

ФРАКТОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ГАЗОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Нарине Виликовна Пирумян¹, Мигран Григорьевич Стакян^{2*}, Ангин Викторевна Мартиросян¹

¹Национальный университет архитектуры и строительства Армении, г. Ереван, РА

²Национальный политехнический университет Армении, г. Ереван, РА

*stakyan.mihran@yandex.ru

Рассмотрено изменение напряженного состояния в магистральных газопроводах в зоне стыковых сварных швов кромок труб, являющейся наиболее напряжённым элементом трубопроводов. Дана классификация нагрузок, действующих на сварной шов от основных воздействующих факторов. Указано, что в тонкостенных трубах, в основном, действует плоское напряженное состояние и в качестве расчетного выбрано напряжение, действующее нормально к окружному сварному шву. Представлены особенности протекания усталостных процессов в указанных элементах конструкций в зависимости от уровня напряжений и отмечены зоны с различным градиентом разрушения. Показано, что в стенках надземных трубопроводов возникает односторонний циклический изгиб с нестационарным режимом нагружения, который и предопределяет характер и интенсивность процесса возникновения и развития усталостных трещин, а также форму и геометрические параметры усталостного долома в виде эллипса. Учитывая непрерывный рост усталостных повреждений во всем интервале коррозионной усталости ($N = 10^3 \dots 10^8$ циклов долговечности), для уточнения расчетных процедур предложен двухэтапный ход корректировки параметров: определение максимального эквивалентного напряжения $\sigma_{\max \text{э}}$, применяя теорию прочности Мизеса, и расчет эквивалентной долговечности $N_{\text{э}}$ по принципу линейного суммирования относительных усталостных повреждений. В результате получены предельные эквивалентные значения напряжения σ_{R_9} и циклической долговечности N_{R_9} для достоверной оценки срока службы трубопровода.

Ключевые слова: газотранспортная система, магистральный трубопровод, сварной шов трубы, нагрузки трубопровода, коррозионная усталость, кинетика трещин, зона долома

Предисловие

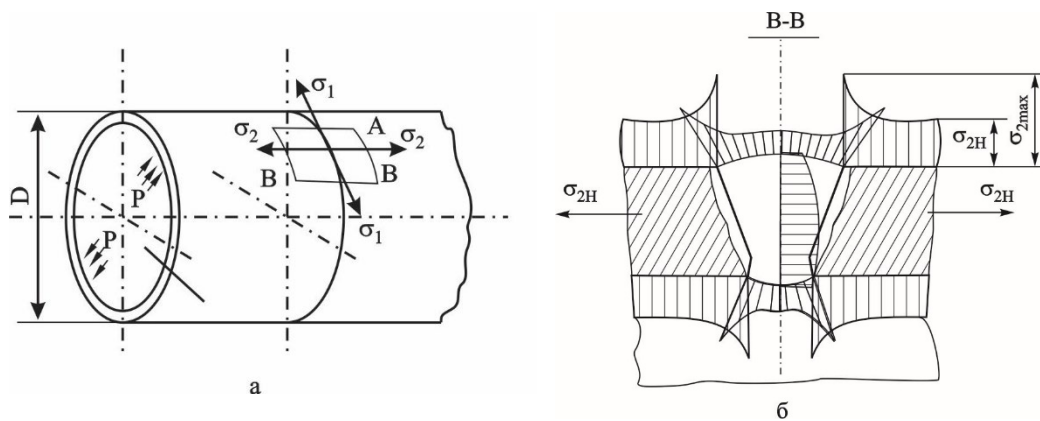
Повышение спроса и потребности природного газа, как одного из основных видов источника энергии, выдвигает требования поиска новых месторождений газа и расширения инфраструктур газотранспортных систем (ГТС) для обеспечения возрастающих объемов производства в промышленности и сельском хозяйстве, а также потребностей в социальной сфере. Применительно к магистральным трубопроводам ГТС указанные потребности носят межрегиональный характер, предлагающие при прокладке и расширении сетей ГТС обеспечить их заданную производительность, несущую способность элементов конструкции и высокую эксплуатационную надежность всей системы. Это диктует необходимость помимо обновления парка оборудования, реализации регулярной технической диагностики указанных средств, имеющих остаточный или полностью исчерпанный ресурс работы, с

целью оценки их работоспособности и своевременного выполнения необходимых ремонтных работ. Так как отказы конструкций имеют место при работе с частыми перегрузками и наложением различных факторов (воздействие атмосферы, коррозионных сред, тепловых и частотных полей и др.), они в основном носят усталостный характер (до 75% из общего числа отказов), поэтому важное значение приобретают изучение проблемы трещиностойкости конструкций и достоверная оценка причин их разрушения. В этой области известны труды по проблемам теоретической и прикладной механики разрушения [1-3], результаты которых применяются в расчетах на прочность и трещиностойкость. Дальнейшим развитием этого направления стало создание научно-практического раздела механики разрушения – фрактографии деталей машин, для чего были разработаны соответствующие справочники и атласы фрактограмм [4].

На основе комплексного учета режимов работы ГТС целью данного исследования является разработка оптимальных расчетных схем, обеспечивающих высокую несущую способность трубопроводов при экономичности их конструкций и техн. обслуживания. Для этого необходимо решать следующие задачи: классифицировать дефекты, воздействующие факторы и напряженное состояние в стенках труб; с учетом нестационарного нагружения в расчетах перейти к эквивалентным напряжениям и долговечностям; формировать расчетные схемы для оценки трещиностойкости и коррозионно-усталостной прочности в сварных швах трубопроводов.

Материалы и методы

В магистральных трубопроводах ГТС, в основном, применяются стыковые сварные швы (рис. 1а), которые из всех других видов являются наиболее технологичными, вызывающими сравнительно низкую концентрацию напряжений, а при выполнении термомеханических и упрочняющих технологий в зоне швов становятся равнопрочными с основным материалом конструкции [5].



*Рис. 1. Распределение напряжений в зоне стыкового сварного шва:
а - стык шва, б - эпюры напряжений в сечении В-В*

Видеоанализ и классификация случаев повреждений свидетельствуют о наличии и проявлении основного вида повреждения - коррозионно-усталостного. Фрактографические исследования указанных повреждений подтверждают кинетику возникновения и развития усталостных трещин от переменного и комплексного характера воздействия повреждающих факторов, действие которых суммируясь, формируют нестационарный режим нагружения по асимметричному циклу нормальных напряжений. Ранее доказано [6, 7], что наиболее напряженным участком в трубопроводах является переходная зона

стыкового сварного шва к основному металлу труб от концентрации напряжений и суммарного воздействия следующих факторов (рис. 2):

- *колебания давления в трубе, p* - является основным фактором, создающим переменное напряженное состояние в стенах труб от неравномерного отбора газа потребителями, периодическими остановками его подачи при проведении технических осмотров и экспертиз, а также при выполнении ремонтно-восстановительных работ в сети;
- *изменение весовой нагрузки системы, G* - происходит при установке или демонтаже дополнительных узлов и элементов конструкции;
- *солнечное излучение и температурное воздействие, F_t* - обусловлено изменениями атмосферных, погодных и временных (суточных, сезонных) условий;
- *вибрационные нагрузки, F_b* - возникают при вибрирующем потоке газа и внешними вибрационными явлениями в зоне трубопровода;
- *геодезические нагрузки, F_r* - колебания или смещение грунта природного (оползни, наводнения) или антропогенного характера (взрыв грунта, выполнение крупных земляных работ), а также при землетрясениях;
- *коррозионное воздействие окружающей среды* – от влажности, атмосферных осадков, промышленных выбросов активных газов и кислотных соединений в атмосферу, которые в сварных швах трубопроводов инициируют адсорбционные и электрохимические процессы трещинообразования.

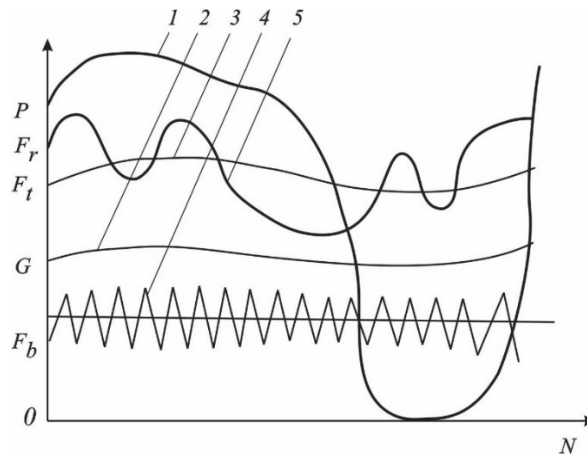


Рис. 2. Изменения нагрузок на стенках трубопроводов в зависимости от циклической долговечности N : 1 - давление газа; 2 - весовая нагрузка; 3 - температурное воздействие; 4 - нагрузка от вибрации системы; 5 - геодезическая нагрузка

Усталостные явления в конструкциях ГТС несколько отличаются от аналогичных процессов для машиностроительных и транспортных систем. В элементах ГТС циклы нагружения, как правило, протекают медленнее (3...5 цикл/мин), но срок их службы длительный – 25...30 лет, что, в среднем, составляет $5,5 \dots 6,2 \cdot 10^7$ циклов нагружения, а режим нагружения - нестационарный и круглосуточный при воздействиях атмосферы и коррозионных сред. В связи с этим указанный срок службы охватывает весь спектр усталостных явлений, который по характеру и интенсивности протекания коррозионно-усталостных процессов разделяется на три участка циклических долговечностей:

$N_1 \approx 1 \dots 2 \cdot 10^3$ циклов – малоциклового усталости; $N_2 \approx 2 \cdot 10^3 \dots 5 \cdot 10^6$ циклов – многоциклового усталости; $N_3 \approx 5 \cdot 10^6 \dots 10^8$ циклов – длительной усталости.

Под воздействием указанных факторов на участки надземных трубопроводов, расположенные между двумя опорами, действуют следующие компоненты переменных суммарных напряжений: от давления p – переменное плоское напряженное состояние в стенках труб ($\sigma_1 > \sigma_2, \sigma_3 = 0$); от температурных колебаний – переменные напряжения σ_i ; от весовой нагрузки, вибраций и геологических колебаний – переменные изгибные напряжения одностороннего действия. В сумме, они вызывают максимальные растягивающие циклические напряжения в нижнем сегменте поперечного сечения трубы и сжимающие циклические напряжения – в верхнем сегменте. Расчеты на циклическую прочность выполняются с применением напряжения σ_2 , перпендикулярно действующего на окружной сварной шов (сечение В-В элемента А, рис. 1б). Это и предопределяет характер и развитие усталостных повреждений в поперечном сечении труб.

Согласно [8]

$$\sigma_1 = pD/2\delta, \quad \sigma_2 = pD/4\delta, \quad \sigma_3 = 0, \quad (1)$$

где D и δ – соответственно, наружный диаметр и толщина стенки трубы.

Нестационарный режим нагружения зоны сварного шва труб формируется из одновременно действующих двух видов режима нагружения:

- 1) совместным действием нескольких видов напряжений, вызванных факторами при их различных числах воздействий и сочетаний;
- 2) вариацией напряжений от нестационарно действующих указанных факторов.

Подобное сложное напряженное состояние требует выполнения двух видов эквивалентных расчетов:

- определение максимальных эквивалентных напряжений $\sigma_{2\max\text{Э}}$, применяя энергетическую теорию прочности Мизеса

$$\sigma_3 = \sqrt{\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} = \frac{pD}{2,31\delta} = \sigma_{2H\text{Э}}, \quad (2)$$

где $\sigma_{2H\text{Э}} = 1,73\sigma_2$ – номинальное эквивалентное напряжение. С учетом концентрации напряжений в сварном шве можно записать, что $\overline{\sigma}_{2\max\text{Э}} = \sigma_{2H\text{Э}}K_{\text{сш}}$, где $K_{\text{сш}} = 1,3 \dots 1,9$ – коэффициент концентрации напряжений для стыковых швов, а $\sigma_{2\max\text{Э}}$ – максимальное эквивалентное напряжение;

- уточнение эквивалентного напряжения $\sigma_{2\max\text{Э}}$, применяя принцип линейного суммирования циклических повреждений при нестационарном режиме нагружения [9]:

$$\sum N_i / N_{iR} = a, \quad (3)$$

где N_i – число циклов нагружения при данном σ_i ; N_{iR} – циклическая долговечность при наступлении разрушения при том же σ_i , определяемая из уравнения кривой усталости сварного шва; a – сумма

относительных повреждений, которая в большинстве случаев (при отсутствии в спектре нагружения пиковых значений σ_i) принимается: $a = 1$.

Соотношение (3) позволяет нестационарный режим нагружения заменить эквивалентным стационарным режимом, используя в расчетах эквивалентное максимальное напряжение $\sigma_{2\max\text{э}}$ и циклическую долговечность $N_{\text{э}}$. Используя (3) и уравнение кривой усталости $\sigma^m N = \text{const}$, можно определить эквивалентные значения медианного предела выносливости $\bar{\sigma}_{R_3}$ и циклов долговечности $N_{\text{э}}$

$$\sum \sigma_i^m N_i = \bar{\sigma}_{R_3}^m N_{\text{э}} = \bar{\sigma}_R^m N_G = \text{const}, \quad \bar{\sigma}_{R_3} = \bar{\sigma}_R \sqrt[m]{N_G / N_{\text{э}}} = \bar{\sigma}_R K_N, \quad N_{\text{э}} = (\bar{\sigma}_R / \bar{\sigma}_{R_3})^m N_G, \quad (4)$$

где $K_N \geq 1$ – коэффициент долговечности; $N_G = (0,5 \dots 1,0) \cdot 10^7$ – базовое число циклов напряжений, соответствующее длительному пределу выносливости.

Кинетика развития трещин в стенах труб надземных газопроводов. Спектр действующих факторов и их одновременное воздействие на сварной шов при их различных сочетаниях весьма разнообразны, поэтому следует выбрать и исследовать то явление, которое чаще всех проявляется в указанных факторах и является основной причиной выхода из строя конструкции трубопроводов. Это – усталостный процесс в элементах ГТС, вызванный циклическостью компонентов напряжённого состояния в стенках труб и позволяющий комплексно учитывать характеристики несущей способности трубопроводов. В ранее выполненных исследованиях по данной проблеме, в основном, рассматривались вопросы обеспечения и повышения прочности элементов конструкций проектно-конструкторскими и технологическими способами [10-14]. Но с расширением ГТС и увеличением протяженности их сетей на первый план выдвинулось также условие обеспечения необходимой долговечности этих конструкций с целью сохранения установленного срока службы сети в целом, при минимальных затратах на техническое обслуживание, экспертизу и текущий ремонт повреждённых участков. Это предполагает, помимо обеспечения прочности конструкции, выполнить также расчетные процедуры для определения оптимального срока службы сети, который возможно реализовать при оценке трещиностойкости труб [15].

В расчетных процедурах с применением выражений (2) – (4) для оценки несущей способности конструкций при воздействии указанных повреждающих факторов, в традиционных расчетах принят принцип постоянства номинальных напряжений и геометрических параметров сечений труб в зоне сварки. При этом не учитываются изменения указанных величин, которые в процессе циклического нагружения и развития усталостных трещин непрерывно меняются, создавая плавно варьируемый нестационарный режим нагружения, из-за чего выполненные расчеты становятся условными, что очень важно для точного определения остаточного ресурса долговечности конструкции трубопровода при наличии повреждений. Это требует уточнения расчетов с учетом положений теорий трещиностойкости технических систем.

Фрактографический анализ и классификация вариантов развития усталостных трещин в стенках труб указывают влияние на них следующих основных параметров рассмотренных факторов: уровня максимальных суммарных растягивающих напряжений $\sigma_{p\max}$ и концентрации напряжений в зоне сварного шва $K_{\sigma ш}$. При этом поперечное сечение трубы под нагрузкой получает форму эллипса, а его

асимметричность e_i и размеры полуосей эллипса a_i, b_i , переменны и зависят от соотношений величин $\sigma_{p\max}$ и $K_{\sigma_{ш}}$. Согласно визуальным наблюдениям и измерениям, размер зоны усталостного долома формируется точками пересечения эллипса и нагруженного периметра трубы $A_i B_i$ (рис. 3). Связь между указанными параметрами и центральным углом α_i выражается многофункциональной зависимостью $\alpha = F(\sigma_{p\max}, K_{\sigma_{ш}}, e_i, a_i, b_i)$. При высоких значениях $\sigma_{p\max}$ и $K_{\sigma_{ш}}$ (рис. 3, г), соответствующих малоцикловой и верхнему интервалу ограниченной усталости, указанные параметры долома меняются в минимальной степени и площадь долома почти совпадает с поперечным сечением трубы. По мере перехода к низким уровням $\sigma_{p\max}, K_{\sigma_{ш}}$ (рис. 3, а, б), в интервале длительной усталости сварного шва асимметричность долома усиливается, а его площадь значительно увеличивается. В результате предварительно действующий режим нагружения плавно переходит к более резкому нестационарному нагружению, изменяя предельные параметры и условия обеспечения необходимого уровня несущей способности конструкции.

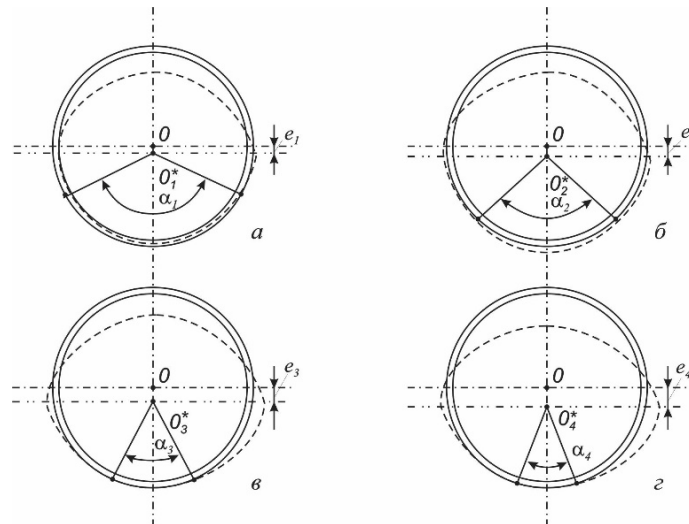


Рис. 3. Варианты расположения усталостного долома в поперечном сечении трубы: при низких уровнях $\sigma_{p\max} - K_{\sigma_{ш}} = 1,1 \dots 1,3$ (а), $K_{\sigma_{ш}} = 1,4 \dots 1,9$ (б); при высоких уровнях $\sigma_{p\max} - K_{\sigma_{ш}} = 1,1 \dots 1,3$ (в), $K_{\sigma_{ш}} = 1,4 \dots 1,9$ (г)

Заключение

В ранее выполненных исследованиях по данной методике основное внимание было уделено изучению напряженно-деформированного состояния более нагруженной зоны трубопровода (стыковые сварные швы труб) при стационарном режиме нагружения и получены функциональные зависимости для определения компонентов напряжений от геометрических параметров труб. Составлены также соответствующие вычислительные программы для реализации этих вычислений. Менее изучена кинетика развития повреждений и трещин в этих зонах и обеспечение их трещиностойкости при совместном действии нескольких повреждающих факторов при нестационарном режиме нагружения, которые в сумме значительно снижают несущую способность ГТС. В отличие от действующих расчетных процедур новый подход к оценке трещиностойкости конструкции трубопроводов охватывает весь интервал циклических напряжений и долговечностей для трех видов коррозионно-усталостных явлений (мало-, многоцикловая и длительная усталость) с учётом условий работы конструкций.

Предложенная количественная оценка влияния исследуемых процессов в значительной степени уточняет и расширяет возможности ранее действующей расчетной схемы, которая носит точечный характер и выполняет оценку работоспособного состояния конструкции только по прочности, при высоких значениях циклических напряжений. Это предполагает на основе системного анализа разработать новую математическую модель и получить многопараметрические функциональные зависимости параметров несущей способности от основных характеристик воздействующих факторов для использования этих зависимостей в проектно-конструкторских разработках ГТС. Учитывая значительный объем работ, намечается составление локальных вычислительных программ для определения оптимальных значений указанных параметров и их использование в проектных разработках, что является целью и продолжением данного исследования.

Список литературы

- [1] **Ю.Г. Матвиенко**, Модели и критерии механики разрушения. Физматлит, Москва, 2006, 328 с.
- [2] **И.Д. Ибатуллин**, Кинетика усталостной повреждаемости и разрушения поверхностных слоев, монография. Самарск. гос. техн. ун-т, Самара, 2008, 387 с.
- [3] **T. Lassen, A. Spagnoli**, Fatigue Crack Paths in Shafts Subjected to Bending and Torsion. In: Proc. of Crack Paths (CP 2006). Parma, Italy, 2006, pp. 35-42.
- [4] **Дж.А. Феллоуз**, Фрактография и атлас фрактограмм: справочник, пер. с англ. Е.А. Шура. Металлургия, Москва, 1982, 489 с.
- [5] **А.Ф. Дашенко, В.С. Кравчук, В.Д. Иоргачев**, Несущая способность упрочненных деталей машин. Астропринт, Одесса, 2004, 160 с.
- [6] **С.А. Куркин**, Прочность сварных тонкостенных сосудов, работающих под давлением. Машиностроение, Москва, 1986, 184 с.
- [7] **Н.В. Олейник, А.В. Вольчев, С.В. Бершак и др.**, Расчет деталей машин на коррозионную усталость. Техника, Киев, 1990, 150 с.
- [8] **И.А. Биргер, Б.Ф. Шор, Г.Б. Иосилевич**, Расчет на прочность деталей машин: справочник. Машиностроение, Москва, 1989, 702 с.
- [9] **В.П. Когаев**, Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. Машиностроение, Москва, 2003, 232 с.
- [10] **ГОСТ 25.С04-82**. Расчеты и испытания на прочность. Методы расчета характеристик сопротивления усталости. Изд-во стандартов, Москва, 1983, 82 с.
- [11] **В.П. Когаев, Н.А. Махутов, А.П. Гусенков**, Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность: справочник. Машиностроение, Москва, 1985, 224 с.
- [12] **Б.Н. Орлов**, Инновационные технологии обеспечения надежности рабочих элементов и оборудования. МГУПБ, Москва, 2013, 328 с.
- [13] **А.Т. Скойбеда, А.В. Кузьмин, Н.Н. Макейчик**, Детали машин и основы конструирования. Высш. шк., Минск, 2006, 560 с.
- [14] **П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов**, Конструирование узлов и деталей машин. Изд. Центр "Академия", Москва, 2008, 496 с.
- [15] **G.S. Chibukchyan, M.G. Stakyan, O.S. Chibukchyan**, Increasing the bearing capacity of structural elements of vehicles according to the criterion of corrosion strength. Problems of mechanical engineering and reliability 6 (2019) 91-98, doi: 10.1134/S0235711919060038.

ԳԱԶԱՏՐԱՆՍՊՈՐՏԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՑԻԱՆԵՐԻ ԾԱՆՐԱԲԵՈՒՎԱԾ
ՏԱՐՐԵՐԻ ԿՈՏՐՎԱԾՔԱԲԱՆԱԿԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ

Նարինե Վիլիկի Փիրույան¹, Միհրան Գրիգորի Ստակյան²,

Անգին Վիկտորի Մարտիրոսյան¹

¹Ճարտարապետության և շինարարության Հայաստանի ազգային համալսարան, ք. Երևան, ՀՀ

²Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան, ք. Երևան, ՀՀ

*stakyan.mihran@yandex.ru

Դիտարկված է լարվածային վիճակի փոփոխությունը մայրուղային գազատարերի խողովակների եզրային եռակցված կարերի գոտում, որը խողովակաշարերի առավել լարված տարրն է: Տրված է բեռնվածքների դասակարգումը եռակցված կարերի վրա ազդող հիմնական գործոններից: Նշված է, որ բարակապատ խողովակներում հիմնականում գործում է հարթ լարվածային վիճակը և որպես հաշվարկային ընտրված է եռակցված կարի շրջագծով ազդող նորմալ լարումը: Ներկայացված են կոնստրուկցիայի նշված տարրերում ընթացող հոգնածային երևույթների առանձնահատկությունները և նշված են քայքայման տարբեր գրադիենտներով օժտված գոտիները: Ցույց է տրված, որ վերգետնյա խողովակաշարերի պատերում առաջանում է միակողմ ճիկլային ծռում բեռնվածքի անկայուն ռեժիմով, որը և կանխորոշում է հոգնածային ճաքերի առաջացման և զարգացման բնույթը, ուժգնությունը և ինչպես նաև էլիպսի տեսքով հոգնածային վերջնակոտրվածքի ձևը և երկրաչափական պարամետրերը: Հաշվի առնելով կոռոզիոն հոգնածային ողջ տիրույթում ($N = 10^3 \dots 10^8$ երկարակեցության ճիկլեր) հոգնածային վնասվածքների անընդհատ աճը՝ հաշվարկային ընթացակարգերի ճշգրտման նպատակով առաջադրված է պարամետրերի ուղղման երկփուլ ընթացք՝ σ_{\max} առավելագույն էկվիվալենտ լարումների որոշումը Միգեսի ամրության տեսության և N_{σ} էկվիվալենտ երկարակեցության հաշվարկը հարաբերական հոգնածային վնասվածքների գծային գումարման սկզբունքի կիրառմամբ: Արդյունքում ստացվում են սահմանային էկվիվալենտ $\sigma_{R_{\sigma}}$ լարման և $N_{R_{\sigma}}$ ճիկլային երկարակեցության արժեքները՝ խողովակաշարերի ծառայության ժամկետը հավաստի գնահատելու համար:

Բանալի բառեր. գազատրանսպորտային համակարգ, մայրուղային խողովակաշար, խողովակի եռակցման կար, խողովակաշարի բեռնվածքներ, կոռոզիոն հոգնածություն, ճաքերի կինետիկա, վերջնակոտրվածքի գոտի

FRACTOLOGICAL ANALYSIS OF HEAVILY LOADED ELEMENTS OF GAS TRANSMISSION SYSTEMS STRUCTURE

Narine Pirumyan¹, Mihran Stakyan^{2*}, Angin Martirosyan¹

¹National University of Architecture and Construction of Armenia, Yerevan, RA

²National Polytechnic University of Armenia, Yerevan, RA

*stakyan.mihran@yandex.ru

The stress state change in the main gas pipelines in the zone of butt welds of pipe edges, which is the most stressed element of pipelines, is considered. The classification of loads, acting on the weld due to the main influencing factors, is given. It is specified that in thin-walled pipes, a plane stress state mainly acts and the tension acting normally to the circumferential weld is selected as the calculated one. The features of fatigue processes development in these structural elements are presented, depending on the stress level, and zones with different fracture gradients are marked. It is shown that a one-sided cyclic bending occurs in the walls of above ground pipelines with a non-stationary loading mode, which determines the nature and intensity of the process of occurrence and development of fatigue cracks, as well as the shape and geometric parameters of the fatigue ellipse form break. Taking into account the continuous growth of fatigue damage in the entire range of corrosion fatigue ($N = 10^3 \dots 10^8$ durability cycles), a two-stage parameter adjustment is proposed to clarify the calculation procedures: determination of the maximum equivalent stress $\sigma_{\max e}$ by using the Mises strength theory, and equivalent durability N_e calculation based on the principle of linear summation of relative fatigue damage. As a result, the maximum equivalent values of voltage σ_{Re} and N_{Re} cyclic durability are obtained in order to reliably estimate the service life of the pipeline.

Keywords: gas transmission system, main pipeline, pipe weld, pipeline loads, corrosion fatigue, crack kinetics, break zone

Փիրումյան Նարինե Վիլիկի, տ.գ.թ. (ՀՀ, ք. Երևան) - ՃՇՀԱՀ, տ.գ.ա., (+374)77700901,

pirumyan@gmail.com, **Ստակյան Միհրան Գրիգորի, տ.գ.դ., պրոֆեսոր** (ՀՀ, ք. Երևան) - ՀԱՊՀ,

(+374)10554362, (+374)33554560, stakyan.mihran@yandex.ru, **Մարտիրոսյան Անգին Վիկտորի, տ.գ.թ.,**

դոցենտ (ՀՀ, ք. Երևան) - ՃՇՀԱՀ, (+374)94762396, angin84@mail.ru

Пирумян Нарине Виликовна, к.т.н. (РА, г. Ереван) – НУАСА, с.н.с, (+374)77700901, pirumyan@gmail.com,

Стакян Мигран Григорьевич, д.т.н., профессор (РА, г. Ереван) - НПВА, (+374)10554362, (+374)33554560,

stakyan.mihran@yandex.ru, **Мартиросян Ангин Викторовна, к.т.н., доцент** (РА, г. Ереван) - НУАСА,

(+374)94762396, angin84@mail.ru

Pirumyan Narine, doctor of philosopher (Ph.D) in Engineering (RA, Yerevan) - NUACA, sen. sc. res.,

(+374)77700901, pirumyan@gmail.com, **Stakyan Mihran, Doctor of Sciences (Engineering), Professor** (RA,

Yerevan) - NPUA, (+374)10554362, (+374)33554560, stakyan.mihran@yandex.ru, **Martirosyan Angin, doctor of**

philosopher (Ph.D) in Engineering, Associate Professor (RA, Yerevan) - NUACA, (+374)94762396,

angin84@mail.ru

Ներկայացվել է՝ 04.01.2023թ.

Գրախոսվել է՝ 19.01.2023թ.

Ընդունվել է տպագրության՝ 20.04.2023թ.