changes in the stress-strain state design RVS-20000 under axisymmetrical loading caused by the uneven operation of the lifting device – hydraulic jack. The dependences of the effective stresses in the wall, the reinforcing cage and ring stiffness of the value of a concentrated load of hydraulic jack with the limits prescribed displacements from 0 to 30 mm. Justified limiting the amount of movement hydraulic jack when lifting the tank.

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

Инфраструктура магистрального транспорта нефти Западной Сибири за длительный срок эксплуатации претерпела значительный износ. Одними из наиболее интенсивно используемых и важных в технологической цепочке перекачки нефти объектов являются вертикальные стальные резервуары (РВС). Нередко площадки строительства РВС сложены слабонесущими переувлажненными грунтами, приводящими к появлению ненормативных отклонений в конструкциях фундаментов и оснований [12–13]. Для поддержания в работоспособном состоянии резервуаров зачастую требуется проведение ремонтных работ.

Для ремонта фундаментного кольца в работах [7, 9, 15] предложена перспективная методика подъема резервуара на гидродомкратах с предварительно усиленным корпусом РВС специальными жесткостными элементами. В таком случае резервуар полностью поднимается над дневной поверхностью на высоту 1 м и производится полная замена фундаментного кольца и, при необходимости и техническом обосновании, всего основания. После осуществления ремонта

по такой технологии резервуар устанавливается фактически на новый фундамент.

Однако есть ряд проблем при реализации такого способа ремонта РВС. Связано это с тем, что резервуары отечественного типоразмера изначально не проектировались на подъемные операции. А сосредоточенные неосесимметричные нагрузки, возникающие при воздействии подъемных устройств, могут привести к возникновению предельных состояний в металлоконструкциях резервуара [2]. Для решения такой проблемы авторами статьи поставлена задача исследовать изменение напряженно-деформированного состояния различных конструкций резервуара при действии сосредоточенной нагрузки от одного гидродомкрата, что является наиболее невыгодным случаем нагружения. С целью реализации поставленной задачи авторами была разработана конечно-элементная модель РВС-20000 в программном комплексе ANSYS WORKBENCH 14.5 [1] для расчета НДС конструкций сооружения при подъеме [5–6, 14]. Базовая расчетная модель резервуара учитывает основные конструкции РВС:

цилиндрическую оболочку-стенку, днище и окрайку, кольцо жесткости, балочный и оболочечный настил кровли. Все элементы модели построены с учетом реальных размеров и особенностей конструкций по проекту для РВС-20000 ТП 704-1-60. Разработана и смоделирована геометрическая конфигурация усиления оболочки РВС вертикальными опорными рамами, кольцом жесткости, косынками и подкосами. В [8] выполнена верификация конечно-элементной модели резервуара. Разница результатов решения осесимметричной задачи, решенной аналитическим и численным методами, составляет не более 3%. Для прогибов стенки разница численного с аналитическим решением составляет 2,47%, для действующих напряжений – 2,75%.

При подъеме резервуара по всему контуру с целью ремонта фундаментного кольца, нагрузка от гидродомкратов передается через вертикальные рамы жесткости, приваренные к стенке РВС с помощью пластин. Эксцентриситет при приложении нагрузки к вертикальной раме приводит к появле-

нию изгибных напряжений в стенке и пластинах крепления. Предложенная автором усиливающая конструкция резервуара рассчитана на равномерный подъем всеми 24 гидродомкратами. Однако на основании многолетнего опыта проведения ремонтных работ резервуаров с применением метода подъема [2] не всегда удается точно синхронизировать работу всех гидродомкратов. Вследствие этого могут возникать недопустимые напряжения в конструкциях от приложения сосредоточенной нагрузки от одного или нескольких гидродомкратов. Автором поставлена задача исследовать деформационные параметры конструкций при действии сосредоточенной нагрузки от одного гидродомкрата. На основании этого можно ввести ограничения на величину хода штока при работе гидродомкратов. Для реализации поставленной задачи автором используется геометрическая модель РВС-20000, усиленная элементами дополнительной жесткости, разработанная в [15]. Расчетная схема приложения сосредоточенной нагрузки приведена на рис. 1.

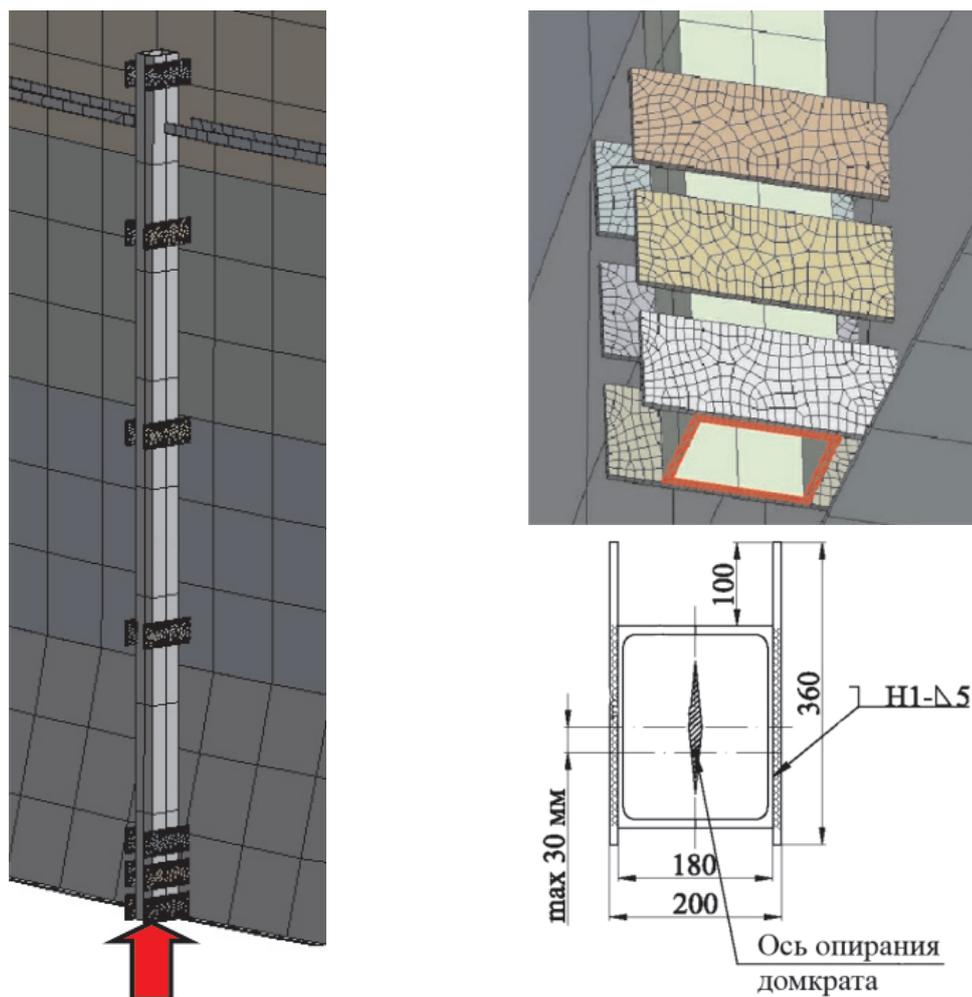


Рис. 1. Приложение сосредоточенной нагрузки к опорной раме от гидродомкрата

Нагрузка от домкрата на вертикальную раму жесткости распределяется по площади $66,4 \text{ см}^2$ – нижней торцевой части прямоугольного профиля. Остальные 23 вертикальные рамы упруго закреплены по этим же плоскостям, что определяет граничные условия конечно-элементной расчетной модели. Работа гидродомкрата моделируется с помощью функции заданного перемещения «displacement». Величина перемещения ступенчато увеличивалась от 0 до 30 мм с шагом 5 мм. С целью снижения затрат машинного времени на выполнение трудоемких вычислений на первом этапе был осу-

ществлен оценочный расчет максимального подъема одним гидродомкратом на величину 30, 50, 100, 200 мм. Результаты расчета показали, что при величине подъема 30 мм в металлоконструкции РВС-20000 наступает предельное состояние. Далее были выполнены более точные расчеты НДС резервуара с увеличением дискретности шага подъема и сгущением конечно-элементной сетки. На основании конечно-элементного анализа получены результаты изменения НДС конструкций при действии сосредоточенной силы. На рис. 2–4 представлены эпюры распределения прогибов и напряжений.

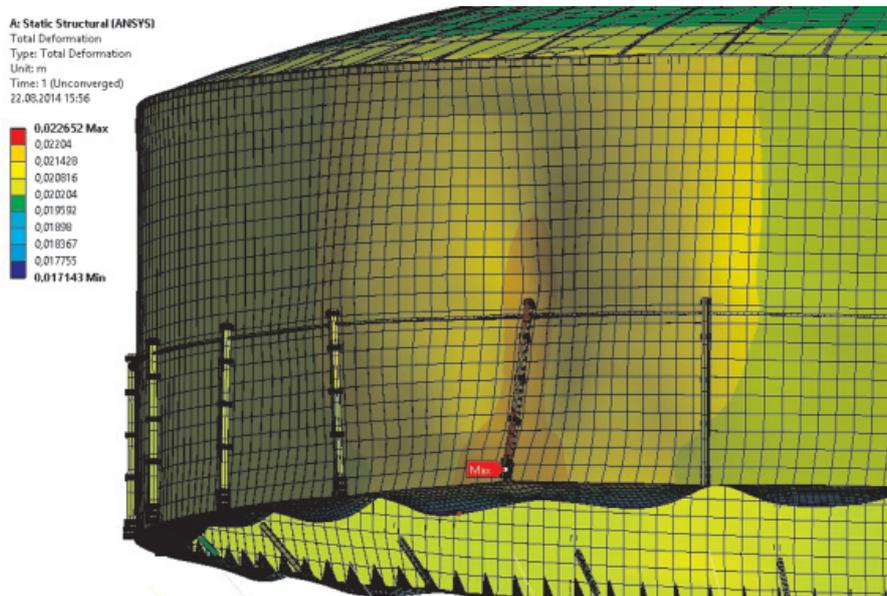


Рис. 2. Прогибы конструкций при заданном перемещении 2 см

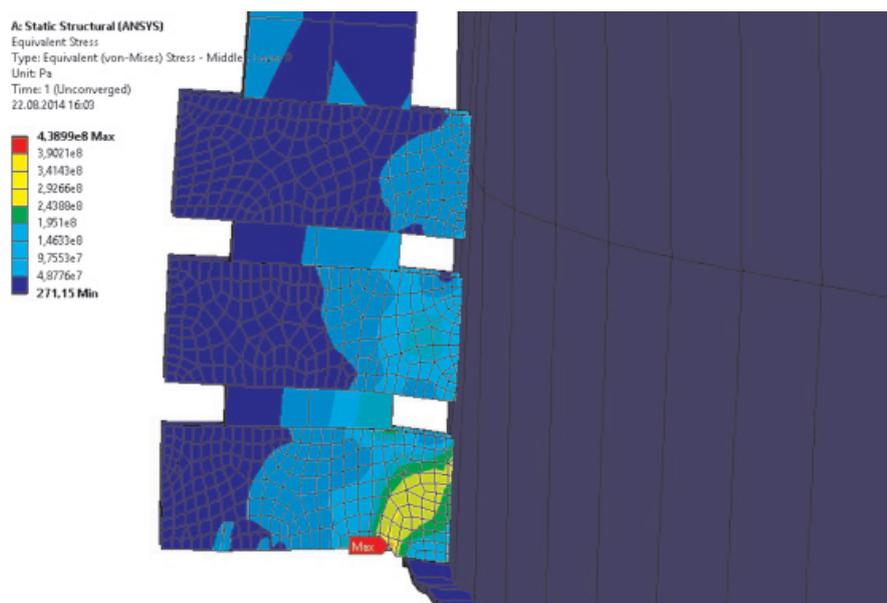


Рис. 3. Эквивалентные напряжения в усиливающей раме при заданном перемещении 3 см

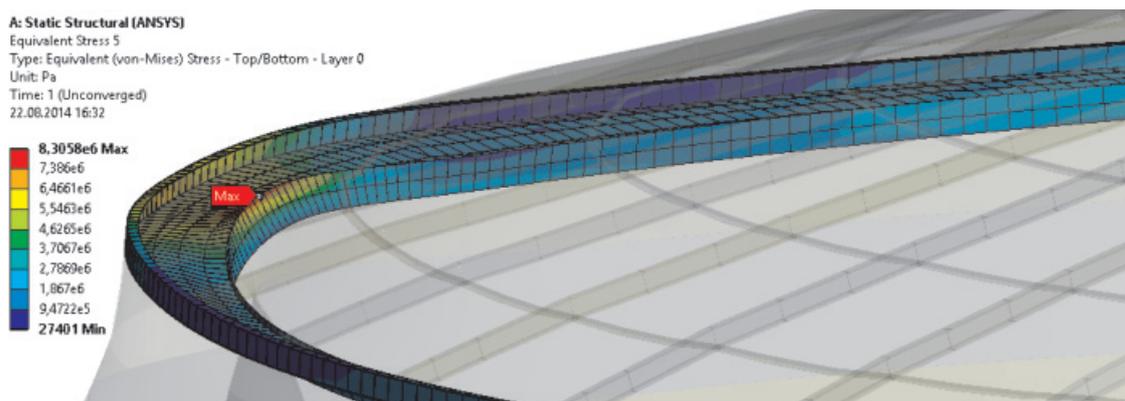


Рис. 4. Эквивалентные напряжения в кольце жесткости при заданном перемещении 3 см

На эпюрах распределения напряжений и деформаций использован увеличенный масштаб для визуализации 200х. Из рис. 2–4 видно, что избыточное непроектное перемещение домкратов даже на величину 2 см приводит к появлению предельных состояний раз-

личных конструкций, особенно вертикальных опорных рам, стенки, кольца жесткости.

Автором получены зависимости действующих напряжений от величины подъема гидродомкрата для стенки, рамы и кольца жесткости (рис. 5).

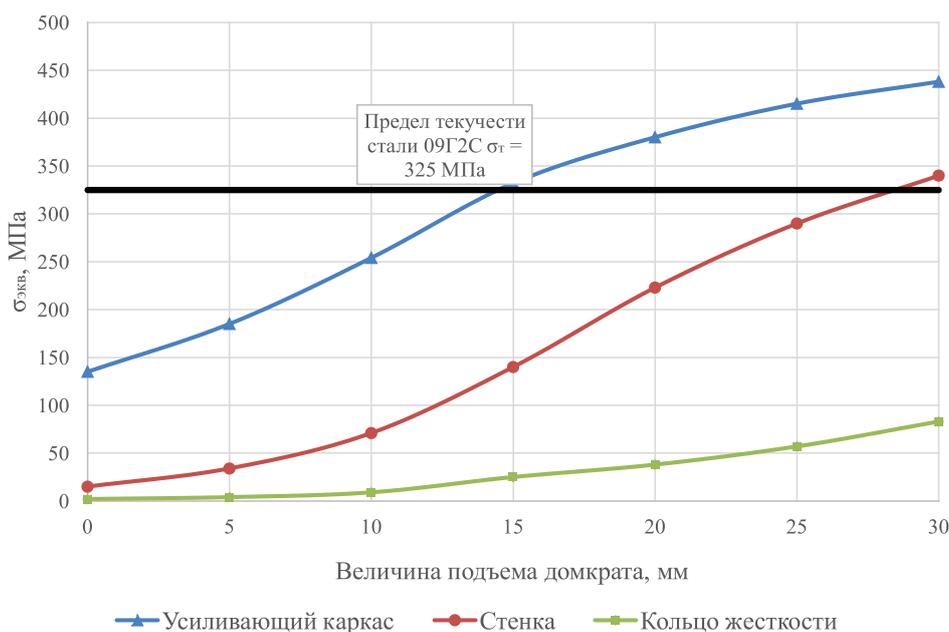


Рис. 5. Действующие эквивалентные напряжения в конструкциях РВС-20000 при неосесимметричном воздействии сосредоточенной нагрузкой от домкрата

Анализируя полученные зависимости, можно сделать вывод, что предельные состояния в усиливающем каркасе РВС-20000 могут возникать при подъеме штока гидродомкрата на величину более 15 мм. В первую очередь избыточные деформации и напряжения воспринимают пластины крепления опорной рамы к стенке, направляющие опорных рам. При выдвигании штока на величину более 25 мм напряже-

ния в участках стенки (в зоне крепления опорных рам) достигают предела текучести 325 МПа. Также, основываясь на характере деформаций (рис. 2), возникает вопрос обеспечения местной устойчивости стенки – тонкостенной цилиндрической оболочки, испытывающей непроектные изгибные напряжения при неосесимметричном подъеме. Опорное кольцо жесткости также воспринимает значительные нагрузки (до

90 МПа при величине подъема 30 мм), что свидетельствует об обязательном контроле его технического состояния (особенно узлов сопряжения со стенкой и настилом кровли) перед подъемными операциями.

Выводы

1. Создана конечно-элементная модель резервуара РВС-20000, адаптированная к расчетам воздействий сосредоточенных нагрузок от гидродомкратов. В полученной модели учитываются реальные геометрические и конструктивные характеристики как основных элементов (стенки, кровли, окрайки, опорного кольца), так и усиливающих конструкций (вертикальные рамы, косынки, подкосы, дополнительное кольцо жесткости).

2. Исследован случай изменения НДС конструкции РВС-20000 при неосесимметричном нагружении, вызванном неравномерной работой подъемного устройства – гидродомкрата.

3. Получены зависимости действующих напряжений в стенке, усиливающем каркасе и кольце жесткости от величины сосредоточенной нагрузки от гидродомкрата.

4. Установлено, что предельное состояние металлоконструкций при подъеме РВС-20000 возникает в случае выдвигания штока домкрата на величину более 13 мм. Поэтому технологические операции по подъему должны обеспечивать полную синхронизацию всех 24-х домкратов по периметру облоочки.

5. При нарушении синхронизации работы домкратов во время подъема есть риск возникновения в стенке РВС локальных зон с пластическими деформациями металла, которые при последующей эксплуатации резервуара, суммируясь с эксплуатационными напряжениями, могут вызвать разрушение конструкции.

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. Тарасенко А.А. Решение контактной задачи об упругом взаимодействии подъемного устройства и стенки резервуара // Известия вузов «Нефть и газ». – Тюмень, 1998. – № 6. – С. 59–63.
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 облоочки 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. – М., 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. 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. Тарасенко А.А., Чепур П.В., Шарков А.Е., Гретченко Д.А. Технология диагностики вертикальных стальных резервуаров без снятия антикоррозионного покрытия // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9–8. – С. 1703–1708.

11. Чепур П.В., Астахов А.М., Тарасенко Д.А. Методика расчета расстояния вылета очистного устройства из трубопровода при взрыве газозвуковой смеси // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9–2. – С. 283–287.

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. Semin E.E., Tarasenko A.A. Pipeline transport: theory and practice, 2006, no. 4, pp. 84–87.
2. Tarasenko A.A. Izvestijavuzov. Neft'igaz. 1998, no. 6, pp. 59–63.
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' truda v promyshlennosti, 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. Tihanov E.A., Tarasenko A.A., Chepur P.V. Fundamental research, 2014, no. 6–2, pp. 330–334.
10. Tarasenko A.A., Chepur P.V., Sharkov A.E., Gretchenko D.A. Fundamental research, 2014, no. 9–8, pp. 1703–1708.
11. Chepur P.V., Astahov A.M., Tarasenko D.A. Fundamental research, 2014, no. 9–2, pp. 283–287.
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:

Захаров Н.С., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «САТМ», 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 15.09.2014.