



Геоэкология и безопасность жизнедеятельности

УДК 699.15:539.56; 669.788

АНАЛИЗ ПРИЧИН КОРРОЗИОННЫХ РАЗРУШЕНИЙ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ И НОВЫЕ РЕШЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ СТАЛИ К КОРРОЗИИ

Л.А.ГОЛДОБИНА¹, П.С.ОРЛОВ²

¹Санкт-Петербургский горный университет, Россия

²Ярославская государственная сельскохозяйственная академия, Россия

В статье рассматриваются проблемы аварийности, связанные с эксплуатацией, прежде всего, подземных трубопроводов, транспортирующих газ, нефть и ее производные. Приводятся результаты статистического анализа аварийности на подземных трубопроводах, эксплуатируемых в России, а также анализ причин взрывов на подземных трубопроводах, и, прежде всего, газифицированных объектах. Показано, что для газопроводов больших диаметров наиболее опасна стресс-коррозия, возникающая вследствие явления наводораживания. Предлагаются к рассмотрению обоснованные и защищенные патентами РФ новые инженерно-технические решения, направленные на повышение стойкости стальных конструкций к коррозии, а именно: способ повышения твердости, прочности и износостойкости поверхностей стальных деталей путем ускоренной цементации за счет насыщения стальных поверхностей углеродом; способ легирования стали алюминием с получением диффузионных покрытий; способ нанесения на стальную поверхность устойчивого к коррозии и действию кислот и щелочей покрытия. Предлагаемые новые технологии сопровождаются объяснением физико-химических процессов, происходящих в стали. Результаты экспериментальных исследований подтверждают правомерность этих решений.

Ключевые слова: подземные трубопроводы, газопроводы, стойкость металла, коррозия, межкристаллитная коррозия.

Как цитировать эту статью: Голдобина Л.А. Анализ причин коррозионных разрушений подземных трубопроводов и новые решения повышения стойкости стали к коррозии / Л.А.Голдобина, П.С.Орлов // Записки Горного института. 2016. Т.219. С.459-464. DOI 10.18454/PMI.2016.3.459

Актуальность вопроса защиты подземных трубопроводов от коррозии. Наиболее уязвимыми среди всех инженерных сооружений считаются подземные трубопроводы. По существующим оценкам, в России ежегодно происходит порядка 80 тыс. аварий, связанных с эксплуатацией трубопроводов. Основная задача, стоящая в настоящее время перед предприятиями, эксплуатирующими опасные производственные объекты коммунального хозяйства, – снижение аварийности подземных трубопроводов, так как эксплуатируемые подземные водоводы, газопроводы, теплотрассы подземной прокладки в большинстве своем давно выработали ресурс, а замена их требует значительных капитальных вложений.

Протяженность подземных трубопроводов для транспортировки нефти, газа, воды и сточных вод в России составляет около 17 млн км – это второе место в мире после США. Однако нет другой страны, где эти трубопроводные магистрали были бы так изношены. По оценкам специалистов МЧС России, аварийность на трубопроводах с каждым годом возрастает и в XXI в. эти системы жизнеобеспечения вошли изношенными на 50-70 %.

Утечки перекачиваемых продуктов в значительной степени связаны с коррозионными процессами, разрушающими стенки стальных труб. Разрывы труб на водоводах и теплотрассах приводят к подтоплению территории, подвалов, затоплению подземных коммуникаций связи, разрушению транспортных коммуникаций, обрушению зданий и сооружений.

Весьма актуален вопрос защиты от коррозии трубопроводов, эксплуатируемых в нефтяной и нефтегазодобывающей отраслях. Потери нефти и нефтепродуктов зависят от размеров повреждения и времени его обнаружения и сроков устранения. Объем утечки может оказаться существенным даже при незначительных дефектах, если последние остаются незамеченными в течение длительного периода времени. Утечки транспортируемого газа из газопроводов часто сопровождаются взрывами и пожарами [14, 15].

Основными опасными факторами, способствующими возникновению аварийных ситуаций, являются: наличие горючих газов; физический износ металла из-за подвижек газопровода вследствие сезонных изменений уровня грунтовых вод и изменяющегося геологического строения грунта по длине газопровода; нарушение сплошности гидроизоляционного покрытия; коррозионные и механические повреждения металла газопроводов; несовершенство системы электрохимической защиты; пересечение газопроводами водных преград и искусственных сооружений.



Диагностика состояния металла трубопроводного транспорта в процессе эксплуатации – приоритетная задача, поскольку безаварийная и надежная работа предприятий топливно-энергетического комплекса России, в том числе объектов магистрального трубопроводного транспорта природного газа, в значительной степени определяет энергетическую безопасность и социально-экономическое развитие страны [2].

Анализ причин коррозионных разрушений подземных трубопроводов. Для газопроводов больших диаметров наиболее опасна стресс-коррозия, возникающая вследствие явления наводороживания. Проблема обнаружения и идентификации участков магистральных газопроводов, пораженных стресс-коррозией, в настоящее время весьма актуальна. Аварийность магистральных газопроводов из-за коррозионного разрушения металла достигает местами 50 % от общего числа аварий. Длина стресс-коррозионных трещин 5-10 мм, простираются они вдоль оси трубы. Эти трещины формируют магистральные продольные трещины, приводящие к разрушению газопровода, и, как следствие, к взрывам газа и пожарам [4].

Статистика показывает, что причиной каждой третьей аварии на проложенном в грунте трубопроводе является электрохимическая коррозия. Последствием аварии может быть не только экономический ущерб, связанный с потерей транспортируемого продукта, но и значительный вред, наносимый экологии и инфраструктуре населенного пункта. Научно установлено, что скорость коррозии незащищенного подземного трубопровода может достигать одного или даже нескольких миллиметров в год, а при поддержании на трубопроводе стабильного защитного потенциала снижается до 0,01-0,001 мм.

От 5 до 10 % аварий на трубопроводах происходит вследствие межкристаллитной коррозии. И если причины и методики идентификации стресс-коррозионных и коррозионных повреждений в настоящее время отработаны и защищены патентами, то проблема межкристаллитной коррозии нелегированных сталей до сих пор полностью не разрешена [1, 4-8].

В настоящее время ведутся многоуровневые исследования по предупреждению взрывов и пожаров в газифицированных подразделениях по всем направлениям, одним из таких направлений является повышение стойкости металла к коррозии.

В целях предупреждения коррозии металла трубопроводов авторами предложены способы, рассмотренные в данной статье [9-11].

Способ ускоренной цементации стали. Этот способ включает проведение более трех циклов нагрев – охлаждение нагрева пучками импульсов электромагнитного излучения до температуры выше точки Ac_3 со скоростью 1 К/с и охлаждения до температуры ниже Ar_1 со скоростью 1 К/с. Он отличается от известных [14-15] тем, что нагрев проводят до температуры не выше 1220 ± 10 К и охлаждение – до температуры не ниже 950 ± 10 К, при этом продолжительность выдержки при нагреве и охлаждении определяется необходимой толщиной цементитного слоя и равномерностью распределения углерода в нем [9].

Способ ускоренной цементации стальных деталей относится к области химико-термической обработки стали, а именно к насыщению поверхностей стальных деталей углеродом с целью повышения твердости, прочности и износостойкости поверхностей стальных деталей.

Проникновение углерода в сталь в соответствии с предложенным способом цементации осуществляется со скоростью 0,11 мм/с, что значительно выше скорости проникновения углерода в металл (порядка 0,1 мм/ч) при традиционных способах цементации партии деталей в контейнере с твердым карбюризатором. Ускоренное проникновение углерода в металл облегчается тем, что при температуре 960 К, что ниже точки фазового перехода A_1 , количество образующегося атомарного углерода, адсорбированного поверхностью стали, увеличивается почти в 8 раз в сравнении с температурой 1230 К, при которой обычно ведется цементация в твердом карбюризаторе. При температуре 1230 К входные сечения в межкристаллитные, межблочные и межфрагментарные полости увеличиваются, что облегчает проникновение в них углерода и транспорт его в металл.

Нами была разработана методика проведения эксперимента по цементации импульсным методом.

Суть эксперимента заключалась в том, что стальные образцы из низкоуглеродистой стали в герметичных контейнерах с твердым карбюризатором подвергались импульльному воздействию электромагнитного поля с целью получения содержания углерода в поверхностном слое от 0,8 до 1,2 %.

В соответствии с диаграммой железо-цементит (рис.1) температура точки Ac_3 должна быть не ниже 1200 К, а Ar_3 – не выше 1000 К. Верхний предел температурного интервала 1220 К устанавливается по L-образной диаграмме (рис.2). В этом случае при выдержке порядка 100 с при экстремальной температуре произойдет гомогенизация аустенита. Нижний предел температурного интервала термоциклирования 950 К устанавливается по C-образной диаграмме. В этом случае при выдержке порядка 100 с происходит при экстремальной температуре изотермическое превращение аустенита. Для уверенного завершения процессов превращения выдержка при экстремальных температурах

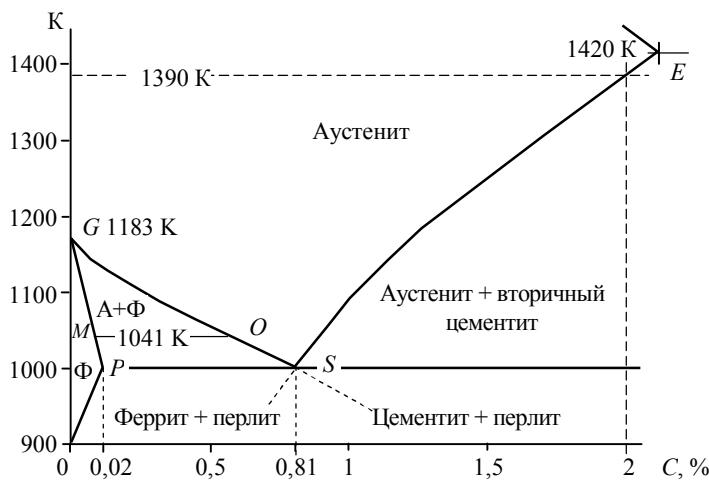


Рис.1. Фрагмент диаграммы железо-цементит

GE – верхняя граница изотермического аустенитного превращения;
 PS – нижняя граница изотермического феррит-перлитного превращения;
 SK_{u+n} – нижняя граница изотермического цементит-перлитного превращения

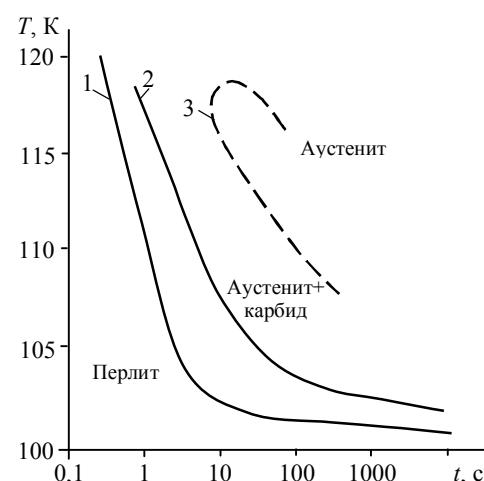


Рис.2. Диаграмма изотермического образования аустенита из перлита для стали, 0,8 % С

1 – начало превращения перлита в аустенит;
2 – конец превращения перлита в аустенит;
3 – зона гомогенизации

принимается 5 мин. При выполнении эксперимента варыруется количество циклов и их длительность. Время цементации при любом из опытов не превышало 1,5 ч. Проникновение углерода в сталь осуществляется на всю глубину образца. Для получения содержания углерода в стали более 0,8 % необходимо провести более трех циклов нагрев-охлаждение. Оценка эффективности проведения эксперимента, осуществленная с помощью твердомера ТР 5006-02, показала увеличение твердости поверхности цементованных образцов не менее HRC 65. Структура образцов после цементации представлена зернистыми перлитами, сорбитами, верхними бейнитами с содержанием углерода от 0,8 до 1,2 %.

Способ легирования стали алюминием. Данный способ легирования стали алюминием относится к химико-термической обработке и получению диффузионных покрытий, и может быть использован для придания поверхности стали особых физико-химических свойств в целях увеличения жаростойкости и износостойкости деталей [10]. Способ легирования стали алюминием включает не менее трех циклов нагрева стальных деталей пучками импульсов электромагнитного излучения в насыщающей среде выше точки Ac_3 с последующим охлаждением ниже точки Ar_1 при скорости нагрева и охлаждения не менее 1 К/с. Нагрев в отличие от первого способа производят до температуры не выше 1220 ± 10 К и охлаждение до температуры не ниже 820 ± 10 К, продолжительность выдержки при нагреве и охлаждении при экстремальных температурах определяется необходимой глубиной проникновения алюминия и равномерностью распределения его в стали. Для увеличения скорости насыщения обработку ведут в расплаве алюминия, при этом для предотвращения окисления алюминия поверхность расплава засыпают тонким слоем кокса или древесного угля.

Способ повышения устойчивости катодно-защищенного трубопровода к эксплуатации в кислотной и щелочной среде. Еще один способ повышения стойкости металла трубопроводов к коррозии, предложенный авторами статьи [11], относится к способам повышения стойкости металла к коррозии и может быть использован в подземном трубопроводном транспорте.

Задачей изобретения является предотвращение коррозионных повреждений наружной поверхности подземного катодно-защищенного трубопровода путем нанесения на его поверхность устойчивого к коррозии и действию кислот и щелочей покрытия.

Поставленная задача достигается способом повышения стойкости металла трубопроводов к коррозии, включает нагрев в углеродсодержащей среде до температуры насыщения, выдержку и охлаждение. С целью упрощения процесса и сокращения длительности обработки нагрев и выдержку проводят в пламени дуги между графитовыми электродами при $1200-1400$ °C, при этом в трубе поддерживается давление 50-75 % от рабочего, цементацию ведут методом сканирования, а нагретую поверхность охлаждают водой.

Новыми существенными признаками являются:

- для исключения растрескивания нанесенного защитного и упрочняющего слоя карбида железа на поверхности трубы в процессе ее эксплуатации цементацию ведут при давлении в трубе 50-75 % от рабочего, создаваемого в процессе ее эксплуатации;



- для обработки всей наружной (или внутренней) поверхности трубы цементацию ведут методом сканирования, строка за строкой, перемещая пламя дуги по поверхности трубы по винтовой линии;
- нагретую угольной электрической дугой поверхность трубы охлаждают водой в целях интенсификации процесса образования карбидов железа.

Технический результат изобретения достигается тем, что для осуществления способа нагрев пятна диаметром 20-40 мм на поверхности трубы до температуры 1200-1400 °С осуществляется высокотемпературным пламенем электродуговой горелки с двумя графитовыми электродами, установленными под углом 30° друг к другу в течение 5-25 с. Зазор между электродами 4-8 мм. Поверхность трубы находится на расстоянии 10 мм от концов электродов в зоне действия пламени угольной дуги. К электродам подводится электрический ток 50-250 А от сварочного трансформатора. Температура пламени электрической дуги составляет 3000-4000 °С. Электродинамическими силами в металл трубы на глубину до 2 мм внедряется атомарный и ионизированный углерод. Пламя дуги перемещается по поверхности трубы по винтовой линии виток к витку со скоростью 2-20 мм/с. В целях интенсификации процесса образования карбида железа нагретую электрической угольной дугой поверхность металла (на расстоянии 75-100 мм от пламени дуги) охлаждают водой температурой 20 °С. Образовавшийся на поверхности трубы плотный слой карбида железа устойчив к коррозии, действию кислот и щелочей и к стресс-коррозии, так как препятствует проникновению в сталь атомарного водорода и имеет прочность 2000 Н/мм² [2].

Выводы

1. В целях безопасной эксплуатации подземных трубопроводов рекомендовать к апробации запатентованные инженерно-технические решения, направленные на предупреждение коррозии металла трубопроводов и сохранение их прочностных свойств.
2. Наличие у железоуглеродистых сплавов двух фаз и фазовых переходов первого рода, обеспечивающих при создании оптимальных температурных условий энергичный фазовый массоперенос атомов внедрения, позволяет использовать возможность насыщения поверхностных слоев стали различными легирующими компонентами, изменяющими физико-химические и потребительские свойства стали.
3. Для получения стали, легированной металлоидами, легирующие компоненты должны отвечать условиям температурного коридора термоциклирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бэкман В. Катодная защита от коррозии / В.Бэкман, В.Швенк. М.: Металлургия, 1984. 496 с.
2. Волохина А.Т. Снижение риска аварийности магистральных трубопроводов за счет совершенствования профессионально важных качеств рабочих основных профессий // Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И.М.Губкина: Сб. научных статей по проблемам нефти и газа. 2010. № 3. С.124-129.
3. Голдобина Л.А. Предупреждение межкристаллитной и стресс-коррозии металла подземных трубопроводов / Л.А.Голдобина, П.С.Орлов, В.С.Шкрабак // Современные проблемы безопасности жизнедеятельности: настоящее и будущее: Материалы III Международной научно-практической конференции в рамках форума «Безопасность и связь» / ГБУ «Научный центр безопасности жизнедеятельности». Казань, 2014. С.496-506.
4. Голдобина Л.А. Пути снижения аварийности на подземных трубопроводах коммунального хозяйства / Л.А.Голдобина, П.С.Орлов // Инновационные процессы в сфере сервиса: проблемы и перспективы: Сборник научных трудов по результатам II Международной научно-практической конференции, 16 июня 2010 г. СПб: Изд-во СПбГУСЭ, 2010. Т.2. С.296-300.
5. Голдобина Л.А. Снижение последствий техногенных катастроф при эксплуатации подземных трубопроводов введением методики определения мест межкристаллитной коррозии / Л.А.Голдобина, П.С.Орлов // Научно-технический журнал НИИТТС «Технико-технологические проблемы сервиса». 2010. № 4 (14). С.18-25.
6. Голдобина Л.А. Обеспечение коррозионной стойкости стальных подземных трубопроводов путем управления фазовыми переходами при термообработке на базе теории электронной модели образования молекулы водорода / Л.А.Голдобина, В.П.Гусев, А.П.Орлов // Там же. 2013. № 1(23). С.36-43.
7. Голдобина Л.А. Предупреждение аварий и катастроф на катодно-защищенных подземных трубопроводах бесконтактными методами идентификации коррозийного разрушения / Л.А.Голдобина, В.С.Шкрабак, П.С.Орлов / Ярославская сельскохозяйственная академия. Ярославль, 2012. 202 с.
8. Обоснование прогрессивных технологий для предотвращения аварий на взрывоопасных объектах АПК / Л.А.Голдобина, В.П.Гусев, П.С.Орлов, Р.В.Шкрабак, В.С.Шкрабак // Естественные, технические и экономические науки: Вестник Саратовского аграрного университета. 2013. № 5. С.54-61.
9. Патент № 2355816 РФ. Способ ускоренной цементации стальных деталей / А.П.Орлов, В.С.Шкрабак, В.П.Гусев, Л.А.Голдобина, Г.Ф.Мокшанцев. Опубл. 20.05.2009. Бюл. № 14.



10. Патент № 2431696 РФ. Способ легирования стали алюминием / Л.А.Голдобина, В.П.Гусев, А.П.Орлов, В.С.Шкрабак. Опубл.20.10.2011. Бюл. № 29.
11. Патент № 2488649 РФ. Способ повышения стойкости стальных трубопроводов к коррозии цементацией / Л.А.Голдобина, В.П.Гусев, А.П.Орлов, В.С.Шкрабак. Опубл.27.07.2013. Бюл. № 21.
12. Патент № 2283893 РФ. Способ ускоренной цементации стали / А.П.Орлов, В.П.Гусев, Л.А.Голдобина. Опубл.20.09.2006. Бюл. № 26.
13. Патент № 2025509 РФ. Способ упрочнения поверхностей стальных изделий / В.К.Загорский, Я.В.Загорский, Б.В.Карпов. Заявл.03.02.1991. Опубл.30.12.1994.
14. Причины аварий на подземном трубопроводном транспорте и современные методы их устранения / П.С.Орлов, В.С.Шкрабак, Л.А.Голдобина, Е.С.Попова // Аграрный научный журнал. 2015. № 6. С.59-64.
15. Предупреждение катастроф, аварий и травматизма при эксплуатации подземных трубопроводов / Л.А.Голдобина, П.С.Орлов, В.С.Шкрабак, Е.С.Попова // Известия СПбГАУ. Ежеквартальный научный журнал. 2011. № 24. С.367-373.

Авторы: Л.А.Голдобина, д-р техн. наук, профессор, kaf-sgp@mail.ru (Санкт-Петербургский горный университет, Россия), П.С.Орлов, д-р техн. наук, профессор, p.orlov@yarcx.ru (Ярославская государственная сельскохозяйственная академия, Россия).

Статья принята к публикации 17.12.2015.

ANALYSIS OF THE CORROSION DESTRUCTION CAUSES IN UNDERGROUND PIPELINES AND NEW SOLUTIONS FOR INCREASING CORROSION STEEL'S RESISTANCE

L.A.GOLDOBINA¹, P.S.ORLOV²

¹Saint-Petersburg Mining University, Russia

²Yaroslavl State Agricultural Academy, Russia

This article deals with the issues concerning the accidents relevant to the underground pipelines operation. These pipelines transport gas, oil and its derivatives. The statistical analysis results of accidents in underground pipelines operated in Russia, as well as the analysis of the explosion causes in underground pipelines and primarily gasified objects are provided. It is shown that stress corrosion arising as a result of the phenomenon of hydrogenation is the most dangerous for large-diameter gas pipelines. The author proposes the justified and protected by RF patents new engineering solutions for consideration. They are aimed at improving resistance of steel structures against corrosion. Also a method of increasing the hardness, strength and wear resistance of steel parts surfaces by rapid cementation due to saturation of the carbon steel surfaces; a steel alloying method using aluminum to obtain diffusion coatings; and a method of applying a corrosion resistant and stable to acids and alkalis coating on the steel surface are presented. Proposed new technologies are accompanied by an explanation of the physical and chemical processes occurring in steel. The experimental results confirmed the validity of those decisions.

Key words: underground pipelines, gas pipelines, metal resistance, corrosion, intercrystalline corrosion.

How to cite this article: L.A.Goldobina, P.S.Orlov. Analysis of the corrosion destruction causes in underground pipelines and new solutions for increasing corrosion steel's resistance. Zapiski Gornogo instituta. 2016. Vol.218, p.459-464. DOI 10.18454/PMI.2016.3.459

REFERENCES

1. Bekman V., Shvenk V. Katodnaya zashchita ot korrozii (Cathodic protection). Moscow: Metalluriya, 1984, p.496.
2. Volokhina A.T. Snizhenie risika avariinosti magistral'nykh truboprovodov zaschet sovershenstvovaniya professional'no vazhnykh kachestv rabochikh osnovnykh professii (Reducing the risk of accidents of pipelines by sovershenstvova professionally important qualities of major workers). Trudy Rossiiskogo gosudarstvennogo universiteta nefti i gaza imeni I.M.Gubkina: Sb. nauchnykh statei po problemam nefti i gaza. 2010. N 3, p.124-129.
3. Goldobina L.A., Orlov P.S., Shkrabak V.S. Preduprezhdenie mezhkristallitnoi i stress-korrozii metalla podzemnykh truboprovodov (Warning and intergranular stress corrosion of underground metal pipelines). Sovremennye problemy bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti: nastroyashchee i budushchee: Materialy III Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii v ramkakh foruma «Bezopasnost' i svyaz». GBU «Nauchnyi tsentr bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti». Kazan', 2014, p.496-506.
4. Goldobina L.A., Orlov P.S. Puti snizheniya avariinosti na podzemnykh truboprovodakh kommunal'nogo khozyaistva (Ways to reduce accidents in underground pipelines Comunaletion facilities). Innovatsionnye protsessy v sfere servisa: problemy i perspektivy: Sbornik nauchnykh trudov po rezul'tatam II Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii 16 iyunya 2010 g. St. Petersburg: Izd-vo SPbGUSE, 2010. Vol.2, p.296-300.
5. Goldobina L.A., Orlov P.S. Snizhenie posledstvii tekhnogenykh katastrof pri ekspluatatsii podzemnykh truboprovodov vne-dreniem metodiki opredeleniya mest mezhkristallitnoi korrozii (Reducing the effects of man-made disasters in the operation of a pipeline-earth implementation of methods for determining the locations of intergranular corrosion). Nauchno-tehnicheskii zhurnal NIITS «Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa». 2010. N 4 (14), p.18-25.
6. Goldobina L.A., Gusev V.P., Orlov A.P. Obespechenie korrozionnoi stoikosti stal'nykh podzemnykh truboprovodov putem upravleniya fazovymi perekhodami pri termoobrabotke na baze teorii elektronnoi modeli obrazovaniya molekul vodoroda (Ensuring the corrosion resistance of steel underground truboprovooing by controlling the phase transitions during the heat treatment on the basis of the theory of electronic model Obraction of the hydrogen molecule). Tam zhe. 2013. N 1(23), p.36-43.
7. Goldobina L.A., Shkrabak V.S., Orlov P.S. Preduprezhdenie avari i katastrof na katodno-zashchishchenykh podzemnykh truboprovodakh beskon-taktnymi metodami identifikatsii korroziinogo razrusheniya (Preventing accidents and disasters on a cath-



ode-protected pipeline of underground-governmental contactless methods of identification of corrosion destruction). Yaroslavskaya sel'skokhozyaistvennaya akademiya. Yaroslavl', 2012, p.202.

8. Goldobina L.A., Gusev V.P., Orlov P.S., Shkrabak R.V., Shkrabak V.S. Obosnovanie progressivnykh tekhnologii dlya predotvrashcheniya avarii na vzryvoopasnykh ob'ektakh APK (*Justification of advanced technologies to prevent accidents at hazardous facilities APC*). Estestvennye, tekhnicheskie i ekonomicheskie nauki: Vestnik Saratovskogo agrarnogo universiteta. 2013. N 5, p.54-61.

9. Patent N 2355816 RF. Orlov A.P., Shkrabak V.S., Gusev V.P., Goldobina L.A., Mokshantsev G.F. Sposob uskorennoi tsementatsii stal'nykh detalei (*The method of accelerated carburizing steel parts*). Opubl. 20.05.2009. Byul. N 14.

10. Patent N 2431696 RF. Goldobina L.A., Gusev V.P., Orlov A.P., Shkrabak V.S. Sposob legirovaniya stali alyuminiem (*A method of alloying of steel with aluminum*). Opubl. 20.10.2011. Byul. N 29.

11. Patent N 2488649 RF. Goldobina L.A., Gusev V.P., Orlov A.P., Shkrabak V.S. Sposob povysheniya stoikosti stal'nykh truboprovodov k korrozii tsementatsiei (*A method of increasing the resistance to corrosion of steel pipe tsetation*). Opubl. 27.07.2013. Byul. N 21.

12. Patent N 2283893 RF. Orlov A.P., Gusev V.P., Goldobina L.A. Sposob uskorennoi tsementatsii stali (*The method of accelerated carburizing steel*). Opubl. 20.09.2006. Byul. N 26.

13. Patent N 2025509 RF. Zagorskii V.K., Zagorskii Ya.V., Karpov B.V. Sposob uprochneniya poverkhnosti stal'nykh izdelii (*A method of surface hardening steel products*). Zayavl. 03.02.1991. Opubl. 30.12.1994.

14. Orlov P.S., Shkrabak V.S., Goldobina L.A., Popova E.S. Prichiny avarii na podzemnom truboprovodnom transporte i sovremennye metody ikh ustraneniya (*Cause of the accident on the underground pipeline and modern methods of their elimination*). Agrarnyy nauchnyi zhurnal. 2015. N 6, p.59-64.

15. Goldobina L.A., Orlov P.S., Shkrabak V.S., Popova E.S. Preduprezhdenie katastrof, avariij i travmatizma pri ekspluatatsii podzemnykh truboprovodov (*Preventing disasters, accidents and injuries in the operation of underground pipelines*). Izvestiya SPbGAU. Ezhekvartal'nyi nauchnyi zhurnal. 2011. N 24, p.367-373.

Authors: Л.А.Голдобина, Dr. of Engineering Sciences, Professor, kaf-sgp@mail.ru (Saint-Petersburg Mining University, Russia), П.С.Орлов, Dr. of Engineering Sciences, Professor, p.orlov@yarcx.ru (Yaroslavl State Agricultural Academy, Russia).

Manuscript Accepted 17.12.2015.