УДК 620.179.14

DOI: 10.17122/ngdelo-2018-6-91-99

К ВОПРОСУ КОНТРОЛЯ СЛОЖНОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛА СТАЛЬНЫХ ТРУБ. РЕЗУЛЬТАТЫ МАГНИТНОГО КОНТРОЛЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛА СТАЛЬНЫХ ТРУБ

ABOUT CONTROL OF COMPLEX STRESS STATE OF STEEL PIPES METAL. RESULTS OF THE MAGNETIC CONTROL OF STRESS STATE OF STEEL PIPES METAL

Р.В. Загидулин
Rinat V. Zagidulin

Уфимский государственный
нефтяной технический
университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

В.Р. Мардамшин
Vadim R. Mardamshin

ПАО «Газпром»,
г. Санкт-Петербург,
Российская Федерация

Gazprom PJSC,
Saint-Petersburg, Russian Federation

Т.Р. Загидулин
Timur R. Zagidulin

ООО «Научно-технический
центр «Спектр»,
г. Уфа, Российская Федерация

Scientific and Technical
Center «Spector» LLC,
Ufa, Russian Federation

Т.А. Бакиев
Tagir A. Bakiev

ООО «Газпром трансгаз Уфа»,
Уфимский государственный
нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Gazprom transgaz Ufa LLC,
Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

Приводятся результаты магнитного контроля напряженного состояния металла стальных буровых труб индикатором механического напряжения металла ИН-02 сканирующего типа. Для металла буровых труб характерно сложное напряженное состояние, обусловленное одновременным действием в сечении металла изгибающего и крутящего моментов, имеющих значительные величины. На основе экспериментальных исследований установлено, что области с напряженным состоянием металла в стальных буровых трубах располагаются преимущественно около резьбовых соединений, изготовленных посредством сварки.

Показано, что на практике результаты магнитного контроля позволяют отбраковать стальные буровые трубы с опасным напряженным состоянием металла. Предложено использовать результаты магнитного контроля стальных буровых труб для дальнейшего безремонтного восстановления остаточного ресурса за счет снижения остаточных механических напряжений в локальных областях металла, так как напряженное состояние металла в остальной части тела стальной трубы не превышает допустимой величины.

Отмечено, что в существующих в настоящее время технологиях снижения остаточных механических напряжений элементов металлоконструкций и стальных труб отсутствует текущий контроль уровня механических напряжений, как перед, так и после обработки металла, что снижает ее эффективность.

Приведены результаты снижения остаточных механических напряжений в локальных областях с напряженным состоянием металла

Ключевые слова

напряженное состояние металла,
напряженность поля остаточной
намагниченности,
стальная буровая труба,
снижение остаточных
механических напряжений,
устройство электромагнитной
обработки металла,
индикатор механического
напряжения металла

стальных бурильных труб с помощью устройства электромагнитной обработки металла. Для оценки величины остаточных механических напряжений до и после электромагнитной обработки металла стальных бурильных труб предложено использовать индикаторы механического напряжения металла ИН-01м и ИН-02 сканирующего типа.

The results of the magnetic control of the stressed state of steel drill pipes metal with the scanning type indicator of mechanical stress of the metal IN-02 are presented. The metal of drill pipes is characterized by a complex stress state due to the simultaneous action of bending and torsional moments in the metal section, which are of considerable magnitude. On the basis of experimental studies, it has been established that areas with a stressed state of metal in steel drill pipes are located mainly near threaded joints made by welding.

It is shown that in practice, the results of magnetic control allow to discard steel drill pipes with a dangerous stress state of the metal. It is proposed to use the results of magnetic control of steel drill pipes for further maintenance-free restoration of residual life by reducing residual mechanical stresses in local metal areas, since the stress state of the metal in the rest of the steel pipe body does not exceed the allowable value.

It is noted that current technologies for reducing residual mechanical stresses of elements of metal structures and steel pipes do not have current control over the level of mechanical stresses, both before and after metal processing, which reduces its effectiveness.

The results of reducing the residual mechanical stresses in local areas with stress state of metal of steel drill pipes with the help of electromagnetic metal processing device are given. To estimate the magnitude of residual mechanical stresses before and after the electromagnetic treatment of metal of steel drill pipes, it was proposed to use the mechanical stress indicators of the metal IN-01m and IN-02 of the scanning type.

Введение

Контроль напряженного состояния металла стальных труб является важной задачей технической диагностики, так как внезапное разрушение стальных трубопроводов и бурильных колонн из-за накопленной поврежденности металла приводит к весьма существенным материальным потерям [1, 2].

В стальных изделиях, изготовленных из слаболегированной конструкционной стали, критическое состояние металла приводит к зарождению и постепенному росту микротрещин, которые можно выявлять техническими средствами дефектоскопии.

Однако для бурильных труб, обычно изготовленных из высоколегированных конструкционных сталей, предел текучести весьма близок к пределу прочности металла (площадь текучести на диаграмме растяжения практически отсутствует).

Например, для конструкционной стали марки (класса) S135 значения предела текучести и предела прочности металла отличаются друг от друга не более чем на 10 %, в то время как для пластичных углеродистых конструкционных сталей (обыкновенного качества

общего назначения, качественных и слаболегированных сталей), эта разница может меняться от 40 % до 2 раз и более).

Поэтому изначально хрупкий металл стальной бурильной трубы при достижении предельной величины изгибающего или крутящего момента в процессе бурения под действием касательных напряжений разрушается почти мгновенно, без постепенного растрескивания металла. Поэтому в данном случае обычные средства дефектоскопии принципиально не могут обеспечивать раннее выявление дефектов сплошности металла в стальных бурильных трубах.

Проблема ранней диагностики поврежденности стальных трубопроводов и бурильных труб для обеспечения их безаварийной эксплуатации может быть решена физическими методами контроля напряженного состояния металла [4].

Данная проблема, в частности, включает в себя также задачу неразрушающего контроля остаточных механических напряжений металла после ремонта и восстановления ресурса стальных бурильных труб.

Key words

metal stress state, residual magnetization field strength, steel drill pipe, residual mechanical stress reduction, electromagnetic metal processing device, metal mechanical stress indicator

Результаты магнитного контроля напряженного состояния металла стальных буровых труб

В первой части настоящей статьи было рассмотрено напряженное состояние металла и исследована зависимость напряженности поля остаточной намагниченности металла от механических напряжений, возникающих при одновременном действии в поперечном сечении металла изгибающего и крутящего моментов, характерного для локальных участков эксплуатирующегося стального трубопровода и буровых труб [1, 2].

В первом случае сложное сопротивление металла обычно возникает из-за влияния неучтенных при проектировании и эксплуатации нагрузок на локальные участки подземного стального трубопровода.

Во втором случае сложное сопротивление металла возникает из-за влияния проектных

нагрузок, предусмотренных при эксплуатации стальных буровых труб (особенно это характерно для технологии горизонтального направленного бурения скважин).

На рисунках 1, 2 приведены результаты магнитного контроля напряженного состояния металла стальных буровых труб «type 5-1/2×21.9», изготовленных из конструкционной стали марки S135 и применяемых в основном для горизонтального направленного бурения скважин.

Магнитный контроль напряженного состояния металла стальных буровых труб, прошедших предварительную ультразвуковую дефектоскопию, был произведен из-за возникновения многократных случаев внезапного разрушения металла непосредственно в процессе эксплуатации-бурения скважин (рисунок 1, а).

а)

б)

Рисунок 1. Поверхность излома металла около муфты разрушенной буровой трубы «type 5-1/2×21.9» (а) и магнитный контроль напряженного состояния буровых труб индикатором механического напряжения металла ИН-02 (б)

Для ранней диагностики поврежденности металла стальных буровых труб был осуществлен магнитный контроль напряженного состояния индикатором механического напряжения металла ИН-02 сканирующего типа (рисунок 1, б) [4].

Магнитный контроль напряженного состояния металла стальной буровой трубы с наружным диаметром $D = 139,7$ мм производился посредством непрерывного сканирования поверхности металла по равномерно отстоящим вдоль периметра стальной трубы образующим, результаты которого представлялись в виде линейных графиков, в которых по оси абсцисс приводились значения номеров измеренных точек, по оси ординат — измеренные значения напряженности поля

остаточной намагниченности, связанные с величиной эффективного механического напряжения металла (рисунок 2).

Следует заметить, что в процессе проведения магнитного контроля стальные буровые трубы находились в ненагруженном состоянии, поэтому результаты магнитного контроля напряженного состояния отражают распределение остаточных механических напряжений металла стальных буровых труб.

Результаты магнитного контроля показали, что области с повышенным напряженным состоянием металла стальных буровых труб располагаются преимущественно около резьбовых соединений (муфта и ниппель), которые изготовлены посредством сварки металла (рисунок 2, б).

Рисунок 2. Распределение напряженного состояния металла на поверхности стальной бурильной трубы: ненапряженный участок (а), с локальным напряженным состоянием металла (б)

Для оценки степени опасности напряженного состояния металла стальных бурильных труб предварительно было рассчитано пороговое значение для напряженности поля остаточной намагниченности металла, связанное с величиной предела текучести металла конструкционной стали S135, которая равна $\sigma_T \approx 1138$ МПа (для оценки прочности по предельному состоянию металла [5]):

$$H_r(\sigma, \tau) \leq [H_{r1}] = H_{r0} (1 + k_1 \sigma_T), \quad (1)$$

где $H_{r0} = 8,3$ мТл; $k_1 = 0,0013$ МПа⁻¹.

Пороговое значение для напряженности поля остаточной намагниченности металла при оценке прочности металла по предельному состоянию равно $[H_{r1}] \approx 9,8$ мТл.

На рисунке 2 показано распределение напряженного состояния металла на поверхно-

сти стальной бурильной трубы без существенных остаточных механических напряжений, для которой среднее значение напряженности поля остаточной намагниченности металла $\overline{H_r(\sigma, \tau)} < [H_{rI}]$ (рисунок 2, а), и содержащей область с повышенным напряженным состоянием металла, расположенной около муфты бурильной трубы, где максимальное значение напряженности поля остаточной намагниченности металла $H_{rm}(\sigma, \tau) \approx 10,5$ мТл (на рисунке 2, б указано стрелкой).

В области муфты бурильной трубы с повышенным напряженным состоянием металла величина напряженности поля остаточной намагниченности превышает пороговое значение $[H_{rI}] \approx 9,8$ мТл, то есть, для металла стальной бурильной трубы не выполняется условие прочности, так как:

$$H_{rm}(\sigma, \tau) > [H_{rI}]. \quad (2)$$

Аналогичная ситуация с прочностью металла, которая наблюдается для стальных бурильных труб с наружным диаметром $D = 73$ мм (рисунки 4, 5).

В результате магнитного контроля напряженного состояния металла более 100 стальных бурильных труб для горизонтального направленного бурения было установлено следующее:

— несмотря на интенсивную эксплуатацию стальных бурильных труб, области с повышенным напряженным состоянием металла располагаются преимущественно в локальных областях (около муфты, ниппеля, резе — на теле стальной трубы);

— в ненапряженных областях металла бурильных труб часто величина остаточных механических напряжений меняется незначительно и не превышает величину допустимого механического напряжения металла.

Эти сведения доказывают, что несущая способность стальных бурильных труб снижается лишь в локальных областях с повышенным напряженным состоянием металла, в то время как состояние металла в остальной части стальной бурильной трубы еще не дошло до предельного [5].

Полученные результаты магнитного контроля позволили не только отбраковать стальные бурильные трубы с опасным напряженным состоянием металла, но и использовать их для возможного дальнейшего безремонтного восстановления остаточного ресурса за

счет снижения остаточных механических напряжений в выявленных областях с повышенным напряженным состоянием металла.

Для восстановления остаточного ресурса металла стальных изделий и элементов металлоконструкций, в частности стальных бурильных труб, в настоящее время применяются различные технологии упрочнения поверхности и снижения остаточных механических напряжений металла [6–8].

В большинстве существующих методов снижения остаточных механических напряжений элементов металлоконструкций и оборудования не учитываются фактическое напряженное состояние металла и месторасположение областей с опасными механическими напряжениями. В связи с этим на практике обработке металла подвергается вся металлоконструкция, стальная труба, имеющие значительную протяженность и массу, несмотря на то, что остаточный ресурс стальной бурильной трубы снижает весьма незначительная область металла.

Другим негативным фактором в большинстве существующих технологий снижения остаточных механических напряжений металла является отсутствие текущего контроля фактического уровня остаточных напряжений металла до и после всех проведенных операций, что существенно снижает надежность результатов и эффективность этих технологий.

С учетом указанных недостатков, для снижения остаточных механических напряжений в областях с повышенным напряженным состоянием металла стальных бурильных труб было применено устройство (рисунок 3), в котором снижение величин остаточных механических напряжений осуществляется за счет воздействия на локальную область металла комбинированного электромагнитного поля с определенной пространственной конфигурацией [9, 10].

Рисунок 3. Устройство снижения остаточных механических напряжений металла

Величины остаточных механических напряжений до и после электромагнитной обработки металла стальных буровых труб контролируется с помощью индикаторов механического напряжения металла ИН-01м и ИН-02 сканирующего типа [3].

На рисунках 4, а и 5, а показаны распределения напряженного состояния металла на поверхности стальных буровых труб, полученные в результате предварительного магнитного контроля индикатором механического напряжения ИН-02 сканирующего типа и

представленные в программном приложении «ИН-01м связь» в виде линейных графиков.

Около ниппеля стальной буровой трубы, показанной на рисунке 4, а (эта область на трубе отмечена стрелкой), была выявлена локальная область с повышенным напряженным состоянием металла с максимумом напряженности поля остаточной намагниченности $H_{rm} = 16,9$ мТл, что существенно (более чем на 70 %) превышает пороговое значение напряженности поля остаточной намагниченности металла: $H_{rm} > [H_{r1}] = 9,8$ мТл.

Рисунок 4. Напряженное состояние металла около муфты стальной буровой трубы до (а) (указано стрелкой) и после электромагнитной обработки металла (б)

а)

б)

Рисунок 5. Напряженное состояние металла в теле стальной бурильной трубы до (а) (указано стрелкой) и после электромагнитной обработки металла (б)

В области середины тела стальной бурильной трубы, показанной на рисунке 5, а (эта область на трубе отмечена стрелкой), была выявлена локальная область с повышенным напряженным состоянием металла с максимальным значением напряженности поля остаточной намагнитченности $H_{rm} = 12,1$ мТл, что также превышает (на 24 %) пороговое значение напряженности поля остаточной намагнитченности металла: $H_{rm} > [H_{r1}] = 9,8$ мТл.

На основе этих данных было заключено, что указанные области стальных бурильных

труб с повышенным напряженным состоянием металла находятся в опасном состоянии.

С целью снижения величины остаточных механических напряжений в выявленных областях с повышенным напряженным состоянием металла стальных бурильных труб были осуществлены электромагнитная обработка металла и последующий магнитный контроль качества снижения напряженного состояния металла.

На рисунках 4, б и 5, б показаны результаты магнитного контроля — распределения напря-

женности поля остаточной намагниченности металла на поверхности стальных бурильных труб, полученные после электромагнитной обработки их локальных областей с повышенным напряженным состоянием металла.

Из экспериментально полученных распределений следует, что:

— после электромагнитной обработки металла стальных бурильных труб локальные максимумы в областях с повышенным напряженным состоянием металла исчезают, и распределение остаточного механического напряжения металла стальных бурильных труб имеет более равномерный характер;

— среднее значение напряженности поля остаточной намагниченности после электромагнитной обработки металла стальных бурильных труб (связанное с остаточными механическими напряжениями) не превышает порогового значения напряженности поля остаточной намагниченности металла. Повторная электромагнитная обработка металла приводит к дальнейшему снижению уровня остаточных механических напряжений стальных труб;

— при перераспределении остаточных механических напряжений металла стальных бурильных труб наблюдается незначительное повышение их среднего уровня вдоль поверхности стальной трубы (на 11-16 %).

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Корчагин А.П., Климов В.В., Барина Н.В., Мурашов А.О. Повреждения бурильных труб в процессе эксплуатации // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2016. № 6. С. 20-23.
2. Кузеев И.Р., Наумкин Е.А., Кудашев Р.Р. и др. Изменения механических характеристик материала гибких насосно-компрессорных труб в условиях циклического нагружения // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. 2015. Т. 2. № 2. С. 47-53.
3. Конструкционные материалы: справочник / Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова. М.: Машиностроение, 1990. 688 с.
4. Загидулин Т.Р., Загидулин Р.В. Магнитный контроль напряженно-деформированного состояния металлоконструкций индикатором механического напряжения металла ИН-02 сканирующего типа // Нефтегазовое дело. 2017. Т. 15. № 4. С. 143-149.
5. Дарков А.В., Шпиро Г.С. Соппротивление материалов. М.: Высшая школа, 1989. 624 с.
6. Лобанов Л.М., Пашин Н.А., Логинов В.П. и др. Влияние электродинамической обработки на напряженное состояние сварных соединений стали Ст 3 // Автоматическая сварка. 2007. № 7. С. 10-12.

Результаты последующего магнитного контроля напряженного состояния индикаторами механического напряжения металла свидетельствуют о надежном снижении величины и выравнивании остаточных механических напряжений металла при электромагнитной обработке стальных бурильных труб.

Выводы

1. Результаты магнитного контроля напряженного состояния металла бурильных труб показывают, что несущая способность стальных бурильных труб снижается за счет наличия локальных областей с повышенным напряженным состоянием металла, расположенных, в основном, около резьбовых соединений (муфта, ниппель).
2. На основе магнитного контроля напряженного состояния металла стальных бурильных труб показано, что при электромагнитной обработке областей с повышенным напряженным состоянием металла происходит значительное снижение величины и более равномерное распределение остаточных механических напряжений.
3. Установлено, что из-за перераспределения остаточных механических напряжений металла стальной бурильной трубы наблюдается незначительное повышение его среднего уровня вдоль поверхности стальной трубы.

7. Малыгин Б.В. Магнитное упрочнение инструмента и деталей машин. М.: Машиностроение, 1989. 112 с.
8. Постников С.Н., Черников А.А. Влияние импульсных полей на усталость быстрорежущей стали // Электронная обработка металлов. 1981. № 4. С. 65-68.
9. Загидулин Р.В., Загидулин Т.Р. Магнитный контроль и снижение остаточных механических напряжений металла бурильных труб // Современные методы и средства диагностики электроэнергетического и электротехнического оборудования, средств и систем автоматики: матер. Всеросс. науч.-техн. конф., Республика Башкортостан, г. Салават, 18 ноября 2016 г. Уфа, 2016.
10. Пат. 141800 РФ, МПК G 01 L 1/12. Устройство для снижения величины остаточного механического напряжения металлоконструкции / Р.В. Загидулин, Т.Р. Загидулин. 2014102404/28, Заявлено 24.01.2014; Опубл. 10.06.2014. Бюл. 16.

REFERENCES

1. Korchagin A.P., Klimov V.V., Barinova N.V., Murashov A.O. Povrezhdeniya buril'nykh trub v protsesse ekspluatatsii [Damage of Drill Pipes while in Service]. *Oborudovanie i tekhnologii dlya neftegazovogo kompleksa — Equipment and Technologies for Oil and Gas Industry*, 2016, No. 6. pp. 20-23. [in Russian].

2. Kuzeev I.R., Naumkin E.A., Kudashev R.R. i dr. *Izmeneniya mekhanicheskikh kharakteristik materiala gibkikh nasosno-kompressornykh trub v usloviyakh tsiklicheskogo nagruzheniya* [Changes in the Mechanical Characteristics of the Material of Flexible Tubing Pipes under Cyclic Loading Conditions]. *Nauchnye trudy NIPi Neftegaz GNKAR — Scientific Works of the Research and Design Institute for Oil and Gas SOCAR*, 2015, Vol. 2, No. 2, pp. 47–53. [in Russian].

3. *Konstruksionnye materialy: spravochnik* [Construction Materials: Reference Book]. Ed. by B.N. Arzamasov. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1990. 688 p. [in Russian].

4. Zagidulin T.R., Zagidulin R.V. Magnitnyi kontrol' napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya metallokonstruktsii indikatorom mekhanicheskogo napryazheniya metalla IN-02 skaniruyushchego tipa [Metal Structures Stressed and Strained State Magnetic Inspection by IN-02 the Scanning Metal Strain Indicator]. *Neftegazovoe delo — Petroleum Engineering*, 2017, Vol. 15, No. 4, pp. 143–149. [in Russian].

5. Darkov A.V., Shpiro G.S. *Soprotivlenie materialov* [Strength of Materials]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1989. 624 p. [in Russian].

6. Lobanov L.M., Pashin N.A., Loginov V.P. i dr. Vliyanie elektrodinamicheskoi obrabotki na napryazhennoe sostoyanie svarnykh soedinenii stali St 3 [Effect of Electrodynamic Processing on the Stressed State of Welded Joints of Steel St 3]. *Avtomaticheskaya svarka — Automatic Welding*, 2007, No. 7, pp. 10–12. [in Russian].

7. Malygin B.V. *Magnitnoe uprochnenie instrumenta i detalei mashin* [Magnetic Hardening of Tools and Machine Parts]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1989. 112 p. [in Russian].

8. Postnikov S.N., Chernikov A.A. Vliyanie impul'snykh polei na ustalost' bystrorezhushchei stali [Influence of Pulsed Fields on High-Speed Steel Fatigue]. *Elektronnaya obrabotka metallov — Electronic Processing of Metals*, 1981, No. 4, pp. 65–68. [in Russian].

9. Zagidulin R.V., Zagidulin T.R. Magnitnyi kontrol' i snizhenie ostatochnykh mekhanicheskikh napryazhenii metalla buril'nykh trub [Magnetic Control and Residual Mechanical Stresses Reduction of Drill Pipe Metal]. *Matetialy Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Sovremennye metody i sredstva diagnostiki elektro-energeticheskogo i elektrotekhnicheskogo oborudovaniya, sredstv i sistem avtomatiki»*, Respublika Bashkortostan, g. Salavat, 18 noyabrya 2016 g. [Materials of All-Russian Scientific and Technical Conference «Modern Methods and Diagnostics Tools for Electric Power and Electrical Equipment, Tools and Automation Systems», Republic of Bashkortostan, Salavat, November 18, 2016]. Ufa, 2016. [in Russian].

10. Zagidulin R.V., Zagidulin T.R. *Ustroistvo dlya snizheniya velichiny ostatochnogo mekhanicheskogo napryazheniya metallokonstruktsii* [A Device for Metal Residual Mechanical Stress Reducing]. Patent RF, No. 141800, 2014. [in Russian].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ABOUT THE AUTHORS

Загидулин Ринат Васикович, д-р техн. наук, профессор кафедры «Технологические машины и оборудование», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Rinat V. Zagidulin, Doctor of Engineering Sciences, Professor of Technological Machines and Equipment Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: doctech.zagrv@post.com

Загидулин Тимур Ринатович, канд. техн. наук, технический директор, ООО «Научно-технический центр «Спектр», г. Уфа, Российская Федерация

Timur R. Zagidulin, Candidate of Engineering Sciences, Technical Director, Scientific and Technical Center «Spector» LLC, Ufa, Russian Federation

e-mail: ztr@post.com

Мардамышин Вадим Рафаилович, главный специалист отдела 338/9/4, ПАО «Газпром», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Vadim R. Mardamshin, Chief Specialist of Department 338/9/4, Gazprom PJSC, Saint-Petersburg, Russian Federation

e-mail: vrmardamshin@gmail.com

Бакиев Тагир Ахметович, д-р техн. наук, начальник Инженерно-технического центра, ООО «Газпром трансгаз Уфа», заведующий кафедрой «Гидрогазодинамика трубопроводных систем и гидромашины», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Tagir A. Bakiev, Doctor of Engineering Sciences, Head of Engineering and Technical Center, Gazprom transgaz Ufa LLC, Head of Hydro- and Gas Dynamics of Pipeline Systems and Hydraulic Machines Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: tagirbak@mail.com