

УДК 621.642.39.03

ПРОМЫШЛЕННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ КОЛЬЦЕВОГО ФУНДАМЕНТА ВЕРТИКАЛЬНОГО СТАЛЬНОГО РЕЗЕРВУАРА

¹Тарасенко А.А., ²Чирков С.В.¹Тюменский государственный нефтегазовый университет,
Тюмень, e-mail: a.a.tarasenko@gmail.com;²ОАО «Гипротрубопровод», Москва, e-mail: chirkov0210@mail.ru

Выполнено теоретическое и экспериментальное обоснование способа ремонта кольцевого фундамента с подъемом РВС-20000 гидродомкратами. Предложена конструктивная схема усиления оболочечной конструкции резервуара с использованием вертикальных опорных рам, внешнего дополнительного кольца жесткости, косынок поддержки крайки, балочных подкосов для выполнения подъема. Создана численная модель РВС-20000 в соответствии с предложенной расчетной схемой усиления, позволяющая определять параметры НДС в конструкциях резервуара при подъеме. Произведен опытно-промышленный эксперимент подъема РВС-20000 на ЛПДС «Торгили» по предложенной авторами методике. В рамках эксперимента проведены измерения фибровых напряжений в стенке, крайке и вертикальной раме жесткости способом натурной тензометрии. Проанализированы экспериментальные и теоретические зависимости действующих эквивалентных напряжений от высоты стенки. Напряжения в вертикальной раме достигают 70 МПа, в стенке – 30 МПа. Разница значений напряжений, полученных теоретическим и экспериментальным путем, не превысила 4 %.

Ключевые слова: резервуар, РВС, подъем, основание, МКЭ, прочность, эксперимент, НДС

INDUSTRIAL EXPERIMENT ON RESTORATION RING FOUNDATION OF TANK

¹Tarasenko A.A., ²Chirkov S.V.¹Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, e-mail: a.a.tarasenko@gmail.com;²Giprotruboprovod, Moscow, e-mail: chirkov0210@mail.ru

Theoretical and experimental study of the repair method annular foundation RVS-20000 by lifting hydraulic jacks. Offered constructive amplification circuit tank shell structure using vertical reference frames, external additional stiffening ring selvages support gussets, struts beam to perform recovery. A numerical model RVS-20000, in accordance with the proposed settlement amplification circuit that allows to determine the parameters of stress-strain state in the construction of the tank when lifting. Produced experimental-industrial experiment lifting RVS-20000 on LPDS «Torgili» by the authors of the proposed method. In the experiment, measurements of stresses in the fiber wall, selvages and vertical frame stiffness method tensometry full-scale. The experimental and theoretical curves of equivalent stresses acting on the height (to the support frame and the wall). Stresses in the vertical frame does not exceed 70 MPa, in the wall – 30 MPa. The difference voltage values obtained by theoretical and experimental did not exceed 4 %.

Keywords: tank, aboveground tank, tank rise, base, FEM, strength, experiment, stress-strain state

В 2013 году для ремонта фундамента вертикального стального цилиндрического резервуара РВС-20000 ЛПДС «Торгили» впервые в России была применена технология подъема и последующего опускания резервуара (рис. 1).

РВС-20000 расположен на местном грунтовом основании. Для равномерного распределения нагрузки на основание предусмотрен кольцевой железобетонный фундамент. Искусственная часть основания состоит из двух слоев: нижний слой толщиной 2500 мм из песка; верхний слой, 100 мм – из песка, пропитанного нефтью. В ходе комплексных инженерных изысканий установлено, что процесс самоуплотнения насыпных и подстилающих грунтов на территории резервуарного парка завершён. Согласно результатам технического диагностирования осадка исследуемого резервуара не превышает до-

пустимых значений и находится в пределах требований нормативно-технической документации. Однако при обследовании фундаментного кольца по результатам измерений было обнаружено снижение прочности бетона и, как следствие, техническое состояние оценено как аварийное. Для восстановления работоспособности резервуара требуется полная замена кольцевого железобетонного фундамента.

Для ремонта кольцевого фундамента необходимо было выполнить подъем резервуара по всему периметру. При этом конструкция резервуара будет испытывать непроектные неосесимметричные нагрузки как от подъемных устройств, так и после установки на точечные опоры. Поскольку потребность в подобных технологиях высока, авторами были разработаны научные основы технологии замены или

ремонта фундамента резервуара с его полным подъемом. При помощи метода конечных элементов (ANSYS Workbench 14.5) была создана расчетная схема и математическая модель резервуара РВС-20000, учитывающая все дополнительные металлоконструкции оболочки, включая балки

покрытия и опорное кольцо. Для дополнительного подтверждения правильности полученных зависимостей было принято решение выполнить опытно-промышленный подъем резервуара с экспериментальным определением возникающих напряжений методом натурной тензометрии (рис. 2).



Рис. 1. РВС-20000 с усиливающими элементами на установленных гидродомкратах

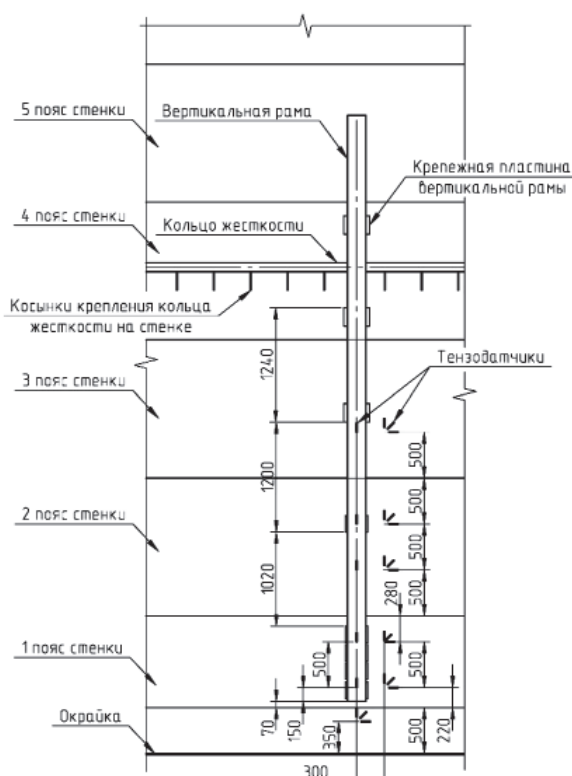


Рис. 2. Выполнение натурной тензометрии металлоконструкций при подъеме

Были использованы тензометрические розетки из датчиков сопротивлением 200 Ом с базой 20 мм. Влияние изменений сопротивления линий связи, температуры и влажности компенсировалось использованием датчиков-свидетелей, наклеенных на недеформируемые стальные пластины, а также применением дифференциальных измерительных схем на базе источников стабильного тока. Наклейка датчиков производилась на клей «Циакрин». Всё геодезическое оборудование прошло необходимые поверки, а персонал – соответствующие процедуры аттестации. Полученные зависимости легли в основу новой унифицированной инженерной методики ремонта РВС. Учитывая уникальность предлагаемой методики ремонта резервуара, для исследования прочности и устойчивости тонкостенной оболочечной конструкции с несовершенствами геометрической формы при неосесимметричном нагружении необходимо выполнить опытно-промышленный подъем РВС-20000 с полным отрывом от фундамента и установкой на точечные опоры.

При производстве работ по устройству нового кольцевого железобетонного фундамента необходимо последовательно выполнить следующие работы: демонтаж существующей отмостки; устройство временных опор; подъем резервуара с полным отрывом от фундамента и установка его на временные опоры (консоли); демонтаж существующего аварийного фундамента; устройство нового кольцевого железобетонного фундамента; опускание резервуара; демонтаж временных опор; устройство (восстановление) отмостки.

При подготовке к наиболее ответственному и технически сложному этапу – подъему РВС, выполнены следующие работы: демонтаж центральной части днища резервуара до стыка с окрайкой; приварка с внутренней стороны резервуара 24 подкосов из двутавра № 16 через подкладные пластины к окрайке и стенке первого пояса резервуара; закрепление уторного узла изнутри резервуара путем приварки 144 треугольных ребер жесткости из листовой стали размерами 8×600×600 с шагом 995 мм встык к листам периферийной части днища и стенки через подкладные пластины; монтаж 24 вертикальных рам жесткости из сдвоенного швеллера № 24 путем приварки к стенке через промежуточные пластины; приварка дополнительного кольца жесткости на отметке 5,25 м (4-й пояс стенки) по контуру стенки, изготовленного из швеллера № 20, через вертикальные треугольные косынки (шаг косынок 600 мм);

для установки домкратов изготовлены основания и подкладные пластины размерами 200×200 мм для фиксации днища в поднятом положении; под ребрами жесткости на фундамент подложены дорожные плиты 1,5×3 м, на пластины вертикально установлены домкраты ДГ-50 грузоподъемностью 50 тонн.

Технологией предусматривалось поэтапное проведение подъема, после каждого этапа выполнялся геодезический контроль за отклонениями образующих от вертикали и отклонениями наружного контура днища от горизонтали. Также велись наблюдения за состоянием фундамента резервуара и основания под домкратами. Единичный шаг подъема на каждом домкрате составил 10 мм. Выбранная высота подъема за один этап – 20×30 мм. После подъема на 20×30 мм подъем прекращался и под окрайку с шагом 1 метр по периметру резервуара устанавливались временные опоры из стальных наборных пластин. После установки временных опор резервуар опускался на опоры медленным опусканием штока с полной разгрузкой домкратов. После подъема резервуара производилась установка опорной конструкции (консолей) для фиксации резервуара на время проведения ремонтных работ фундамента. По завершении ремонта фундамента и набора проектной прочности производилось опускание резервуара. Для этого сперва необходимо было подвести домкраты, произвести подъем на высоту 20×30 мм для удаления консолей. После производилось поэтапное опускание РВС-20000, перед чем под окрайку с шагом 1 м по периметру резервуара были установлены временные опоры из стальных наборных пластин. Для подтверждения правильности предложенной усиливающей конструкции проведено сравнение возникающих при подъеме действующих напряжений, замеренных тензодатчиками и полученных теоретическим способом с использованием программного комплекса ANSYS. На рис. 3 приведены зависимости действующих при подъеме напряжений от высоты – для стенки и вертикальной рамы жесткости, находящейся между 4 и 5 вертикальным монтажным швом.

Теоретические данные получены на основе разработанной конечно-элементной модели РВС-20000. Экспериментальные данные основаны на проведении натурных замеров напряжений в конструкциях в соответствии с предложенной авторами схемой на рис. 2. На рис. 4 представлено распределение действующих эквивалентных напряжений в конструкциях РВС-20000,

рассчитанных с помощью предложенной авторами конечно-элементной модели. Также указаны теоретические значения на-

пряжений в точках установки тензометрических датчиков при проведении натурного эксперимента.

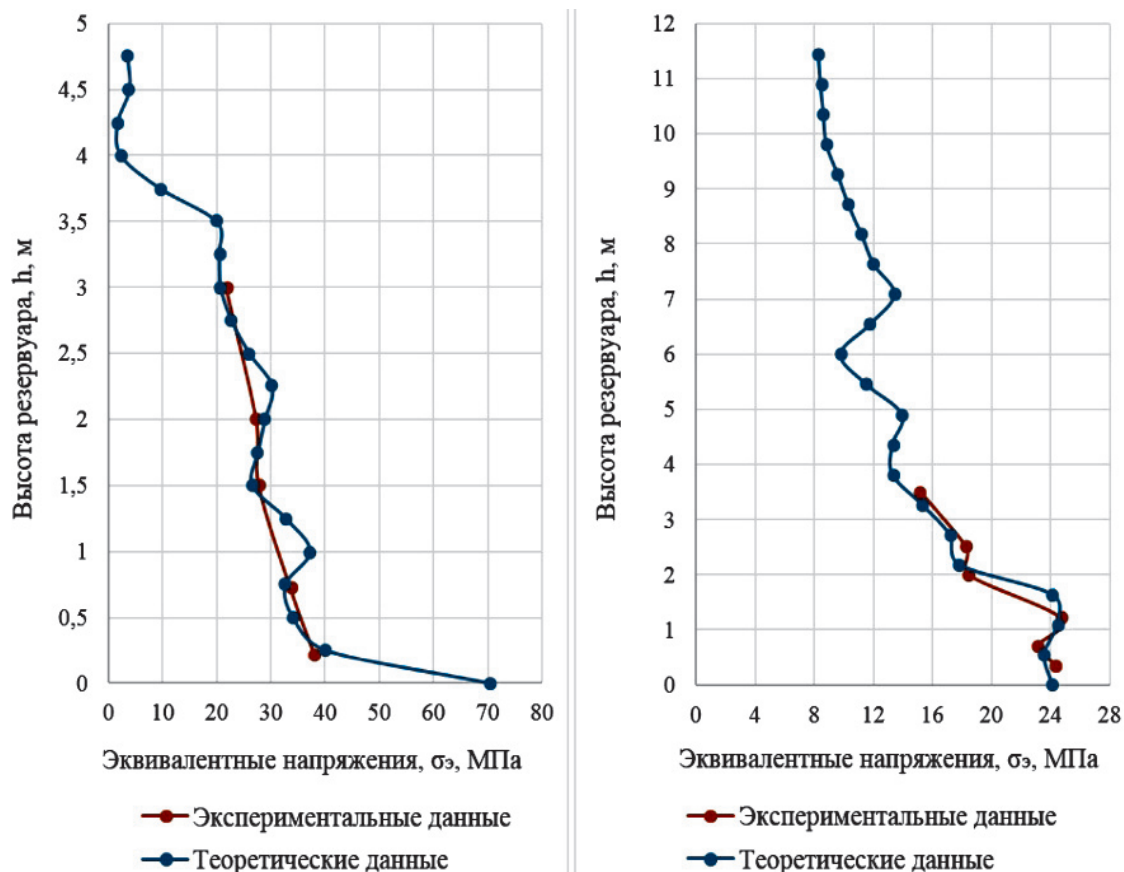


Рис. 3. Зависимости действующих напряжений от высоты в конструкциях РВС-20000:
а – в вертикальной раме жесткости;
б – в стенке резервуара

Проведенные авторами теоретические и экспериментальные исследования НДС резервуара при подъеме подтвердили возможность и высокую эффективность применения такой технологии для ремонта фундамента вертикальных стальных резервуаров.

Выводы

1. Выполнено теоретическое и экспериментальное обоснование способа ремонта кольцевого фундамента РВС-20000 с подъемом гидродомкратами.

2. Предложена конструктивная схема усиления оболочечной конструкции резервуара с использованием 24 вертикальных опорных рам, внешнего дополнительного

кольца жесткости, 144 косынок поддержки окрайки, 24 балочных подкосов для выполнения подъема.

3. Создана численная модель РВС-20000 в соответствии с предложенной расчетной схемой усиления, позволяющая определять параметры НДС в конструкциях резервуара при подъеме.

4. Произведен опытно-промышленный эксперимент подъема РВС-20000 на ЛПДС «Торгилы» по предложенной авторами методике. В рамках эксперимента проведены измерения фибровых напряжений в стенке, окрайке и вертикальной раме жесткости способом натурной тензометрии, зафиксированы геодезические изменения параметров оболочки при подъеме.

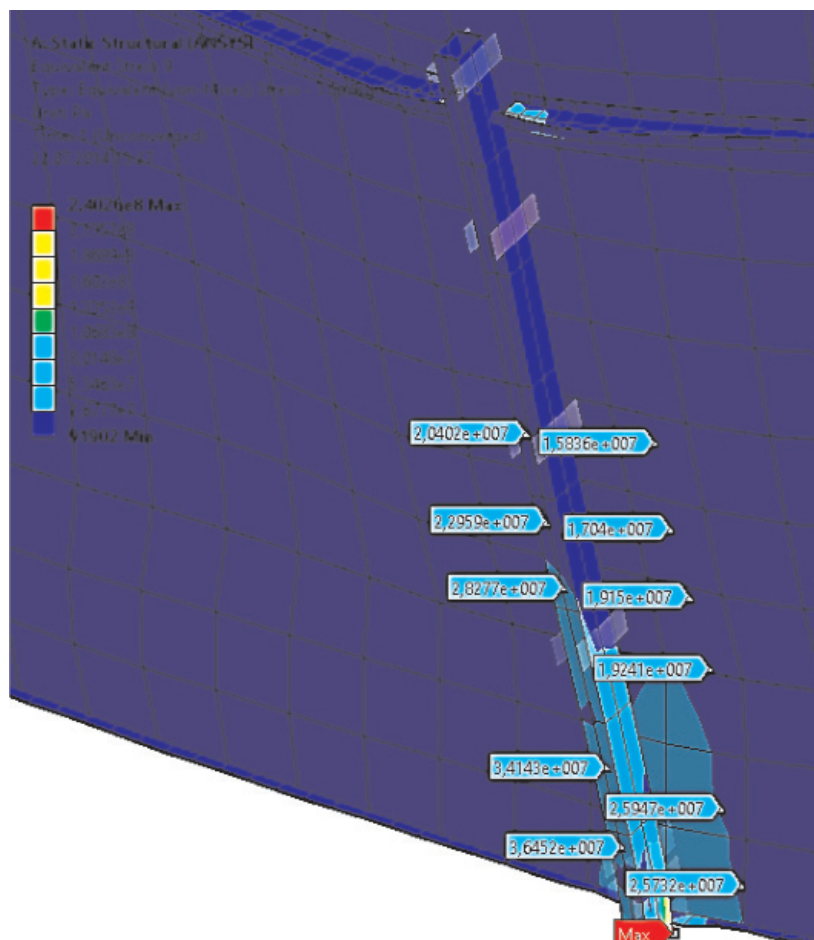


Рис. 4. Теоретические значения действующих эквивалентных напряжений в стенке и вертикальной раме жесткости в местах установки тензометрических датчиков

5. Проанализированы экспериментальные и теоретические зависимости действующих эквивалентных напряжений от высоты (для опорной рамы и стенки). Напряжения в вертикальной раме не превышают 70 МПа, в стенке – 30 МПа. Разница значений напряжений, полученных теоретическим и экспериментальным путем, составила 3,92 %. По результатам эксперимента сделан вывод, что предлагаемая технология не приводит к возникновению предельных состояний в металлоконструкциях РВС и может быть использована к широкому внедрению.

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. Тарасенко А.А. Напряженно-деформированное состояние крупногабаритных резервуаров при ремонтных работах: дис. ... канд. техн. наук. – Тюмень, 1991. – 254 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. – № 10–15. – 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. – № 6–3. – 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. – № 10–15. – 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. – № 10–15. – С. 3404–3408.

12. 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.

13. 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.

14. 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.

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. – № 10–15. – С. 3441–3445.

References

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

2. Silnitskii P.F., Tarasenko M.A., Tarasenko A.A. Izvestijavuzov. Neft'igaz. 2011, no. 5, pp. 76–78.

3. Tarasenko A.A. Stress-strained state of large-sized tanks during repairs. Candidate technical sciences dissertation. Tyumen, 1991. 254 p.

4. Tarasenko A.A., Nikolaev N.V., Hoperskij G.G., Sajapin M.V. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Neft'igaz. 1997, no. 3, pp. 75–79.

5. Tarasenko A.A., Sajapin M.V. Izvestijavuzov. Neft'igaz. 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., Turin D.V. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Neft'igaz. 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 truda v promyshlennosti, 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. Tarasenko M.A., Silnitskii P.F., Tarasenko A.A. Izvestijavuzov. Neft'igaz. 2010, no. 5, pp. 78–82.

13. Tihanov E.A., Tarasenko A.A., Chepur P.V. Fundamental research, 2014, no. 6 part 2, pp. 330–334.

14. Hoperskij G.G., Sajapin M.V., Tarasenko A.A. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Neft'igaz. 1998, no. 2, pp. 60–64.

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

Рецензенты:

Мерданов Ш.М., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Транспортные и технологические системы», ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень;

Иванов В.А., д.т.н., профессор кафедры «Транспорт углеводородных ресурсов», ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень.

Работа поступила в редакцию 05.08.2014.