

Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2021. Вып. 5 (133). С. 79-88. ISSN 1998-8443 (print)

Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products. 2021. Issue 5 (133). P. 79-88. ISSN 1998-8443 (print)

Научная статья

УДК 621.643

doi: 10.17122/ntj-oil-2021-5-79-88

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ МЕХАНИЧЕСКИ НЕОДНОРОДНЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ С ТРЕЩИНОПОДОБНЫМ ДЕФЕКТОМ

Егор Александрович Тигулев^{1,2}, Игорь Финсурович Кантемиров³

¹Научно-технический центр трубопроводного транспорта

Научно-исследовательского института трубопроводного транспорта, Уфа, Россия

^{2,3}Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

¹TigulevEA@niitnn.transneft.ru

³st@rusoil.net

Автор, ответственный за переписку: Егор Александрович Тигулев,

TigulevEA@niitnn.transneft.ru

Аннотация. В статье приводятся результаты исследования прочности механически неоднородных сварных соединений магистральных трубопроводов на участке с поверхностным трещиноподобным дефектом. Выявлена, а также экспериментально и численно подтверждена корреляция между положением трещиноподобного дефекта относительно зон механической неоднородности и несущей способностью всего сварного соединения.

Предложен механизм учета криволинейной контактной границы между зонами механической неоднородности при расчете сварного соединения с трещиноподобным дефектом на прочность.

Форма контактной границы между зонами механической неоднородности может оказывать существенное влияние на напряженное состояние в нетто-сечении дефекта.

Показана возможность совершенствования существующих методик расчета прочности сварных соединений магистральных трубопроводов за счет уточнения коэффициента концентрации напряжений в зависимости от степени механической неоднородности и степени реализации связанных с механической неоднородностью эффектов с учетом криволинейной контактной границы между зонами сварного соединения.

Ключевые слова: механическая неоднородность, эксплуатационные напряжения, трещиноподобный дефект, прочность

Для цитирования: Тигулев Е. А., Кантемиров И. Ф. Оценка прочности механически неоднородных сварных соединений магистральных трубопроводов с трещиноподобным дефектом // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2021. Вып. 5 (133), С. 79-88. <http://doi.10.17122/ntj-oil-2021-5-79-88>.

Original article

ESTIMATION OF THE STRENGTH OF MECHANICALLY INHOMOGENEOUS WELDED CONNECTIONS OF MAIN PIPELINES WITH A CRACK-LIKE DEFECT

Egor A. Tigulev^{1,2}, Igor F. Kantemirov³

¹Scientific and Technical Center, Transneft R&D, Ufa, Russia

^{2,3}Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

¹TigulevEA@niitnn.transneft.ru

³st@rusoil.net

Corresponding author: Egor A. Tigulev, TigulevEA@niitnn.transneft.ru

Abstract. The article presents the results of studying the strength of mechanically inhomogeneous welded joints of main pipelines in the area with a surface crack-like defect. The correlation between the position of the crack-like defect relative to the zones of mechanical inhomogeneity and the bearing capacity of the entire welded joint was revealed, and also experimentally and numerically confirmed.

A mechanism is proposed for taking into account the curvilinear contact boundary between the zones of mechanical inhomogeneity when calculating the strength of a welded joint with a crack-like defect.

The shape of the contact boundary between the zones of mechanical inhomogeneity can have a significant effect on the stress state in the net section of the defect.

The possibility of improving the existing methods for calculating the strength of welded joints of main pipelines by specifying the stress concentration factor depending on the degree of mechanical inhomogeneity and the degree of implementation of effects associated with mechanical inhomogeneity, taking into account the curvilinear contact boundary between the zones is shown. welded joint.

Keywords: mechanical inhomogeneity, operational stresses, crack-like defect, strength

For citation: Tigulev E. A., Kantemirov I. F. Otsenka prochnosti mekhanicheski neodnorodnykh svarnykh soyedineniy magistral'nykh truboprovodov s treshchinopodobnym defektom. [Estimation of the Strength of Mechanically Inhomogeneous Welded Connections of Main Pipelines with a Crack-Like Defect]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*. 2021, 5 (133), pp. 79-88. <http://doi.10.17122/ntj-oil-2021-5-79-88>.

Введение

Анализ опыта эксплуатации сварных конструкций во многих отраслях топливно-энергетического комплекса России [1, 2] показывает, что сварные соединения являются концентратором негативных факторов, определяющих несущую способность получаемых сварных соединений и работоспособность всей конструкции в целом. Указанные ограничения распространяются в полной мере и на магистральные трубопроводы, имеющие в своем составе большое количество сварных соединений. Лимитирующее прочностное свойство сварных соединений магистральных трубопроводов определяется рядом факторов, показанных, в частности, в работе [3].

К основным факторам относится дифференцированное влияние на участки основного металла и сварного шва термомодеформационного цикла сварки, вследствие которого происходит диффузия отдельных элементов в основной металл из сварного шва, под влиянием верхних слоев сварного шва происходит перекристаллизация нижних слоев. Кроме термомодеформационного цикла сварки к основным факторам можно отнести режимы сварки, окружающие условия сварки и предварительную подготовку свариваемых изделий.

Оценка степени ограничения прочностных свойств сварных соединений по сравне-

нию с основным металлом является предметом большого количества исследований. В предшествующих исследованиях [4-7] упомянутые ограничения прочностных свойств выражались через определение в сварных соединениях зон механической неоднородности. Под зонами механической неоднородности понимаются участки сварного соединения, которые существенно различаются между собой по механическим свойствам.

Перечисленные выше факторы объясняют физико-химическую природу различия участков по механическим свойствам. Среди выделенных зон механической неоднородности в сварных соединениях исследователями определялась наиболее ослабленная, которая, в свою очередь, лимитировала прочность сварного соединения в целом. При этом исследователями отмечалось, что результаты экспериментов показывают более высокие прочностные характеристики, чем соответствующие свойства отдельной наиболее ослабленной зоны сварного соединения. В соответствии с этим теоретически был показан эффект контактного упрочнения, который проявляется для наиболее ослабленной зоны и который был поставлен в зависимость от относительной толщины ослабленной зоны (отношение ширины зоны к толщине металла). Удовлетворительные результаты количественной оценки эффекта контактного упрочнения были получены для сварных соедине-

ний биметаллов, когда две прочные части конструкции сваривались заведомо менее прочным материалом, однако имеющим более высокие характеристики ударной вязкости. Таким образом, сварное соединение выступало в качестве цельной ослабленной зоны и имело более высокие прочностные характеристики в составе соединения за счет эффекта контактного упрочнения при сохранении свойств по ударной вязкости.

Вместе с тем, в сварных соединениях низколегированных сталей, которые применяются в магистральных трубопроводах, несмотря на применение близких по свойствам присадочных материалов наблюдается различие механических свойств (предел прочности и предел пластичности) по объему сварного соединения.

Экспериментальные исследования таких сварных соединений [8] показали, что применение тех же зависимостей, выведенных для сварных соединений с существенными отличиями по механическим свойствам, дает завышенные результаты о степени контактного упрочнения прослойки.

В этой связи в некоторых исследованиях были сформулированы положения о реализации эффекта контактного упрочнения, количественная оценка которой в основном сводилась к экспериментальным данным. Физически неполная реализация эффекта контактного упрочнения объяснялась вовлечением приконтактных участков более прочной зоны сварного соединения со стороны менее прочной зоны. Таким образом, сдерживающая способность по отношению к пластическим деформациям ослабленной зоны снижалась со стороны более прочной зоны.

Комплексный подход к оценке прочности сварных соединений, составленных из зон механической неоднородности, разрабатывался в ряде исследований [6, 8, 9] и других.

Математическое моделирование напряженного состояния ослабленных зон вне зависимости от степени механической неоднородности проводилось на основе гипотезы Прандтля о постоянстве касательных напряжений по линиям характеристик, гипотезы о

разрывности напряжений и некоторых других. Также в предшествующих исследованиях проводилась оценка прочности при наличии трещиноподобных дефектов на разных участках сварного соединения. В качестве недостатков разработанных моделей отмечается либо их значительный численный характер, либо применение серьезных упрощений. Кроме того, указанные модели характеризуются схематизацией зон механической неоднородности, которая может не позволить произвести реальную оценку прочностных свойств сварных соединений с механической неоднородностью.

Исследование возможности применения существующих подходов и направления совершенствования указанных подходов с учетом сложной формы зон механической неоднородности для сварных соединений, включая сварные соединения с поверхностным трещиноподобным дефектом, является актуальной задачей настоящего исследования. Также важно отметить, что, рассматривая зоны механической неоднородности по характеру деформации, в математической модели исследованы условия начала пластических деформаций, при этом факторы, влияющие на конечное усилие разрушения (деформационное упрочнение, скорость пластических деформаций), не учитывались.

Такой подход объясняется как нормативными требованиями о недопустимости пластических деформаций к стальным конструкциям, так и необходимостью определения локальных участков наступления пластической стадии деформирования до полной потери устойчивости пластического деформирования.

Методы исследования

Для решения задач исследования проведен комплекс экспериментов, в рамках которого проведены замеры и проанализированы результаты твердомерии макрошлифов большого количества образцов сварных соединений, выполненных различными способами сварки.

Разработан метод линейной аппроксимации, который при использовании большого количества точек замера твердости с достаточной для инженерных расчетов точностью позволяет выделить зоны механической неоднородности.

Суть метода линейной аппроксимации заключается в объединении полученных результатов твердости по значениям в группы: «твердая прослойка», «прослойка средней прочности», «мягкая прослойка». Далее для каждой из групп выделен диапазон значений, к которым будут отнесены результаты замеров по каждому макрошлифу.

На следующем этапе для пограничных значений между выделенными группами принимается линейное изменение значений твердости.

Таким образом, определяется граница зоны механической неоднородности. Выде-

ленные зоны механической неоднородности также позволили сформировать численную модель с заданными свойствами зон.

В рамках экспериментальных исследований, помимо замеров твердости, проведены разрушающие испытания полученных образцов, как в бездефектном исполнении, так и с нанесением искусственного поверхностного трещиноподобного дефекта электроэрозийным способом в различных зонах механической неоднородности (рисунок 1).

Проведен сравнительный анализ результатов разрушающего усилия.

Для численной модели, построенной по зонам механической неоднородности, аналогично натурному эксперименту были сформированы идентичные по размеру и форме трещиноподобные дефекты и приложены соответствующие растягивающие нагрузки (рисунок 2).



Рисунок 1. Образцы сварных соединений, подвергнутые испытаниям на статическое растяжение

Figure 1. Samples of welded joints subjected to static tests stretching

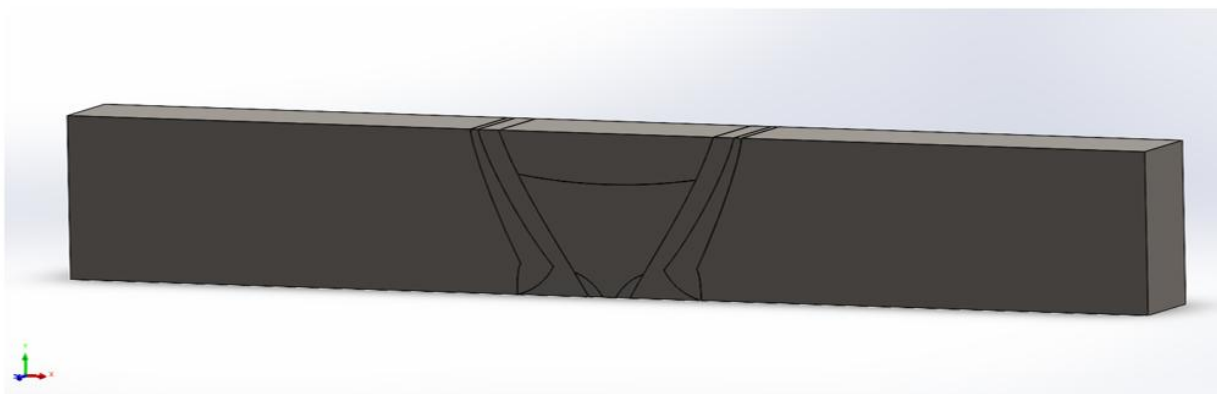


Рисунок 2. Численная модель образца с механически неоднородным сварным соединением
Figure 2. Numerical model of a sample with a mechanically inhomogeneous welded joint

Результаты

По результатам проведенных экспериментальных исследований показано, что форма выделенных зон механической неоднородности существенно отличается от форм, представленных в качестве схем для расчета напряженного состояния в рассмотренных ранее работах [6, 9].

Особенно важны краевые эффекты на границах зон, форма которых может иметь определяющее влияние на несущую способность участка, имеющего трещиноподобный дефект. Уточненная форма зон механической неоднородности была заложена как в математическую модель, на которой базировались расчеты напряженного состояния механически неоднородного сварного соединения, так и в численную модель, результаты расчета по которой применялись в качестве дополнительных поверочных.

Совершенствование представленной ранее математической модели для расчета напряженного состояния сварного соединения проводилось путем вариации условных значений параметра двухосности. Указанные вариативные значения параметра двухосно-

сти определялись в зависимости от ориентации главных напряжений, действующих в стенке трубопровода, к контактной границе между зонами механической неоднородности в каждой точке по толщине сварного соединения:

$$n_y = f(\nu, \sigma_{\text{пр}}, \sigma_{\text{кц}}, K) = \text{var},$$

где ν - угол наклона контактной границы к направлению действия продольной нагрузки;

$\sigma_{\text{пр}}$ - продольное эксплуатационное напряжение, возникающее под действием продольных нагрузок на сварное соединение магистрального трубопровода, МПа;

$\sigma_{\text{кц}}$ - кольцевое эксплуатационное напряжение, возникающее под действием внутреннего давления на сварное соединение магистрального трубопровода, МПа;

Дифференцируя зависимость для контактной границы, можно построить эпюру главных напряжений в каждой точке контактной границы.

Отношение значений главных напряжений далее используется для построения графика изменения значений условного параметра двухосности.

Полученный при такой постановке задачи параметр двухосности позволит вычислить с помощью линий характеристик условия наступления предельного напряжения в нетто-сечении трещиноподобного дефекта.

Используя полученные ранее зависимости [10], определяющие напряженное состояние в зависимости от параметра двухосности, были получены значения предельных напряжений в нетто-сечении трещиноподобного дефекта. Также были получены результаты численного моделирования и определены максимальные напряжения в нетто-сечении (рисунок 3).

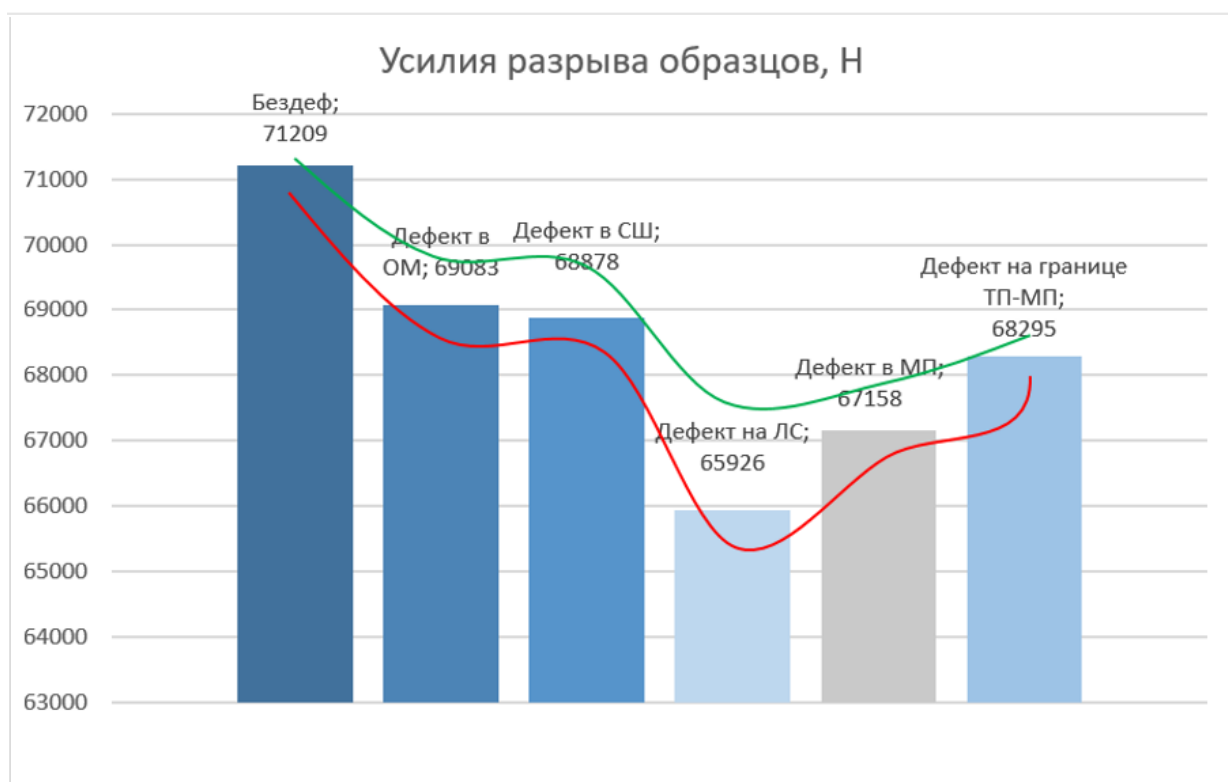


Рисунок 3. Значения разрушающих усилий по результатам экспериментальных исследований (гистограмма), полученные значения по математической модели (нижняя кривая), полученные значения по результатам численного моделирования (верхняя кривая)

Figure 3. Values of destructive forces according to the results of experimental studies (histogram), the values obtained from the mathematical model (lower curve), the values obtained from the results of numerical modeling (upper curve)

Обсуждение

Результаты проведенных серий экспериментов, а также расчетов в рамках усовершенствованной математической модели и численного моделирования показывают, что количественная и качественная оценки разности сопротивлений участков имеют существенное значение при определении несущей способности участка сварного соединения с трещиноподобным дефектом.

Разность сопротивлений нетто-сечения участка сварного соединения с дефектом показана по результатам расчета математической модели и подтверждена результатами проведенного эксперимента, а также поверочным численным моделированием.

Следует отметить, в первую очередь, качественную корреляцию значений предельного напряжения в нетто-сечении в математической модели и по результатам эксперимента.

Такая корреляция говорит об адекватности модели и позволяет экстраполировать приведенную усовершенствованную методику на другие сочетания параметров дефектов и параметров зон механической неоднородности.

Полученные значения предельных напряжений в нетто-сечении могут быть интегрированы в существующие методики по определению прочности и долговечности участков сварных соединений с дефектами.

Для трещиноподобных дефектов определенные напряжения в нетто-сечении позволяют ввести дополнительный этап уточнения упругопластического коэффициента концентрации напряжений в зависимости от влияния зон механической неоднородности сварного соединения.

Выводы

1. Проведен анализ методов оценки прочности сварных соединений магистральных трубопроводов из низколегированной стали, показавший, что при оценке несущей способности не производится учет взаимного влияния зон механической неоднородности. Выделены факторы, влияющие на напряженно-деформированное состояние сварного соединения. Важными факторами для реальных сварных конструкций магистральных трубопроводов являются механическая неоднородность сварных соединений и остаточные сварочные напряжения.

2. Проведена оценка механической неоднородности кольцевого сварного соединения магистрального трубопровода. Определена топография зон механической неоднородности, показавшая отличие от классических типовых расчетных схем. Отличие реальных форм механической неоднородности от схематизированных оказывает влияние на величину коэффициентов контактного упрочнения. Предложен условный коэффициент двухосности нагружения, который позволит учитывать криволинейную форму контактной границы при получении уточненного коэффициента контактного упрочнения.

3. Решена аналитическим и численными методами задача учета влияния механической неоднородности на прочность участка сварного соединения с поверхностным трещиноподобным дефектом. Получены и экспериментально подтверждены коэффициенты упрочнения для разных случаев расположения поверхностного трещиноподобного дефекта. Определено существенное влияние расположения трещиноподобного дефекта относительно зон механической неоднородности. При этом наиболее опасным местом расположения является линия контакта более прочной и менее прочной зон механической неоднородности (разница по несущей способности достигает 10 %).

Список источников

1. Неганов Д.А., Махутов Н.А., Зорин Н.Е. Формирование требований к надежности и безопасности эксплуатируемых участков линейной части магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов // Нефтяное хозяйство. 2019. № 6. С. 106-112. DOI: 10.24887/0028-2448-2019-6-106-112.
2. Неганов Д.А., Зорин Е.Е., Зорин Н.Е. Оценка влияния поверхностных трещиноподобных концентраторов напряжений на работоспособность магистральных трубопроводов // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2021. Т. 11. № 1. С. 8-15. DOI: 10.28999/2541-9595-2021-11-1-8-15.
3. Тигулев Е.А., Ямилев М.З. Факторы, влияющие на формирование сложной топографии механической неоднородности в сварных соединениях углеродистых и низколегированных сталей // Трубопроводный транспорт - 2020: матер. XV международ. учеб. науч.-практ. конф. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2020. С. 203-205.
4. Ямилев М.З., Тигулев Е.А., Юшин А.А., Распопов А.А., Кантемиров И.Ф. Оценка механической неоднородности сварных соединений трубопроводов // Нефтяное хозяйство. 2020. № 11. С. 128-131. DOI: 10.24887/0028-2448-2020-11-128-131.
5. Ямилев М.З., Тигулев Е.А., Распопов А.А. Оценка степени контактного упрочнения сварных соединений трубных сталей // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2020. Т. 10. № 3. С. 252-262. DOI: 10.28999/2541-9595-2020-10-3-252-262.
6. Бакши О.А. Механическая неоднородность сварных соединений: В 2 Ч. Челябинск: ЧПИ, 1981. Ч. 1. 57 с.
7. Винокуров В.А., Куркин С.А., Николаев Г.А. Сварные конструкции. Механика разрушения и критерии работоспособности / Под ред. Б.Е. Патона. М.: Машиностроение, 1996. 576 с.
8. Тигулев Е.А., Кантемиров И.Ф., Распопов А.А., Ямилев М.З. Исследование напряженного состояния механически неоднородных сварных соединений магистральных трубопроводов с поверхностным трещиноподобным дефектом // Нефтяное хозяйство. 2021. № 5. С. 122-126. DOI: 10.24887/0028-2448-2021-5-122-126.
9. Дильман В.Л. Исследование аналитическими методами математических моделей напряженного состояния тонкостенных неоднородных цилиндрических оболочек // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование. 2009. № 17 (150). С. 36-58.
10. Распопов А.А., Ерофеев В.В., Шахматов М.В. О некоторых особенностях использования метода линий скольжения (применительно к задачам двухосного нагружения) // Проблемы прочности. 1990. № 3. С. 63-68.

References

1. Neganov D.A., Makhutov N.A., Zorin N.E. Formirovaniye trebovaniy k nadezhnosti i bezopasnosti ekspluatiruemykh uchastkov lineinoi chasti magistral'nykh nefteprovodov i nefteproduktoprovodov [Formation of Requirements to Reliability and Security of the Exploited Sections of the Linear Part of Trunk Pipelines Transportation of Oil and Oil Products]. *Neftyanoe khozyaistvo - Oil Industry*, 2019, No. 6, pp. 106-112. DOI: 10.24887/0028-2448-2019-6-106-112. [in Russian].
2. Neganov D.A., Zorin E.E., Zorin N.E. Otsenka vliyaniya poverkhnostnykh treshchinopodobnykh kontsentratorov napryazhenii na rabotosposobnost' magistral'nykh truboprovodov [Assessment of Influence of Surface Crack-Like Stress Concentrators on Main Pipeline Operability]. *Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefii i nefteproduktov - Science and Technologies: Oil and Oil Products Pipeline Transportation*, 2021, Vol. 11, No. 1, pp. 8-15. DOI: 10.28999/2541-9595-2021-11-1-8-15. [in Russian].
3. Tigulev E.A., Yamilev M.Z. Faktory, vliyayushchie na formirovaniye slozhnoi topografii mekhanicheskoi neodnorodnosti v svarnykh soedineniyakh uglerodistykh i nizkolegировannykh staley [Factors Influencing the Formation of Complex Topography of Mechanical Heterogeneity in Welded Joints of Carbon and Low-Alloy Steels]. *Materialy XV Mezhdunarodnoi uchebnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Truboprovodnyi transport - 2020»* [Materials of the XV International Educational Scientific and Practical Conference «Pipeline Transport - 2020»]. Ufa, UGNTU Publ., 2020, pp. 203-205. [in Russian].
4. Yamilev M.Z., Tigulev E.A., Yushin A.A., Raspopov A.A., Kantemirov I.F. Otsenka mekhanicheskoi neodnorodnosti svarnykh soedinenii truboprovodov [Evaluating Mechanical Heterogeneity of Pipelines Welded Joints]. *Neftyanoe khozyaistvo - Oil Industry*, 2020, No. 11, pp. 128-131. DOI: 10.24887/0028-2448-2020-11-128-131. [in Russian].
5. Yamilev M.Z., Tigulev E.A., Raspopov A.A. Otsenka stepeni kontaktnogo uprochneniya svarnykh soedinenii trubnykh staley [The Assessment of the Level of Local Strengthening of Pipe Steel Welded Connections]. *Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefii i nefteproduktov - Science and Technologies: Oil and Oil Products Pipeline Transportation*, 2020, Vol. 10, No. 3, pp. 252-262. DOI: 10.28999/2541-9595-2020-10-3-252-262. [in Russian].
6. Bakshi O.A. *Mekhanicheskaya neodnorodnost' svarnykh soedinenii: V 2 Ch.* [Mechanical Heterogeneity of Welded Joints: In 2 Parts]. Chelyabinsk, ChPI Publ., 1981. Part 1. 57 p. [in Russian].
7. Vinokurov V.A., Kurkin S.A., Nikolaev G.A. *Svarnye konstruksii. Mekhanika razrusheniya i kriterii rabotosposobnosti* [Welded Structures. Fracture Mechanics and Performance Criteria]. Ed. by B.E. Patona. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1996. 576 p. [in Russian].

8. Tigulev E.A., Kantemirov I.F., Raspopov A.A., Yamilev M.Z. Issledovanie napryazhennogo sostoyaniya mekhanicheski neodnorodnykh svarnykh soedinenii magistral'nykh truboprovodov s poverkhnostnym treshchinopodobnym defektom [The Stress State Study of Mechanically Inhomogeneous Welded Joints of Trunk Pipelines with a Surface Crack-Like Defect]. *Neftyanoe khozyaistvo - Oil Industry*, 2021, No. 5, pp. 122-126. DOI: 10.24887/0028-2448-2021-5-122-126. [in Russian].

9. Dilman V.L. Issledovanie analiticheskimi metodami matematicheskikh modelei napryazhennogo sostoyaniya tonkostennykh neodnorodnykh tsilindricheskikh obolochek [Research of the Mathematical Models of the Stress Condition of the Thin-Walled Heterogeneous Cylindrical Shells Based on Analytical Methods]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Matematicheskoe modelirovanie i programmirovaniye - Bulletin of the South Ural State University. Series: Mathematical Modelling, Programming and Computer Software*, 2009, No. 17 (150), pp. 36-58. [in Russian].

10. Raspopov A.A., Erofeev V.V., Shakhmatov M.V. O nekotorykh osobennostyakh ispol'zovaniya metoda linii skol'zheniya (primeritel'no k zadacham dvukhosnogo nagruzheniya) [Some Characteristic Features of the Method of Slip Lines (as Applies to Biaxial-Loading Problems)]. *Problemy prochnosti - Strength of Materials*, 1990, No. 3, pp. 63-68. [in Russian].

Информация об авторах

• Тигулев Егор Александрович
Научно-технический центр трубопроводного транспорта НИИ Транснефть
Ведущий специалист
Россия, 450055, Уфа, пр. Октября, 144/3;
Уфимский государственный нефтяной технический университет
Ассистент кафедры «Сооружение и ремонт газонефтепроводов и газонефтехранилищ»
Россия, 450064, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 8/3, корпус 2
e-mail: TigulevEA@niitnn.transneft.ru

• Кантемиров Игорь Финсурович, д-р техн. наук
Уфимский государственный нефтяной технический университет
Заведующий кафедрой «Сооружение и ремонт газонефтепроводов и газонефтехранилищ»
Россия, 450064, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 8/3, корпус 2
e-mail: st@rusoil.net

Information about the authors

• Tigulev Egor A.
Scientific and Technical Center, Transneft R&D
Leading Specialist
144/3, Oktyabrya ave., Ufa, 450055, Russia;
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant of Construction And Repair Of Gas & Oil
Pipelines and Storage Facilities Department
8/3, Kosmonavtov str., Ufa, 450064, Russia
e-mail: TigulevEA@niitnn.transneft.ru

• Kantemirov Igor F., Doctor of Engineering
Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Head of of Construction And Repair Of Gas & Oil
Pipelines and Storage Facilities Department
8/3, Kosmonavtov str., Ufa, 450064, Russia
e-mail: st@rusoil.net

Статья поступила в редакцию 21.08.2021; одобрена после рецензирования 28.08.2021; принята к публикации 01.09.2021.

The article was submitted 21.08.2021; approved after reviewing 28.08.2021; accepted for publication 01.09.2021.