

УДК 667.637

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЦИКЛИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ

Захаров Н.М.¹, Алушкина Т.В., Зубаиров Р.И.

*Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Салаватский филиал, г.Салават
e-mail: ¹znm@pisem.net.ru*

Аннотация. В рамках исследования механических свойств покрытия ЗП-К для антикоррозионной защиты внутренней поверхности стальных вертикальных цилиндрических резервуаров изучено влияние циклических нагрузок на его механическую прочность. В качестве объектов исследований были выбраны опытные образцы, изготовленные из темплетов, вырезанных из стенки стального вертикального цилиндрического резервуара, проработавшего более 30 лет. Материал образцов – углеродистая сталь конструкционная.

Представлены результаты оценки влияния на усталостную прочность защитного покрытия уровня относительной деформации, времени выдержки покрытия после нанесения его на поверхность образцов, а также результаты оценки влияния качества подложки.

Для сравнения и конкретизации выводов аналогичные исследования проведены на образцах, изготовленных из углеродистой стали, которая не находилась в эксплуатации.

Ключевые слова: *стальной резервуар, коррозия, обобщенный параметр, защитное покрытие, циклическое нагружение, деформация, толщиномер*

Общий объем резервуаров предприятий топливно-энергетического комплекса России, находящихся в эксплуатации в настоящее время, составляет десятки миллионов кубических метров. Основная часть резервуаров – металлические. Среди них стальные вертикальные цилиндрические резервуары (РВС) занимают первое место, как по объемам хранимых продуктов и реагентов, так и по металлоемкости.

РВС относятся к тонкостенным конструкциям оболочкового типа, которые работают в условиях сложного нагружения, обусловленного действием эксплуатационных нагрузок и внешних возмущающих факторов. Действие нагрузок усугубляется коррозионным воздействием окружающей среды и хранимых в резервуарах продуктов и реагентов. Такое сочетание нагрузок и коррозионного воздействия приводит к преждевременному выходу из строя корпусов резервуаров и оборудования. В большинстве случаев этому подвержены резервуары, срок службы которых более 10...15 лет, изготовленные из низкоуглеродистых сталей, обладающих низкой коррозионной стойкостью [1].

Таким образом, для обеспечения безопасности эксплуатации РВС и увеличения срока их эксплуатации необходимо снизить влияние вышеуказанных факто-

ров. Защита от коррозии – это одно из наиболее важных направлений на пути решения поставленной задачи.

Авторами данной работы разработано защитное антикоррозионное покрытие ЗП-К, в состав которого входят компоненты, вырабатываемые на предприятиях региона [2]. Покрытие обладает свойствами, которые регламентируются для подобных материалов (Табл. 1).

Таблица 1. Свойства защитного покрытия ЗП-К

Наименование показателя	Пределы изменения
Цвет	темно-серый
Рабочая вязкость по ВЗ-4, с ⁻¹	25...30
Время желатинизации раствора, ч	10...20
Время высыхания одного слоя, ч	5...24
Толщина одного слоя, мм	0,1...0,15
Общая толщина покрытия, мм	0,5...0,8
Укрывность, мм	0,08
Эластичность, %	15...20
Прочность на удар, Н · м	3...5
Адгезионная прочность, МПа	8...13
Пористость	1 балл
Водостойкость	+
Щелочестойкость	+
Кислотостойкость	+
Стойкость к нефтепродуктам	+

В условиях циклического нагружения (режим малоциклового нагружения корпуса резервуара) возможно проявление таких дефектов покрытия, как отслаивание и образование усталостных трещин. В данной работе проведены комплексные исследования в этом направлении.

В качестве объектов исследований были выбраны опытные образцы, изготовленные из темплетов, вырезанных из I пояса стенки резервуара для хранения керосино-газойлевой фракции, проработавшего более 30 лет (рис. 1, 2). Материал – углеродистая конструкционная сталь ВСтЗсп.

Поверхность образцов подвергалась зачистке жесткой металлической щеткой-крацовкой и механической обработке на плоскошлифовальной машине Klauss

К-1407. После этого обрабатывалась преобразователем ржавчины для более тщательного удаления продуктов коррозии.

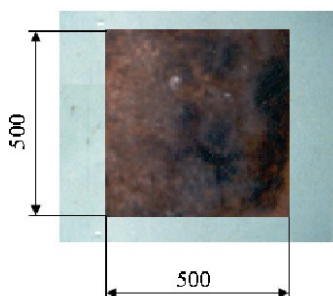


Рис. 1. Темплет



Рис. 2. Заготовки образцов, вырезанных из темплетов

Также были использованы образцы, изготовленные из стали ВСтЗсп, которая не находилась в эксплуатации.

На поверхность подготовленных образцов кистью наносилось покрытие в 3, 4 и 5 слоев (рис. 3, 4). Сначала наносился первый слой покрытия, а по мере высыхания второй, третий, четвертый и пятый. Нанесение покрытия производилось таким образом, чтобы направление волокон кисти предыдущего слоя было перпендикулярно направлению волокон наносимого слоя. Время полного высыхания каждого слоя не менее 24 часов.



Рис. 3. Образец из темплета с нанесенным покрытием



Рис. 4. Образец из стали, которая не находилась в эксплуатации, с нанесенным покрытием

По мере высыхания образцов, производилось измерение толщины слоя покрытия в шести точках (рис. 5) прибором ВТИОП-1М [3, 4].

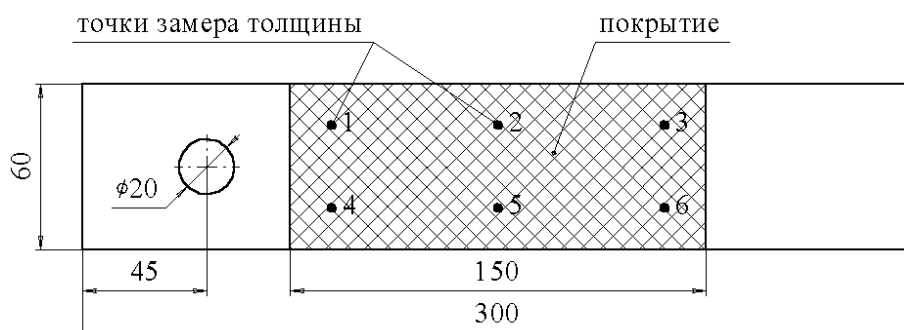


Рис. 5. Схема образца с точками замера толщины

Оценка влияния циклических нагрузок на механическую прочность защитного покрытия ЗП-К производилась по результатам испытаний опытных образцов на лабораторной установке, которая позволяет реализовать схему нагружения - чистый изгиб (рис. 6) [5].



Рис. 6. Внешний вид установки
1 – каркас; 2 – привод; 3 - захваты

Лабораторная установка для испытания на малоцикловую усталость с комплексом вспомогательных приборов и приспособлений полностью отвечает требованиям ГОСТ 24217-76 на машины для испытания на усталость. Установка разработана и изготовлена на кафедре ОПНН филиала ГОУ ВПО УГНТУ в г. Салавате. Конструкция установки позволяет реализовать чистый изгиб в промежуточном между жестким (контролируемая деформация) и мягким (контролируемое напряжение) режимами. Изменение радиуса кривошипа установки позволяет изменять величину прогиба испытываемого образца.

При проведении испытаний возникновение трещин на поверхности покрытия фиксировалось визуально. Для получения более достоверных результатов использовалась малая оптика (лупа). При этом фиксировались моменты зарождения трещин, а также наблюдался процесс их раскрытия (рис. 7, 8). После завершения испытаний поверхность нескольких образцов была дополнительно исследована с помощью металлографического микроскопа (рис. 9).



Рис. 7. Образец в захватах лабораторной установки



Рис. 8. Раскрытие трещины во время испытания

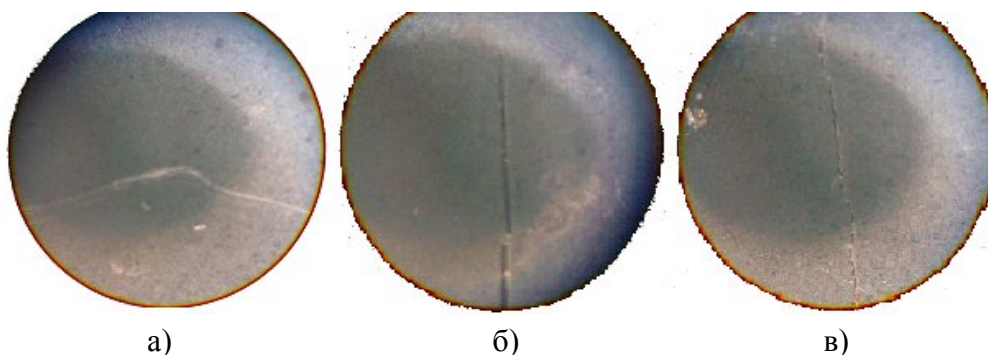


Рис. 9. Трещины покрытия (x300):
а – пятислойное; б – четырехслойное; в – трехслойное

Изгибающий момент и напряжения, возникающие в образце при деформировании, определялись методом тензометрирования. Величина относительной деформации определялась замером максимального прогиба при помощи приспособления с индикатором часового типа ИЧ-10 (рис. 10). Для облегчения расчета относительной деформации образцов была разработана программа с помощью пакета Visual Studio 6.0.

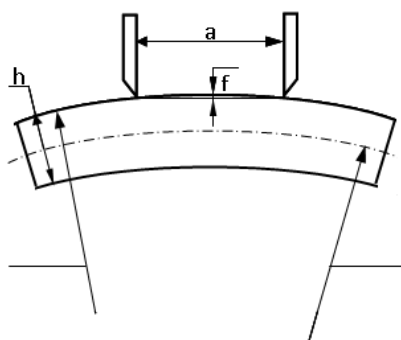


Рис. 10. Схема определения величины относительной деформации образца при изгибе

В процессе циклического деформирования наблюдается нагрев образцов. Предварительными экспериментами установлено, что поверхность образца, соприкасающаяся с защитным покрытием, нагревается до температуры, которая не влияет на его свойства (не более 60 °С).

Образцы были испытаны на минимальной амплитуде деформации соответствующей относительной деформации испытываемого образца $\varepsilon = 0,13\%$. Эти условия испытания максимально приближены к реальным условиям эксплуатации стенки вертикального стального цилиндрического резервуара, испытывающего знакопеременные нагрузки в малоцикловой области. Расчетная относительная деформация для условий эксплуатации составляет от 0,03 до 0,11 % в зависимости от пояса стенки резервуара.

Для установления влияния относительной деформации на усталостную прочность защитного покрытия были использованы образцы с выдержкой 3 месяца после нанесения защитного покрытия. Такая продолжительность выдержки выбрана для обеспечения полного отвердевания покрытия и испарения летучих веществ, входящих в его состав. Образцы подвергались циклическому нагружению до разрушения защитного покрытия при фиксированных значениях относительной деформации.

Установлено, что с ростом относительной деформации число циклов нагружения до разрушения покрытия снижается, причем пятислойное покрытие остается неповрежденным до 5400 циклов при относительной деформации 0,13 %, тогда как при относительной деформации 0,71 % признаки разрушения уже заметны на 30 цикле нагружения, т.е. практически с самого начала испытаний. Необходимо отметить, что увеличение числа слоев приводит к тому, что усталостное разрушение защитного покрытия наступает на более ранней стадии. Для сравнения: при относительной деформации 0,13 % признаки разрушения трехслойного покрытия начинают проявляться после 8200 циклов нагружения, четырехслойного – после 6500 циклов, трехслойного – после 5400 циклов.

На рис. 11 приведены кривые, которые характеризуют зависимость числа циклов нагружения до разрушения покрытия от относительной деформации испытуемых образцов и влияние толщины защитного покрытия (числа слоев) на его усталостную прочность.

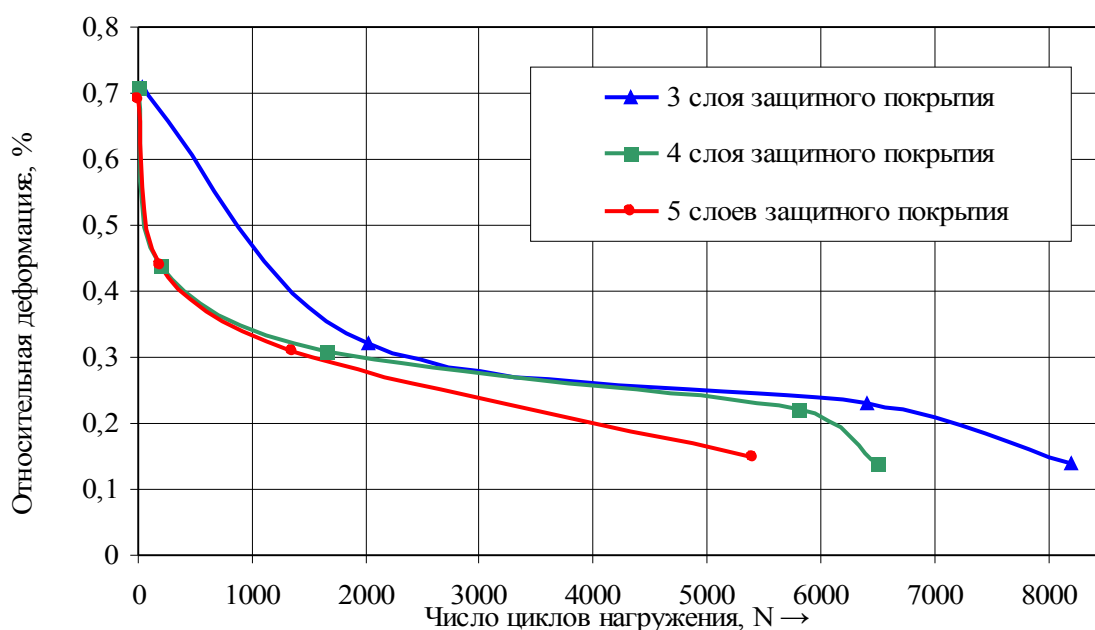


Рис. 11. Зависимость усталостной прочности защитного покрытия ЗП-К от относительной деформации

Для оценки влияния времени предэксплуатационной выдержки и материала подложки на усталостную прочность защитного покрытия была проведена серия испытаний при фиксированной относительной деформации 0,32 %. Выбранный уровень деформации является явно завышенным, так как в реальных условиях стенка резервуара не работает в таких жестких условиях нагружения. Выбор такого режима продиктован необходимостью проведения ускоренных испытаний.

Результаты экспериментов показывают, что время выдержки защитного покрытия перед началом эксплуатации влияет несущественно на усталостные свойства защитного покрытия ЗП-К. С ростом времени выдержки число циклов нагружения до разрушения покрытия снижается не более чем на 15 %. Для сравнения отметим, что пятислойное покрытие, выдержанное 2 недели после нанесения, остается неповрежденным в течение примерно 1425 циклов, тогда как выдержанное 3 месяца – в течение примерно 1350 циклов. Результаты испытаний для образцов с четырехслойным покрытием составляют порядка 1820 и 1570 циклов, с трехслойным – 2390 и 2050 циклов соответственно (рис. 12).

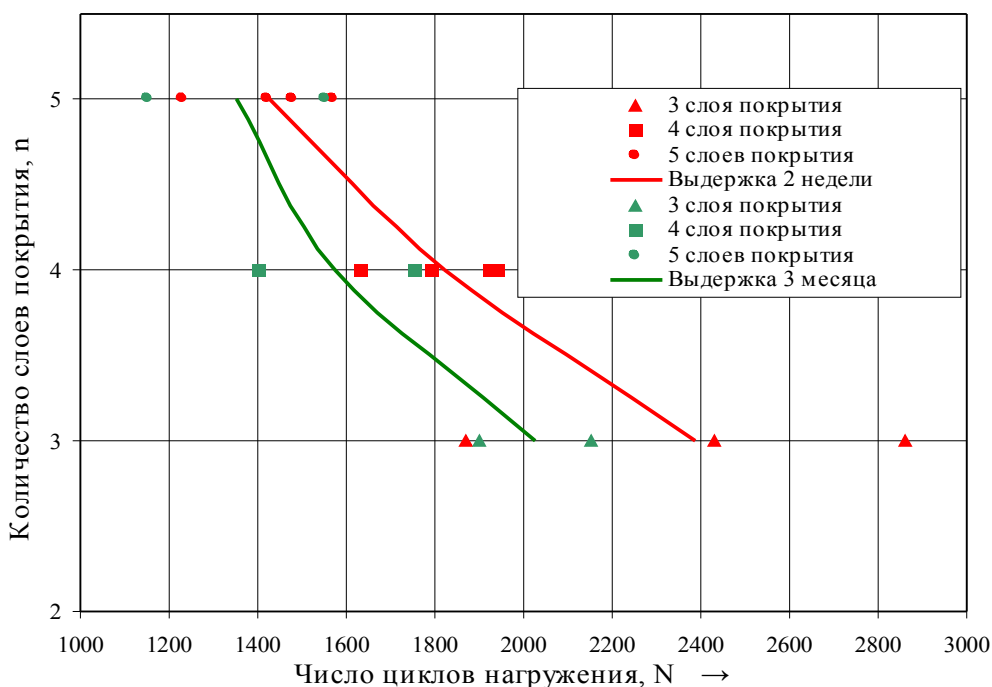


Рис. 12. Влияние количества слоев на усталостную прочность защитного покрытия ЗП-К

Для определения влияния материала подложки на усталостную прочность защитного покрытия были проведены испытания образцов из стали, находившейся в эксплуатации более 30 лет, и из стали, ранее не находившейся в эксплуатации. Сопоставляя полученные результаты (рис. 13) можно констатировать, что качество подложки оказывает крайне несущественное влияние на усталостную прочность защитного покрытия. Это свидетельствует о достаточно высоких адгезионных свойствах и эластичности наносимого покрытия. Пятислойное покрытие, нанесенное на подложку с поверхностью, подверженную коррозии, выдерживало порядка 1420 циклов нагружения, а покрытие, нанесенное на ровную подложку из стали, ранее не эксплуатировавшейся, выдерживало в среднем 1730 циклов нагружения. Соответственно для четырехслойного покрытия результаты составляют 2440 и 2880 циклов, для трехслойного – 2380 и 2740 циклов.

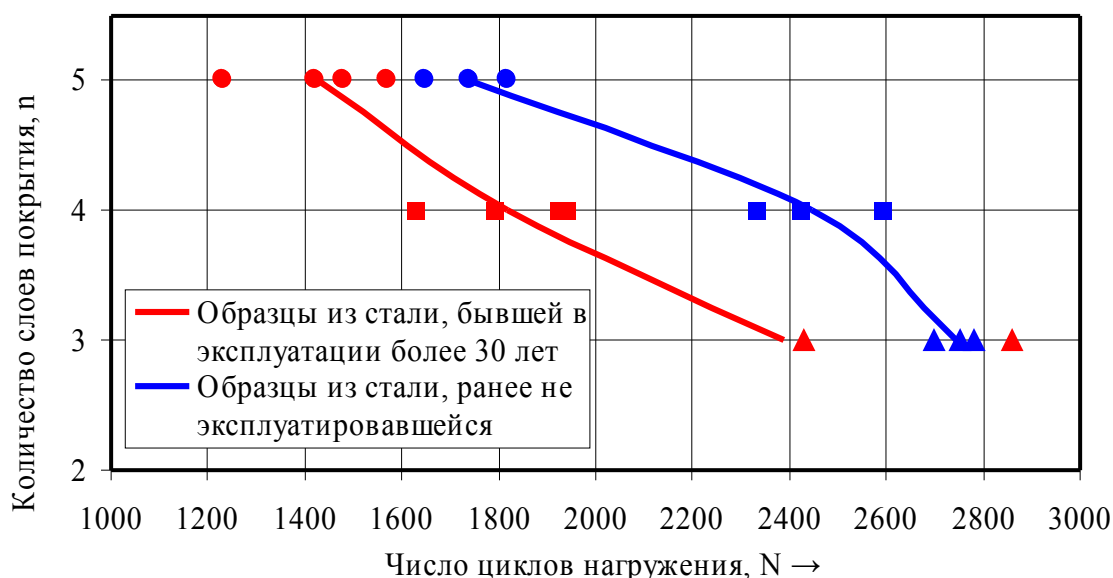


Рис. 13. Влияние качества подложки на усталостную прочность защитного покрытия ЗП-К (выдержка перед испытаниями – 2 недели)

Выводы

1. Результаты исследований показывают, что в случае нанесения на внутреннюю поверхность стенки резервуара защитного покрытия в пять слоев, стенка не будет подвержена коррозии в течение порядка 11 лет (расчетное число циклов нагружения резервуара в год составляет порядка 500 циклов). Этот срок соответствует требованиям ПБ 03-605-03 в области антикоррозионной защиты металлоконструкций внутри резервуара лакокрасочными покрытиями, продолжительность срока службы которых должна составлять не менее 10 лет.

2. Защитное покрытие ЗП-К является достаточно эффективным и его применение целесообразно для антикоррозионной защиты внутренней поверхности корпуса резервуара.

Литература

1. Маняхина Т.И., Ефимова А.М., Люблинский Е.Я. Современное состояние защиты нефтерезервуаров от коррозии. М.: ВНИИОЭНГ, 1986. 64 с. (Серия «Борьба с коррозией и защита окружающей среды»: обзор. информ.).

2. Захаров Н.М., Алушкина Т.В. Оптимизация состава защитных покрытий на основе эпоксидных смол // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2002. № 1. 15 с. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Zakharov/zak_2.pdf (Дата обращения: 19.10.09).

3. Патент № 2204131 РФ. Электромагнитный преобразователь / Кузеев И.Р., Баширов М.Г., Захаров Н.М., Евдокимов Г.И., Баширова Э.М.. Заявл. 03.05.2001; опубл. 10.05.2003.

4. Захаров Н.М., Кондрашова Р.З. Тарировка прибора ВТИОП-1М // Нефтепереработка и нефтехимия - 2007: матер. междунар. науч.-практ. конф. Уфа: изд-во ГУП ИНХП РБ, 2007. С. 384-386.

5. Патент № 2262682 РФ. Установка для испытания образцов на малоцикловую усталость при чистом изгибе / Газиев Р.Р., Захаров Н.М., Кузеев И.Р., Насибуллин Р.И. Заявл. 03.02.2004; опубл. 20.10.2005.

ESTIMATION OF CYCLIC LOADS EFFECT ON MECHANICAL STRENGTH OF PROTECTIVE COVERAGE

N.M. Zakharov¹, T.V. Alushkina, R. I. Zubairov
Ufa State Petroleum Technological University,
Salavat branch, Salavat, Russia
e-mail: ¹znm@pitem.net.ru

Abstract. *The cyclic loads effect on mechanical strength was studied in the research of ZP-K mechanical properties covering for anticorrosive protection of steel vertical cylindrical tank inner surface. The experimental models produced from the templates were chosen as a test subject. The templates were cut from the generatrix of steel vertical cylindrical tank having operated for more than thirty years. The material of the experimental models is carbon steel.*

The results of effect estimation on fatigue resistance of protective coating according to relative deformation, holding period of coating after its application on models surface were introduced. The results of effect estimation of backing quality were introduced.

The same research work was done with the experimental models produced from carbon steel that was not used before for results comparison and specification.

Keywords: *steel tank, corrosion, protective coverage, cyclic loading, deformation, generalized parameter, thickness indicator*

References

1. Manyakhina T.I., Efimova A.M., Lyublinskii E.Ya. *Sovremennoe sostoyanie zashchity nefterezervuarov ot korrozii* (The state-of-the-art protection of oil tanks from corrosion). Moscow, VNIIOENG, 1986. 64 p. (Review inform. series "Corrosion and protection in oil and gas industry").

2. Zakharov N.M., Alushkina T.V. *Optimizatsiya sostava zashchitnykh pokrytii na osnove epoksidnykh smol* (Optimization of protective coatings based on epoxy resins), *Electronic scientific journal "Oil and Gas Business - Neftegazovoe delo"*, 2012, Issue 1. 15 p. http://www.ogbus.ru/authors/Zakharov/zak_2.pdf

3. Patent № 2204131 RF. *Electromagnetic converter* / Kuzeev I.R., Bashirov M.G., Zakharov N.M., Evdokimov G.I., Bashirova Eh.M. Appl.: 03.05.2001; Publ.: 10.05.2003.

4. Zakharov N.M., Kondrashova R.Z. *Tarirovka pribora VTIOF-1M* (Calibration of the VTIOF-1M instrument) in *Neftepererabotka i neftekhimiya – 2007: mater. mezh-dunarod. nauch.-prakt. konf. (Proceedings of conference "Petroleum refining and petrochemistry - 2007")*, Ufa, GUP INKhP RB, 2007. pp. 384 - 386.

5. Patent № 2262682 RF. *Device for bending test of specimens* / Gaziev R.R., Zakharov N.M., Kuzeev I.R., Nasibullin R.I. Appl.: 03.02.2004; Publ.: 20.10.2005.