

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ СТАЛИ 20ГЛ

Блажнов Н.М.^{1,2}, Шерина Ю.В.¹, Шевяхова В.В.^{1,3}, Новиков В.А.^{1,4}

¹ООО НИПП «Вальма», Самара;

²Самарский национальный исследовательский университет
им. академика С.П. Королева, Самара;

³Южно-Уральский государственный университет, Челябинск;

⁴Самарский государственный технический университет, Самара

Ключевые слова: 20ГЛ, трубопроводная арматура, термическая обработка, сульфидно-коррозионное растрескивание под напряжением, нефтегазовые среды, коррозионные испытания.

Аннотация. В работе приводятся результаты исследований по определению стойкости стали 20ГЛ, подвергнутой различным режимам термической обработки, к коррозионной стойкости по механизму сульфидного коррозионного растрескивания под напряжением в среде сероводорода с разной агрессивностью. Показано, что оптимальным режимом термической обработки для стали 20ГЛ можно рекомендовать проведение нормализации при $T = 920^\circ\text{C}$ с выдержкой в течение 2 часов и последующим охлаждением на воздухе.

STUDY OF HEAT TREATMENT EFFECT ON CORROSION RESISTANCE OF 20GL STEEL

Blazhnov N.M.^{1,2}, Sherina Y.V.¹, Shevyakhova V.V.^{1,3}, Novikov V.A.^{1,4}

¹ООО NIPP "Valma", Samara;

²Samara National Research University named after S.P. Korolev, Samara;

³South Ural State University, Chelyabinsk;

⁴Samara State Technical University, Samara

Keywords: 20GL, pipeline valves, heat treatment, stress sulfide corrosion cracking, oil and gas media, corrosion testing.

Abstract. The paper presents the results of studies to determine the resistance of 20GL steel, subjected to different modes of heat treatment, to corrosion resistance by the mechanism of sulfide stress corrosion cracking in the hydrogen sulfide environment with different aggressiveness. It is shown that the optimum mode of heat treatment for steel 20GL it is possible to recommend carrying out of normalization at $T = 920^\circ\text{C}$ with exposure within 2 hours and the subsequent cooling in air.

С каждым годом в нефтепромысловой нефтедобывающей отрасли отмечается усиливающаяся агрессивность добываемой среды и возрастание интенсивности эксплуатации оборудования [1-3]. Скорость коррозионного разрушения трубопроводных систем в нефтяной промышленности обусловлена как химической активностью извлекаемого продукта, так и эксплуатационными условиями. В зависимости от геологических особенностей нефтяных месторождений, добываемый нефтяной флюид может содержать растворенный сероводород, в различных концентрациях, который при взаимодействии с металлом нефтепромыслового оборудования насыщает его водородом, что наиболее часто приводит к сульфидному коррозионному растрескиванию под

напряжением (СКРН), поскольку насыщение водородом приводит к образованию внутренних трещин в металле [4-6].

Для изготовления нефтепромысловых труб наиболее часто используют сталь 20ГЛ благодаря такому комплексу свойств, как: оптимальный химический состав; высокая прочность, необходимая для работы в сложных условиях нефтедобычи; хорошая устойчивость к механическим нагрузкам; способность выдерживать высокие температуры, характерные для нефтяных скважин; отличная свариваемость и деформируемость при горячей обработке; устойчивость к коррозии в агрессивных средах. Однако, проведенный анализ литературы показывает, что несмотря на перечисленные достоинства наблюдается немалое количество отказов нефтяных труб из стали 20ГЛ, наиболее частыми причинами которых являются: нарушение технологии изготовления; неправильная термообработка; неоднородность структуры металла; образование технологических напряжений при пластическом изгибе; потеря пластичности металла; концентраторы напряжений в местах сварки и наиболее часто – воздействие сероводородсодержащей среды в совокупности с механическими нагрузками при эксплуатации [7-9].

В связи с вышесказанным целью данного исследования является исследование влияния различных режимов термической обработки на стойкость стали 20ГЛ к сульфидно-коррозионному растрескиванию под напряжением в среде, содержащей сероводород.

Для достижения поставленной цели был проведен ряд экспериментов. В качестве объекта исследований были взяты образцы, стали марки 20ГЛ, применяемой для изготовления корпусных деталей арматуры трубопроводов (ГОСТ 21357-87) для районов с холодным климатом (исполнение ХЛ). Полученные образцы были подвергнуты различным видам термической обработки по режимам «нормализация» (нагрев до 920°C, выдержка 2 часа, охлаждение на воздухе), «закалка+отпуск» (нагрев под закалку 920°C, выдержка 2 часа, охлаждение в воде + нагрев до 620°C, выдержка 1 час, охлаждение на воздухе), «нормализация+закалка+отпуск» (900°C, закалка 920°C, отпуск 620°C). Микроструктуру образцов изучали на металлографических шлифах после травления в стандартном реактиве (5% раствор HNO_3 в этиловом спирте) на оптическом микроскопе «Olympus-GX51» при помощи системы анализа микроструктуры объектов «Axalit», а также программы Micro-S Polar [10]. Эксперименты по определению стойкости металла к СКРН производились в испытательной среде А, где при концентрации пропускаемого H_2S 300±100 мг/л, показатель рН испытательного раствора варьировали от 3,5 до 5,5; а при концентрации сероводорода 2800±200 мг/л показатель рН варьировали от 3,0 до 6,5 за счет добавления в раствор 4-% соляной кислоты. Механическая нагрузка на испытываемые образцы составляла 72% от минимального предела текучести. Время испытаний составляло 720 часов или до момента разрушения образцов. Механические свойства, такие как, временное сопротивление разрыву, предел текучести, относительное удлинение и относительное сужение, определяли на разрывной машине РЭМ-100-А-0,5-1 в соответствии с ГОСТ 1497-2023.

На рисунке 1 приведены фотографии микроструктуры образца стали 20ГЛ после различных режимов термической обработки.

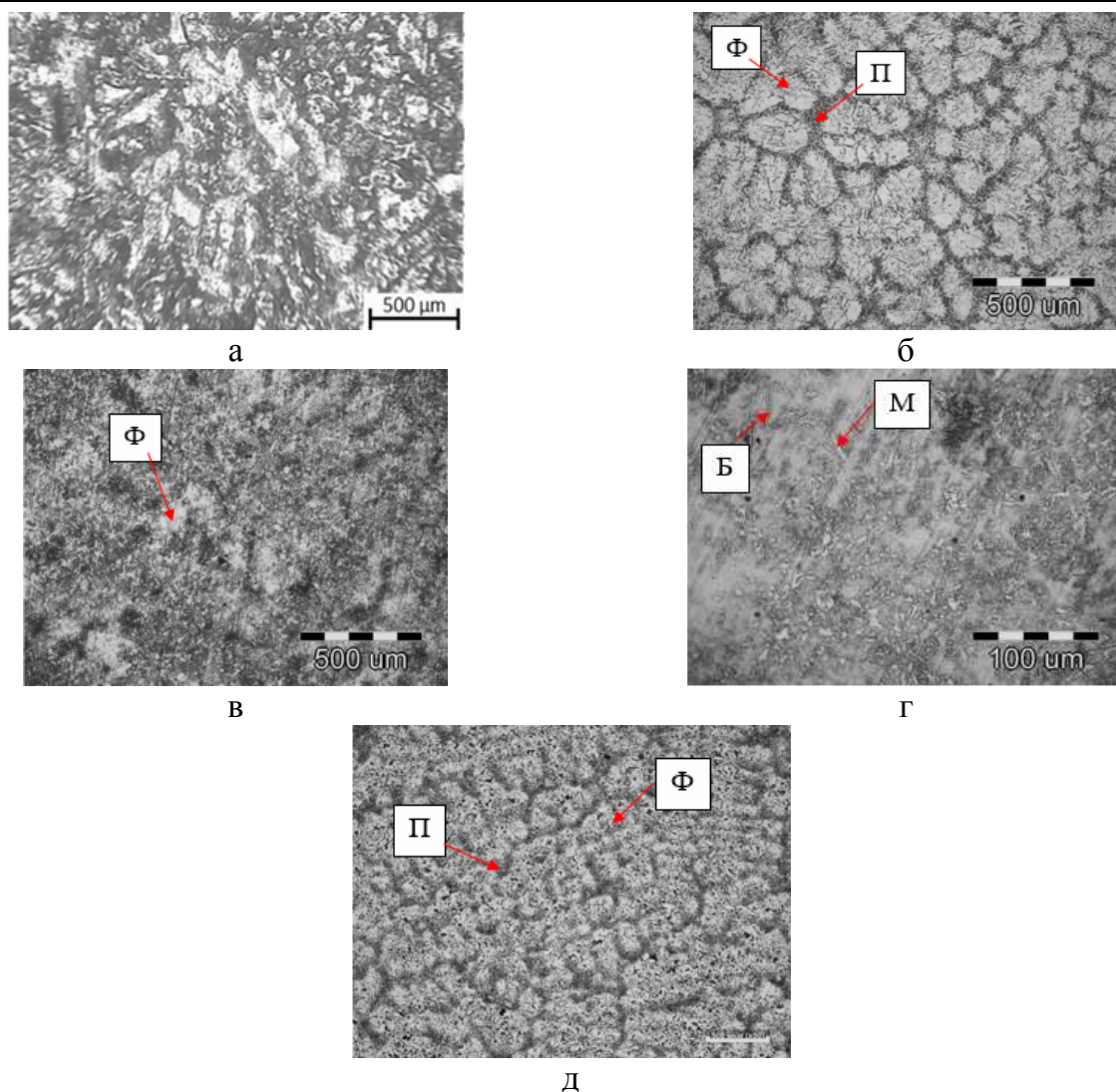


Рис. 1. Микроструктура стали 20ГО: а) в литом состоянии; б) после ТО «нормализация»; в) после ТО «закалка+отпуск»; г) после ТО «нормализация+закалка+отпуск»

Структура стали 20ГЛ в литом состоянии представляет собой перлит и характеризуется крупнозернистой Видманштеттовой структурой (рис. 1, а). После нормализации структура стали неоднородная, смешанная крупнозернистая, неориентированная феррито-перлитную смесь (ГОСТ 5640), с процентным соотношением феррита и перлита 70/30 (рис. 3, б). В структуре также присутствует цементит, который имеет пластинчатую форму, балл зерна находится в диапазоне 6-7 согласно ГОСТ 5639, а его количество составляет порядка 2%. После закалки и отпуска наблюдается изменение структурных составляющих, присутствует феррит (рис. 3, в), а также такие закалочные структуры как бейнит и мартенсит (рис. 3, г), неоднородность сохраняется. Содержание феррита составляет 28-31%, в свою очередь точное количество мартенсита и бейнита определить сложно, ввиду схожести морфологии. Балл ферритного зерна соответствует значению 8 по ГОСТ 5639. Микроструктура после тройной термической обработки по режиму «нормализация+отпуск+закалка» представляет собой неориентированную ферритно-перлитную смесь (рис. 1, г), где перлит имеет пластинчатую форму и расположен в ферритной матрице хаотично. Содержание перлита составляет 37%. Балл ферритного зерна соответствует значению 9 согласно ГОСТ 5639.

На всех исследованных образцах после окончания коррозионных испытаний (720 часов) по механизму СКРН наблюдалось визуальное отсутствие поверхностных трещин, в связи с чем, для выявления скрытых дефектов было принято решение подвергнуть данные образцы механическим испытаниям на одноосное статическое растяжение. Результаты механических испытаний образцов из стали 20ГЛ после коррозионных испытаний на стойкость к СКРН приведены на рисунке 2 и 3.

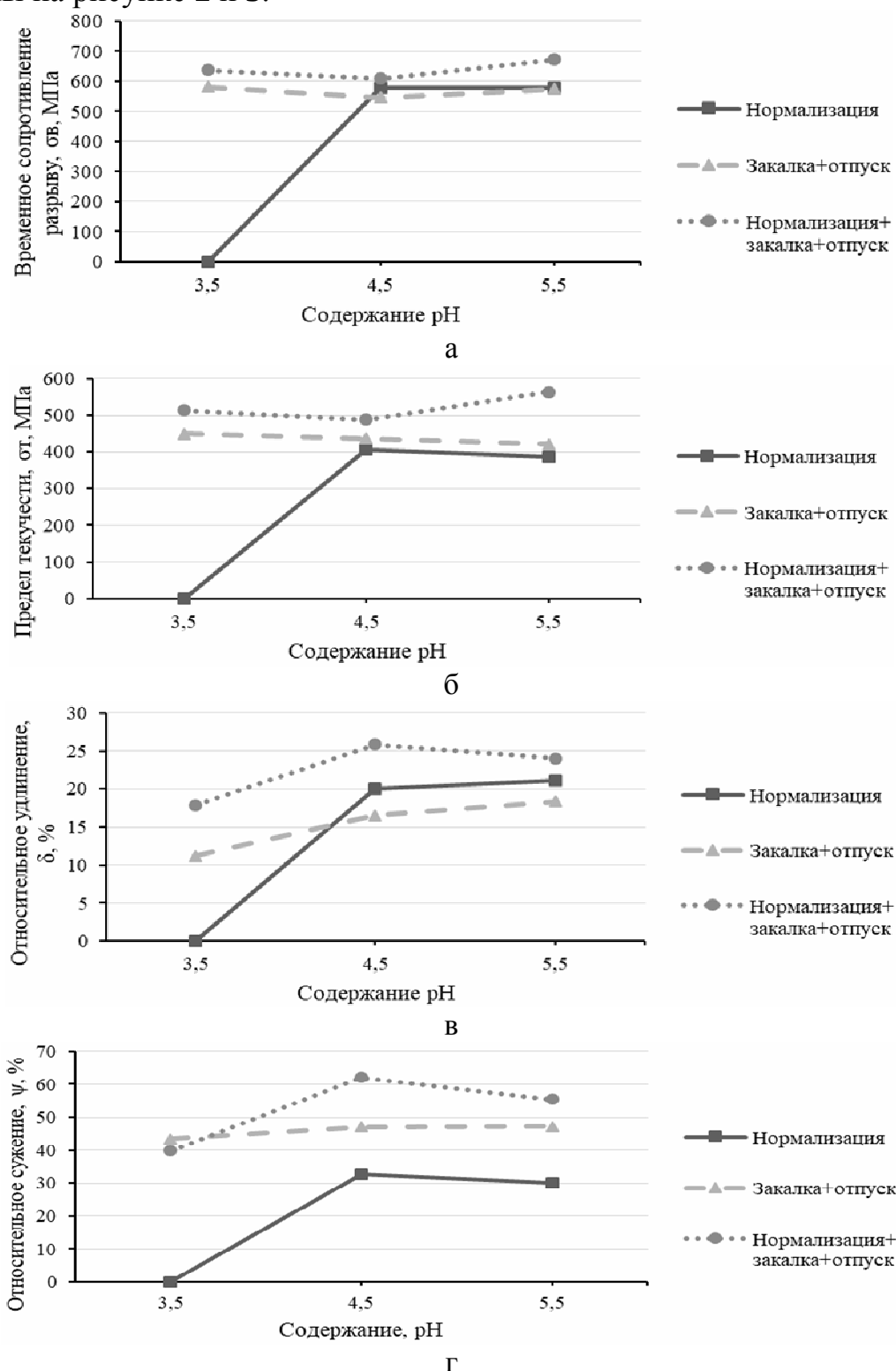


Рис. 2. Механические свойства стали 20ГЛ после испытаний в среде сероводорода с концентрацией 300 ± 100 мг/л при разном содержании pH: а) временное сопротивление разрыву; б) предел текучести; в) относительное удлинение; г) относительное сужение

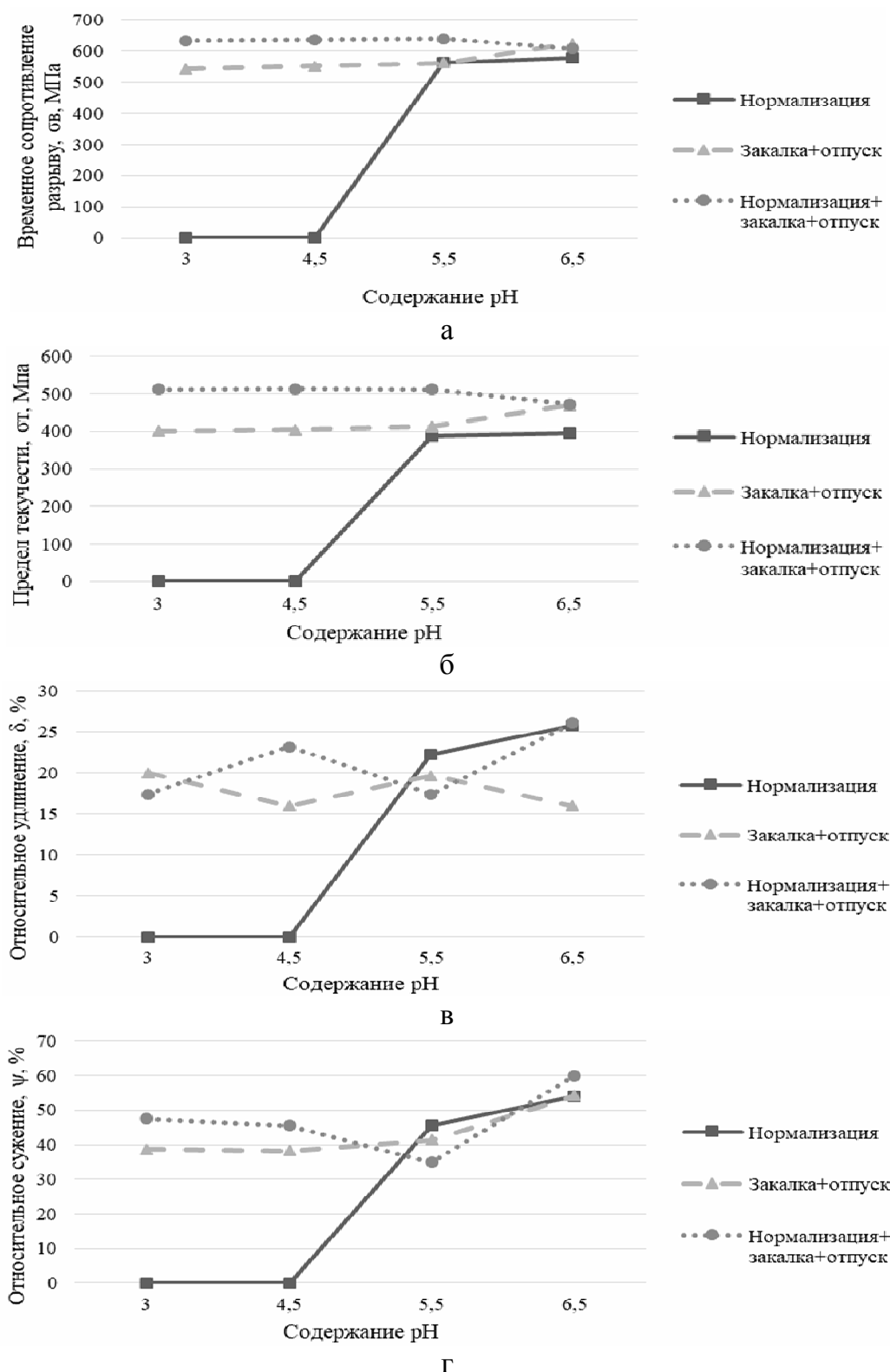


Рис. 3. Механические свойства стали 20ГЛ после испытаний в среде сероводорода с концентрацией 2800 ± 200 мг/л при разном содержании pH: а) временное сопротивление разрыву; б) предел текучести; в) относительное удлинение; г) относительное сужение

Результаты показывают, что в большей мере на механические характеристики оказывает влияние не агрессивность среды, а, непосредственно, режим термической обработки. При этом деградация пластических свойств наблюдается наиболее интенсивно на образцах, подверженных термической обработке по режиму «закалка+отпуск», а режимы «нормализация» и

«нормализация+закалка+отпуск» обеспечивают приблизительно одинаковые показатели прочностных и пластических свойств. Данное явление связано со схожестью получаемых структур после проведения термической обработки (рис. 1, б, д), так как исследователи [11-14] отмечают, что стали, имеющие ферритно-перлитную обладают большей устойчивостью к коррозионному разрушению по сравнению с закалочными структурами.

В целом, проведенные исследования показали, что проведение термической обработки по режиму «нормализация» на стали 20ГЛ обеспечивает все необходимые требования, предъявляемые ГОСТ 21357-87 и ТУ № 2116 АО «ПТПА», что позволяет рекомендовать этот режим термообработки в качестве оптимального для обеспечения экономической эффективности предприятий, реализующих деятельность в нефтедобывающей отрасли.

Список литературы

1. Маркин А.Н., Низамов Р.Э. CO₂-коррозия нефтепромыслового оборудования. – М: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2003. – 188 с.
2. Завьялов В.В. Проблемы эксплуатационной надёжности трубопроводов на поздней стадии разработки месторождений. – М: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2005. – 322 с.
3. Желтов Ю.П. Разработка нефтяных месторождений. Учебное пособие для ВУЗов. – М.: Недра, 1999. – 75 с.
4. Ботвина Л.Р. Кинетика разрушения конструкционных материалов. – М.: Наука, 1989. – 230 с.
5. Стеклов О.И., Бодрихин Н.Г., Кушнарченко В.М., Перунов Б.В. Испытание сталей и сварных соединений в наводороживающих средах. – М.: Металлургия, 1992. – 128 с.
6. Саакиян Л.С., Ефремов А.П. Защита нефтегазопромыслового оборудования от коррозии. – М.: Недра, 1982. – 206 с.
7. Хафизов И.Ф., Латыпова Т.В., Хафизов Ф.Ш., Озден И.В. Предупреждение пожароопасных ситуаций на промысловых трубопроводах // Нефтегазовое дело. – 2024. – №4. – С. 20-36.
8. Грузков И.В. Использование бейнитных структур в производстве труб нефтяного сортамента: Дисс. ... канд. техн. наук. – Тольятти: ТГУ, 2024. – 136 с.
9. Федотова А.В. Коррозионно-механическое разрушение соединительных деталей нефтепромысловых трубопроводов: Дисс. ... канд. техн. наук. – Тольятти: ТГУ, 2023. – 171 с.
10. Zhukov D.V., Giorbelidze M.G., Mel'nikov A.A., Voronin S.V. Method for Evaluation and Visualisation of the Microstructure Materials Heterogeneity // Russian Metallurgy (Metallurgy). 2023, no. 13, pp. 2126-2132.
11. Dugstad A., Hemmer H., Seiestein H. Effect of steel microstructure upon corrosion rate and protective iron carbonate film formation // Corrosion 2000, Houston, TX NACE International. 2000, p. 24.
12. Chitwood G., Coyle W., Hilts R. A case history analysis of using plain carbon alloy steel for completion equipment in CO₂ service // Corrosion 1994, Houston. TX: NACE International. 1994, p. 20.
13. Palacios C.A., Shadley J.R. CO₂ corrosion of N-80 steel at 71°C in a two-phase flow system // Corrosion 1993, Houston. TX: NACE International. 1993, np. 49(8), pp. 686-693.
14. Ueda M., Takabe H. Effect of environmental factor and microstructure on morphology of corrosion products in CO₂ environments // Corrosion 1999, Houston.TX: NACE International. 1999, p. 13.

Сведения об авторах:

Блажнов Никита Михайлович – заместитель главного инженера, аспирант;

Шерина Юлия Владимировна – к.т.н., ведущий инженер;

Шевяхова Виктория Вадимовна – инженер, магистрант;

Новиков Владислав Александрович – к.т.н., доцент, начальник отдела материаловедения.