

УДК 621.642.39.03

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕОБХОДИМОСТИ РЕМОНТА РЕЗЕРВУАРА ПРИ ОСАДКАХ ОСНОВАНИЯ

Чепур П.В., Тарасенко А.А.

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

В статье рассмотрена методика, согласно которой эксплуатирующие и проектные организации могут определить необходимость ремонта резервуара РВС-20000 при осадках основания. Разработан алгоритм оценки технического состояния резервуара РВС-20000 при развитии неравномерных осадок основания. Получены зависимости действующих напряжений в конструкциях РВС от величин «n» – дугового размера просадочной зоны и «ш» – вертикальной составляющей осадки, назначены области предельных состояний, в соответствии с которыми принимается решение о необходимости ремонта или возможности продолжения эксплуатации резервуара при условии технического обоснования. Для создания методики определения необходимости ремонта резервуара использована теория рядов Фурье в части разложения осадки на составляющие с определением коэффициентов тригонометрического ряда. Предложенная методика и алгоритм могут использоваться как эксплуатирующими, так и проектными организациями при принятии управленческих решений в части ремонта РВС-20000, подверженного осадкам основания.

**Ключевые слова:** резервуар, алгоритм, РВС, НДС, методика, неравномерная осадка, основание, фундамент

## METHOD OF DETERMINING THE NEED REPAIR TANK IN SEDIMENTS GROUNDS

Chepur P.V., Tarasenko A.A.

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

The article discusses the methodology, according to which exploit and design organizations may determine the need for repairs RVS-20000 during precipitation base. An algorithm for assessing the technical condition of the tank RVS-20000 in the development of non-uniform sediment base. The dependences of the effective stresses in structures of RVS values «n» – arc size subsidence zone and «ш» – vertical component of precipitation, assigned area of limiting conditions under which the decision on the need to repair or possible continuation of the tank provided technical justification. To create a methodology for determining the need to repair the tank used in the theory of Fourier series expansion of the components of the precipitation on the definition of the coefficients of the trigonometric series. The proposed methodology and the algorithm can be used by operating and design organizations in management decisions regarding repair RVS-20000 exposed sediments base.

**Keywords:** tank, algorithm, RVS, stress-strain state, technique, differential settlement, base, foundation

Вертикальные стальные резервуары РВС-20000 для хранения товарной нефти относятся к высокоответственным сооружениям, имеющим I класс опасности по ГОСТ 31385-2008. Авария на таком объекте может повлечь за собой самые негативные последствия: угрозу жизни и здоровью людей, материальный ущерб, вред экологии и т.д. [12]. Поэтому на разных стадиях жизненного цикла РВС – от проектирования и строительства до его вывода из эксплуатации – необходимо обеспечить максимально возможные условия безопасности. Согласно исследованиям [2–5, 14], основной причиной 70 % всех аварий РВС с разливом нефтепродуктов является нарушение технического состояния основания резервуара и возникновение предельных состояний в металлоконструкциях (стенке, уторном узле), к чему обычно приводит неравномерная осадка. Однако появление зон деформации может быть обусловлено различными причинами, что влияет на принятие дальнейших технических решений по ремонту. Так,

неравномерная осадка может развиваться из-за изменения уровня грунтовых вод. Нередки случаи, когда за длительный период эксплуатации РВС меняется технологическая схема перекачки, и резервуар начинает испытывать нагрузки, на которые он изначально не был спроектирован [6]. Также появление просадочных зон может быть следствием ошибок на стадии проектирования, а также брака строительно-монтажных работ [9, 10].

В работах авторов [8, 10] проводились исследования собственной жесткости оболочки РВС-20000, анализ напряженно-деформированного состояния резервуара при неосесимметричном нагружении, вызванном неравномерной осадкой. На основании результатов этих работ предлагается методика, которая позволяет как эксплуатирующим, так и проектно-диагностическим организациям не только определять необходимость ремонта РВС при осадках основания, но и при особых случаях выполнять обоснование переноса сроков ремонтных работ. В рамках методики

разработан алгоритм (рис. 1), в котором авторы попытались отразить наиболее полный подход к оценке технического состоя-

ния распространенного в Западной Сибири резервуара РВС-20000 при неравномерных осадках основания.

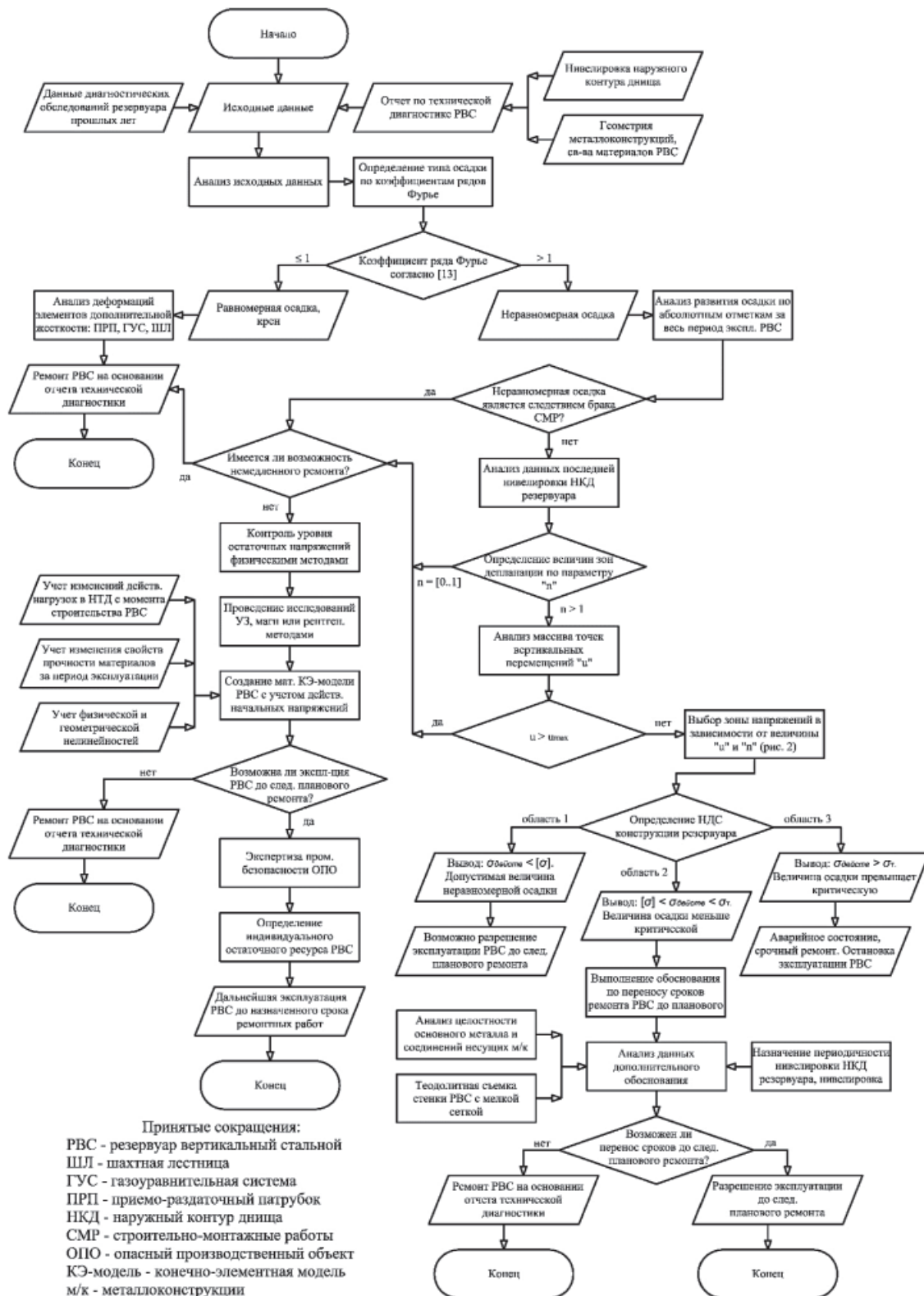


Рис. 1. Алгоритм определения необходимости ремонта резервуара РВС-20000 при осадках основания

Исходными данными для анализа технического состояния РВС являются:

– отчет по комплексной технической диагностике РВС-20000, включающий в себя данные нивелировки наружного контура днища, геометрии металлоконструкций, свойства материалов и т.д.;

– материалы, документы и прочие сведения диагностических обследований резервуара прошлых лет.

Из анализа исходных данных определяется тип осадки, для этого используется теория разложения в тригонометрические ряды Фурье. После расчета коэффициента ряда Фурье согласно [13] выделяются два основных случая:

– коэффициент ряда Фурье  $\leq 1$ , что соответствует случаям равномерной осадки и крена;

– коэффициент ряда Фурье  $> 1$ , что соответствует случаю неравномерной осадки.

Согласно исследованиям [3, 13], равномерная осадка и крен не вызывают значительного роста напряжений в несущих конструкциях РВС. Однако такие виды осадки могут вызвать появление областей дополнительных изгибных напряжений в зонах сопряжения стенки резервуара с элементами дополнительной жесткости: приемно-раздаточного патрубка, трубопроводами газоуравнительной системы, шахтной лестницей и др. В этом случае следует назначать периодический контроль за развитием деформаций наружного контура днища (НКД), а также ремонт на основании данных из отчета по технической диагностике.

Случай неравномерной осадки, наиболее опасный для резервуара, требует дополнительного анализа развития зоны депланации по абсолютным отметкам за весь жизненный цикл РВС [8, 15]. На данном этапе ставится задача выяснить – является ли брак строительно-монтажных работ (СМР) причиной развития неравномерной осадки. В случае подтверждения такой ситуации рассматривается возможность немедленного ремонта резервуара. В связи с особенностями технологического процесса предприятия, где эксплуатируется РВС-20000, немедленный вывод резервуара из эксплуатации для ремонта может быть либо невозможен, либо может повлечь за собой ряд технических проблем. Поэтому для обоснования смещения сроков ремонтных работ необходимо выполнить дополнительные исследования уровня остаточных напряжений в конструкциях РВС. Для этого предлагается использовать как физические методы (ультразвуковой, магнитный и рентгенографический), так

и теоретические – с созданием конечно-элементной модели РВС-20000 с учетом действующих начальных напряжений [1, 7, 11]. На основе проведенного анализа делается вывод о возможности эксплуатации РВС до следующего планового ремонта, проводится экспертиза промышленной безопасности опасного производственного объекта и определяется индивидуальный остаточный ресурс резервуара.

Рассматривая случай, при котором анализ развития зоны депланации по абсолютным отметкам за весь жизненный цикл РВС показал, что неравномерная осадка не является следствием брака СМР, авторами предлагается рассмотреть данные последней нивелировки НКД резервуара. По результатам нивелировки определяются величины зон депланации РВС-20000 с использованием безразмерного параметра «*n*» [9]. Если параметр «*n*» лежит в границах от 0 до 1 включительно, то необходимо рассматривать возможность немедленного ремонта (аналогично случаю с браком СМР, вызвавшим неравномерную осадку). Если же величина  $n > 1$ , то авторами предлагается проанализировать массив точек вертикальных перемещений «*u*» [9]. При выполнении условия  $u > u_{\max}$  (величина вертикальных перемещений точек наружного контура днища превышает предельную – характеризующую собственную жесткость РВС-20000), рассматривается случай немедленного ремонта резервуара. При невыполнении условия  $u > u_{\max}$ , производится определение зон напряжений по рис. 2 в зависимости от величин параметров «*u*» и «*n*».

Для определения области действующих напряжений в несущих конструкциях РВС-20000 необходимо найти точку пересечения прямой «*u*» и кривой депланации «*n*». Авторами выделяется 3 основные области:

– Область 1.  $\sigma_{\text{действ}} < [\sigma]$  – величина действующих напряжений меньше допускаемых по НТД. Возможно разрешение эксплуатации РВС-20000 до следующего планового ремонта.

– Область 2.  $[\sigma] < \sigma_{\text{действ}} < \sigma_{\text{т}}$  – величина действующих напряжений превышает допустимые, но не достигает критической величины. Назначается ремонт резервуара, перенос сроков ремонта до планового возобновления только при дополнительном обосновании: анализе целостности металлоконструкций кровли, стенки и их сопряжения, уторного узла; выполнении теодолитной съемки стенки РВС-20000 с мелкой сеткой; периодичной нивелировке НКД резервуара и т.д.

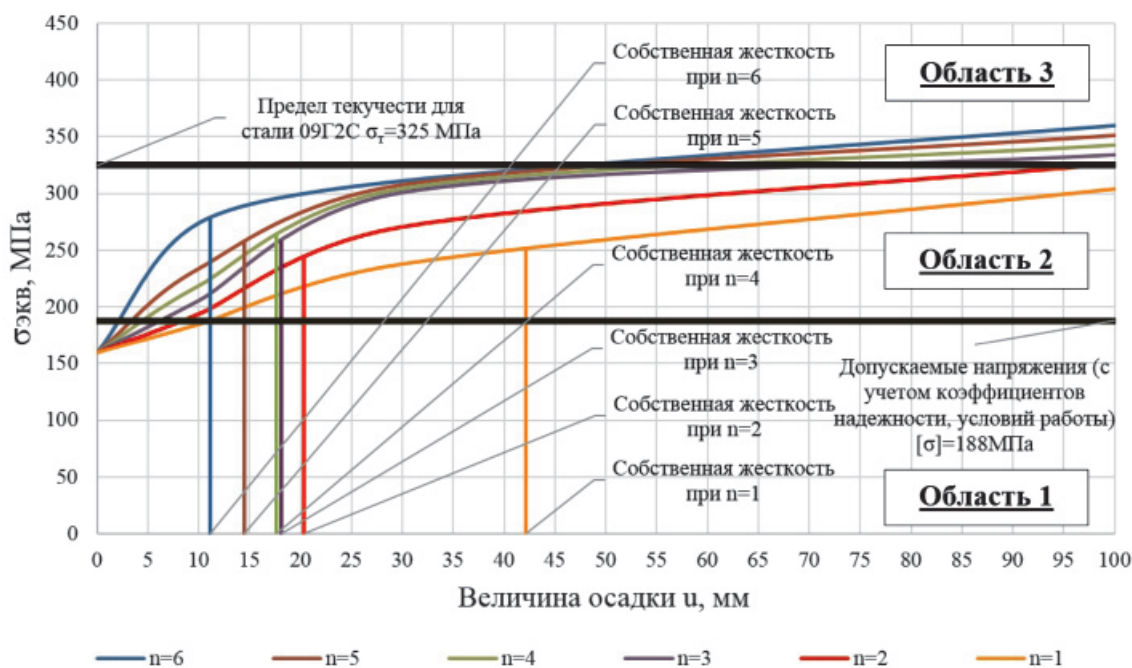


Рис. 2. Зоны напряжений

– Область 3.  $\sigma_{действ} > \sigma_T$  – величина действующих напряжений превышает критическую величину. Резервуар имеет аварийное состояние, требуется срочное выведение РВС-20000 из эксплуатации и проведение ремонтных работ.

### Выводы

1. Разработан алгоритм оценки технического состояния резервуара РВС-20000 при развитии неравномерных осадок основания.

2. Получены зависимости действующих напряжений в конструкциях РВС от величин « $n$ » и « $u$ », назначены области предельных состояний (рис. 2), в соответствии с которыми принимается решение о необходимости ремонта или возможности продолжения эксплуатации резервуара при условии технического обоснования.

3. Предложенная методика и алгоритм могут использоваться как эксплуатирующими, так и проектными организациями при принятии управленческих решений в части ремонта РВС-20000, подверженно осадкам основания.

4. Создана методика определения необходимости ремонта РВС-20000 при осадках его основания, позволяющая на основе анализа собственной жесткости металлоконструкций перенести сроки ремонта сооружения.

### 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. Напряженно-деформированное состояние крупногабаритных резервуаров при ремонтных работах: дис. ... канд. техн. наук. – Тюмень, 1991. – 254 с.
3. Тарасенко А.А. Разработка научных основ методов ремонта вертикальных стальных резервуаров: дис. ... д-ра техн. наук. – Тюмень, 1999. – 299 с.
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». – Тюмень, 1997. – № 3. – С. 75–79.
5. 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.
6. 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.
7. Тарасенко А.А., Тюрин Д.В. Моделирование нефтяных стальных цилиндрических резервуаров // Известия вузов «Нефть и газ». – Тюмень, 2001. – № 4. – С. 65–69.
8. Тарасенко А.А., Чепур П.В., Тарасенко Д.А. Деформирование верхнего края оболочки при развитии неравномерных осадок резервуара // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 6 (часть 3). – С. 485–489.
9. 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.

10. 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.
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.
12. Тиханов Е.А., Тарасенко А.А., Чепур П.В. Оценка экономической эффективности капитального ремонта основания вертикального стального резервуара методом перемещения // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 6 (часть 2). – С. 330–334.
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.
5. Tarasenko A.A., Sajapin M.V. *Izvestijavysshihuchebnyhzavedenij.Neft'igaz – Academic news «Oil and gas»*, 1999, no. 1, pp. 52–56.
6. Tarasenko A.A., Sil'nickij P.F., Tarasenko D.A. *Fundamental research*, 2013, no. 10 part 15, pp. 3400–3403.
7. Tarasenko A.A., Tjurin D.V. *Izvestijavysshihuchebnyhzavedenij.Neft'igaz – Academic news «Oil and gas»*, 2001, no. 4, pp. 65–69.
8. Tarasenko A.A., Chepur P.V., Tarasenko D.A. *Fundamental research*, 2014, no. 6 part 3, pp. 485–489.
9. Tarasenko A.A., Chepur P.V., Chirkov S.V. *Fundamental research*, 2013, no. 10 part 15, pp. 3409–3413.
10. Tarasenko A.A., Chepur P.V., Chirkov S.V. *Bezopasnost' trudavpromyshlennosti*, 2014, no. 5, pp. 60–63.
11. Tarasenko A.A., Chepur P.V., Chirkov S.V., Tarasenko D.A. *Fundamental research*, 2013, no.10 part 15, pp. 3404–3408.
12. Tihanov E.A., Tarasenko A.A., Chepur P.V. *Fundamental research*, 2014, no.6 part 2, pp. 330–334.
13. Hoperskij G.G., Ovchar Z.N., Tarasenko A.A., Nikolaev N.V. *Izvestija vysshihuch ebnyh 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.

### References

1. Semin E.E., Tarasenko A.A. *Pipeline transport: theory and practice*, 2006, no. 4, pp. 84–87.
2. Tarasenko A.A. Stress-strained state of large-sized tanks during repairs. Candidate technical sciences dissertation. Tyumen, 1991. 254 p.
3. 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.
4. Tarasenko A.A., Nikolaev N.V., Hoperskij G.G., Sajapin M.V. *Izvestijavysshihuchebnyhzavedenij.Neft'igaz – Academic news «Oil and gas»*, 1997, no. 3, pp. 75–79.

### 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 28.07.2014.