

УДК 622.691.4

Л. Побережний, докт. техн. наук; Т. Пиріг;
А. Станецький; Ю. Мойсюк

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ВПЛИВ НАВАНТАЖЕНЬ У ПРОЦЕСІ УКЛАДАННЯ НА РЕСУРС РОБОТИ МОРСЬКИХ НАФТОГАЗОПРОВОДІВ

Резюме. Розроблено та експериментально перевірено метод оцінювання впливу передексплуатаційних навантажень протягом владання на втомну довговічність та ресурс безпечної експлуатації морських нафтогазопроводів. За результатами проведених досліджень за розробленою методикою дослідження трубної сталі 09Г2С запропоновано метод інженерного оцінювання циклічної довговічності трубопровідних систем. Виявлено основні закономірності зміни фізико-механічних характеристик матеріалу, розвитку у ньому пошкодженості за циклічного напруження, що найбільше проявляється у середовищі (морській воді), встановлено характеристики циклічної міцності сталей та зварних з'єднань трубопровідної сталі. Отримано рівняння циклічної довговічності та ресурсу безпечної експлуатації, які дозволяють розраховувати коефіцієнти, урахування впливу механічних напружень у процесі укладання та агресивності корозивного середовища (морської води) на довговічність основного металу та зварного з'єднання трубопроводу протягом напруження.

Ключові слова: передексплуатаційне навантаження, втомна довговічність, ресурс безпечної експлуатації, відносний ресурс безпечної експлуатації, морські трубопроводи.

L. Poberezhny, T. Pyrig, A. Stanecky, Yu. Mojsyuk

METHOD OF EVALUATING THE LOADING EFFECT ON THE OPERATION LIFE OF MARINE OIL AND GAS PIPELINES WHILE STRINGING

Summary. While stringing the marine pipelines various methods are used, each of which has its advantages and disadvantages. However, in the world the two most widely used methods of stringing pipelines are: S-method is limited by the depth of the top, and J-method, the use of which, however, is limited by the minimum allowable depth. Safe operation of the pipeline during the project time is largely determined by the history of dynamic and static loads it is subject to while stringing and during its lifetime in order to predict the trouble-free operation of the pipeline and to take into account the deformation effects caused by the change of the stress-strain state of the pipeline during construction, that depends on how it is stringed.

The method of evaluating the effect of preoperational loading while stringing on the fatigue life and safe operation of marine oil and gas pipeline was developed and experimentally tested. The analysed method was used for the study of pipe steel 09G2S properties. The method of engineering evaluation of the cyclic durability of pipe systems was proposed.

Main regularities of the material physical-mechanical properties, development of fracture in it under cyclic operating, which is the most sufficient in the environment (sear water), have been found. The characteristics of the steels and wildings cyclic strength of the pipe steel were determined.

The equation of cyclic durability and safe operation life was obtained, which makes possible to calculate coefficient, to take into account the effect of mechanical loadings while stringing and aggressive corrosion environment (ser water) on the durability of the main metal and welding of the pipeline while operating.

The safe operation life of the marine pipelines has been interpreted. Necessity to take into account the effect of the preoperational loadings on the operation life and residual durability of the marine pipelines with undamaged and damaged insulation covering, has been proved.

Key words: *preoperational load, fatigue life, resource of safe operation, relative resource of safe operation, marine pipelines.*

Вступ. На сьогодні для України дуже гостро стоїть питання енергетичної безпеки внаслідок тотальної залежності від імпорتنих поставок енергоносіїв. Як наслідок, виникає необхідність не лише в розробленні диверсифікаційних програм постачання вуглеводнів, але й у збільшенні їхнього видобутку, в першу чергу, на шельфах Чорного та Азовського морів.

З метою інтенсифікації розроблення морського шельфу компанією «Чорноморнафтогаз» було придбано дві сучасні самопідйомні плавучі бурові установки (СПБУ), які стануть найбільш високотехнологічними та глибоководними установками на Чорному морі. Їхнє використання дасть можливість працювати на мілководному шельфі глибиною до 120 м і бурити свердловини до 9000 м.

За рахунок використання двох нових СПБУ «Чорноморнафтогаз» до 2015 року планує освоїти сім нових і провести дооблаштування двох діючих родовищ, що має стати основою для виконання плану з триразового збільшення річного видобутку природного газу – з 1,17 млрд. м³ в 2012 році до 3 млрд. кубометрів м³ у 2015 році.

Таким чином, нові СПБУ дозволять розробляти найбільш вивчені мілководні ділянки шельфу Чорного і Азовського морів (до 120 метрів). Однак згідно з геологічними даними значні запаси вуглеводнів Чорноморського басейну зосереджені на середніх маловивчених глибинах моря від 120 до 1000 метрів. За оцінкою Державної геологічної служби запаси вуглеводнів на українському шельфі становлять понад 2 млрд. тонн умовного палива, при цьому понад дві третини – у його глибоководній частині.

Тому для освоєння глибоководного шельфу Чорного моря НАК «Нафтогаз України» збирається придбати дві напівзаглибні плавучі бурові установки (НЗПБУ). Вони дозволять проводити пошуково-розвідувальні роботи та експлуатаційне буріння свердловин на глибинах моря до 1000 м при глибині буріння 9000 м.

Таким чином, розроблення та освоєння нових родовищ вуглеводнів вимагатиме будівництва нових морських трубопроводів для подачі видобутого газу в газотранспортну систему.

Постановка проблеми. При будівництві морських трубопроводів застосовують різні способи їх укладання, кожен з яких має свої переваги та недоліки. Проте у світовій практиці найбільшого поширення набули два способи укладання морських трубопроводів: S-метод, який має обмеження по глибині згори, і J-метод, використання якого, навпаки, лімітовано мінімально допустимою глибиною [1]. Тому на практиці доводиться застосовувати поєднання двох технологій, а саме, проводити будівництво прибережних мілководних ділянок за допомогою суден, що реалізують S-метод (рис. 1), а укладання трубопроводу на більш глибоководних ділянках моря продовжувати J-методом. Обидва способи укладання отримали свою назву від форми викривленої ділянки трубопроводу між кормою баржі-трубоукладача і морським дном. У літературі знаходимо різнопланові методики статичного та динамічного розрахунку

укладання трубопроводів [2 – 4], в яких, однак, недостатньо відображений факт еволюції S та J-подібних ділянок та пов'язане з цим зменшення ресурсу пластичності й нагромадження дефектності в об'ємі металу.

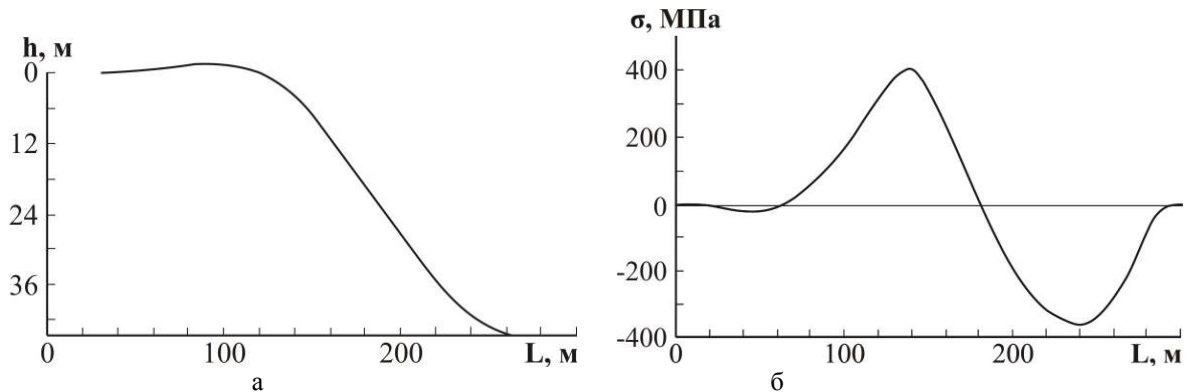


Рисунок 1. Конфігурація зігнутої осі (а) та розподіл згинальних напружень (б) у трубопроводі діаметром 529 мм [5]

Figure 1. Configuration of curved axis (a) and distribution of bending stresses (b) in the pipe diameter 529 mm [5] diameter pipe

Оскільки безвідмовна робота трубопроводу протягом проектного терміну експлуатації значною мірою визначається історією динамічних і статичних навантажень, які він зазнає в процесі укладання та протягом свого терміну служби, для точнішого прогнозування ресурсу безаварійної роботи трубопроводу необхідно враховувати деформаційні ефекти, викликані зміною напружено-деформованого стану трубопроводу в процесі будівництва, який залежить від способу його прокладання [6].

При збільшенні глибини укладання та діаметра трубопроводу, а також у разі сильної поперечної течії і значного хвилювання істотно підвищується складність інженерних завдань [7], зокрема, в частині правильного урахування в розрахункових схемах умов і технології укладання та при визначенні напружено-деформованого стану.

Мета роботи – було розроблення методики оцінювання впливу передексплуатаційних навантажень у процесі укладання на втомну довговічність та ресурс безпечної експлуатації морських нафтогазопроводів.

Методика дослідження. Для вивчення поведінки матеріалу трубопроводу в циклі укладання та в області низькочастотної (0,8 Гц) втоми й корозійної втоми використовували циліндричні довгі ($l_p/d=10$) для основного металу та короткі ($l_p/d=4$) для зварного шва зразки-моделі з довжиною робочої частини, виготовлені із заготовок, вирізаних зі стінки труби (l_p, d – довжина та діаметр робочої частини зразка відповідно). Об'єктом досліджень вибрано безшовні гарячедеформовані труби з низьколегованої сталі 09Г2С діаметром 426 мм із товщиною стінки 16 мм, які широко використовуються при спорудженні морських трубопроводів [7].

Втомні випробування на повітрі та корозійно-втомні випробування в середовищі морської води проводили за схемою навантаження чистим згином за розробленою раніше методикою [8].

Втомним випробуванням передувало моделювання процесу укладання трубопроводу S та J-методами з метою виявлення впливу попереднього квазістатичного навантаження в циклі укладання на деформаційну поведінку матеріалу трубопроводу в

процесі експлуатації. Імітацію процесу укладання трубопроводу S та J-методами проводили на зразках-моделях шляхом ступінчастого навантаження. При збільшенні чи зменшенні навантаження на один ступінь номінальні напруження змінювалися на величину $\Delta\sigma = 20$ МПа. Час витримки на кожному ступені t розраховували залежно від рівня номінальних напружень та способу укладання з урахуванням того, що довжина укладання за цикл навантаження трубопроводу приймали рівною $L=300$ м [5], а швидкість укладання $V=3$ км/доб [2].

Моделювання процесу укладання трубопроводу S-методом відбувалося шляхом одноциклового знакозмінного навантаження зразків, яке на діаграмі згину призводить до утворення петлі механічного гістерезису [9], яка складається з двох півциклів. Моделюванню процесу укладання трубопроводу J-методом відповідав перший півцикл навантаження, якому піддавались зразки при моделюванні його процесу укладання S-методом.

Передексплуатаційне навантаження (переднавантаження) проводили винятково у середовищі повітря. Пошкодженням ізоляційного покриття в циклі укладання нехтували. Після проведення моделювання переднавантаження зразок витримували розвантаженим не менше 12 годин для максимальної релаксації напружень.

Для оцінювання довговічності матеріалів та конструкцій найчастіше використовують ділянки кривих втоми (рис. 2а, крива 2) та корозійної втоми (рис. 2б, крива 2) в напівлогарифмічних координатах. При цьому ділянка кривої корозійної втоми знаходиться лівіше ділянки втоми на повітрі. Точка перетину цих ділянок лежить на границі між областями циклічної повзучості та втомного зламу. Якщо крива втоми характеризується виходом на горизонтальну ділянку, якій відповідає границя витривалості σ_R , після досягнення певного числа циклів навантаження N_R , то крива корозійної втоми в міру збільшення числа циклів навантаження безперервно спадає і характеризується наявністю умовної границі витривалості $\sigma_{R\text{кор}}$ при заданій базі випробувань $N_{R\text{кор}}$.

Для врахування впливу переднавантаження на довговічність сталі трубопроводу необхідно доповнити дану інформацію відповідними результатами для переднавантаженого матеріалу (рис. 2а, б, криві 1).

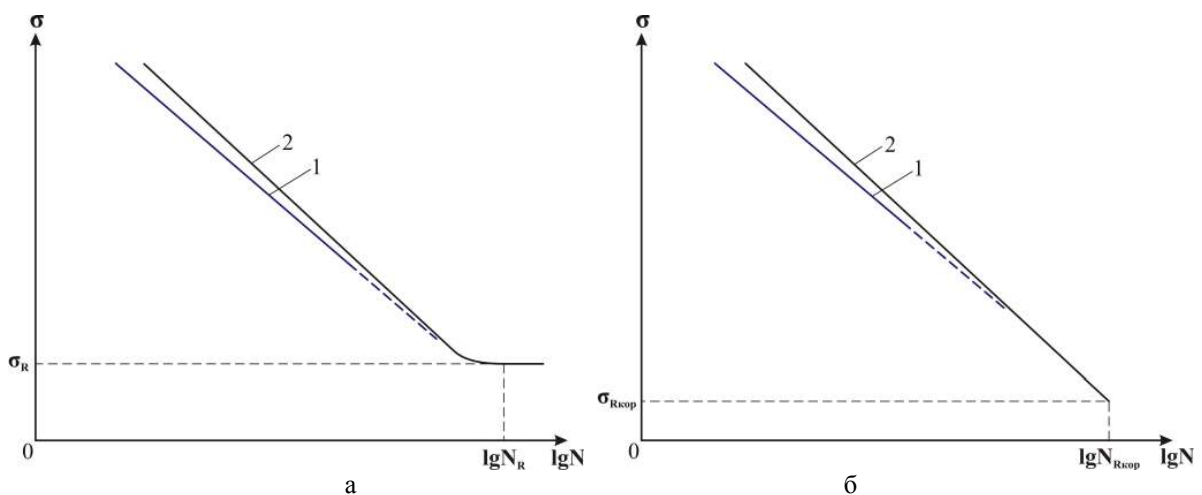


Рисунок 2. Криві втоми (а) та корозійної втоми (б) матеріалу трубопроводу з передексплуатаційним навантаженням (1) та без нього (2)

Figure 2. Curves of fatigue (a) and corrosion fatigue (b) of pipeline material with preoperational load (1) and without it (2)

Відомо, що деформаційна поведінка матеріалу трубопроводу в процесі циклічного навантаження описується кінетичними кривими, загальний вигляд яких зображено на рис. 3а. З метою простішого визначення впливу передексплуатаційних навантажень на зменшення довговічності пропонується по осі абсцис замість абсолютних значень довговічності N використовувати відносні – N_i/N , де N_i – кількість пройдених циклів навантаження (рис. 3б).

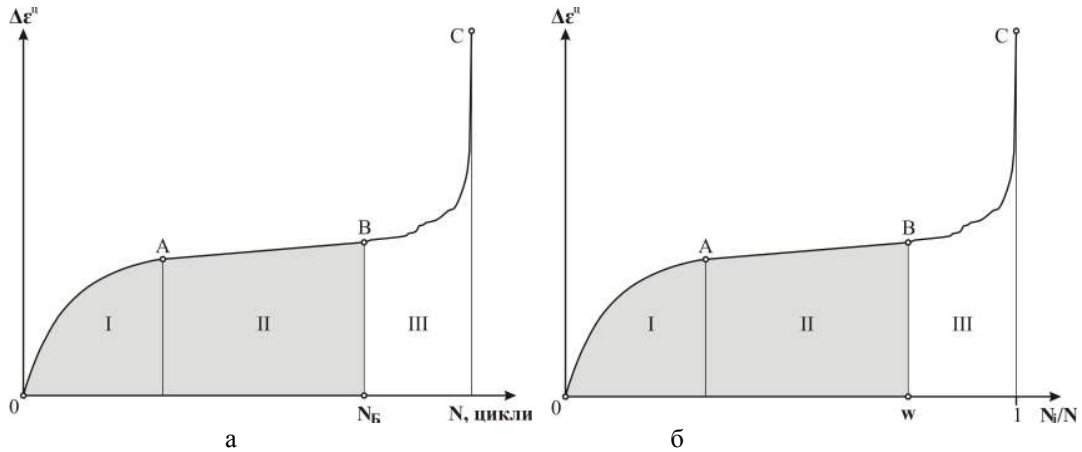


Рисунок 3. Кінетика деформації при циклічному навантаженні

Figure 3. Kinetics of deformation under cyclic loading

Для матеріалу трубопроводу типовою є тристадійна кінетика деформування, для якої характерне інтенсивне циклічне зменшення на I стадії (ділянка OA), яке носить затухаючий характер. Найтриваліша II стадія (ділянка AB) відповідає відносній стабілізації амплітуди циклічної деформації $\Delta\varepsilon^H$, яка зростає монотонно з постійною, проте незначною швидкістю. Наприкінці даної стадії в структурі металу трубопроводу накопичується критичний ступінь пошкоджуваності (відбувається зародження мікротріщин). Подальше циклічне деформування на завершальній III стадії (ділянка BC) пов'язане з прискореним ростом корозійно-втомних тріщин, формуванням та поширенням магістральної тріщини аж до початку остаточного руйнування зразка. Таким чином, протягом III-ї стадії штатна експлуатація трубопроводу є неможливою, оскільки вона може призвести до виникнення аварійної ситуації, і відповідно включати її тривалість у загальний ресурс роботи є недостатньо коректним. Тому суму тривалостей I та II стадій запропоновано вважати ресурсом безпечної експлуатації N_B , а суму відносних тривалостей I та II стадій – відносним ресурсом безпечної експлуатації w (рис. 4).

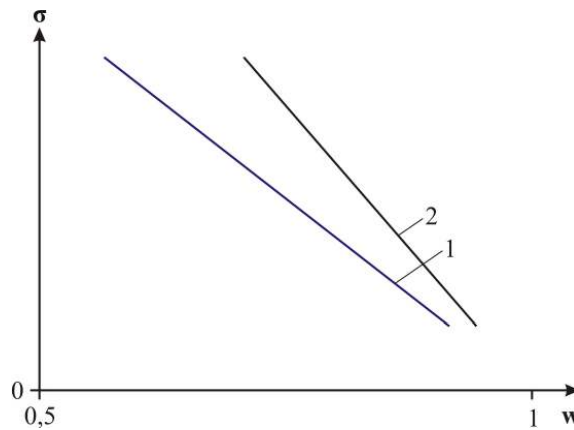


Рисунок 4. Відносний ресурс безпечної експлуатації матеріалу трубопроводу з передексплуатаційним навантаженням (1) та без нього (2)

Figure 4. Relative operating life of the pipeline material safe operation with preoperational load (1) and without it (2)

Введене поняття ресурсу безпечної експлуатації дозволяє розділити повний період експлуатації на роботу в штатному режимі та живучість трубопроводу, тобто безаварійну роботу в режимі обмеженої або мінімальної функціональності, спричинену прискореним розвитком втомних (корозійно-втомних) тріщин. Запровадження таких підходів дозволить підвищити безпеку експлуатації морських нафтогазопроводів та мінімізувати ризики їх розгерметизації та руйнування, що сприятиме також підвищенню їх екологічної безпеки.

Як бачимо, результати втомних випробовувань не показали значного впливу переднавантаження на загальну довговічність матеріалу трубопроводу як на повітрі, так і у середовищі морської води. Звідси виникає хибне уявлення про можливість нехтування історією передексплуатаційних навантажень у процесі укладання на ресурс роботи трубопроводу. Але насправді ситуація докорінно інша. Експлуатація трубопроводу в умовах поширення в його матеріалі втомних (корозійно-втомних) тріщин є неприпустимою. Лише об'єднаний аналіз кривих втоми та кінетичних кривих деформації дає змогу правильно оцінити ресурс, ураховуючи, що тривалість останньої стадії може складати понад 30 % загальної довговічності. Тому необхідно розробляти та впроваджувати новітні методичні підходи, які дають змогу забезпечити надійну роботу морських трубопроводів на основі науково обгрунтованих рішень, а не банально збільшуючи коефіцієнт запасу міцності. Така практика особливо потрібна в часі світової фінансової кризи і дасть змогу заощадити кошти на етапі спорудження шляхом оптимізації вибору матеріалу трубопроводу та зменшення металоємності конструкції. В Енергетичній стратегії України до 2030 року значну увагу приділено нарощуванню власного видобутку нафти і газу, головні неосвоєні поклади якого знаходяться на шельфі Чорного та Азовського морів. Розвиток шельфового видобутку неодмінно супроводжуватиметься спорудженням морських підводних трубопроводів, тому наукові дослідження у даному напрямку підвищуватимуть енергетичну безпеку держави.

Криві втоми дозволяють визначити коефіцієнт зменшення довговічності матеріалу трубопроводу з урахуванням передексплуатаційних навантажень

$$K_{1J} = \frac{N_J}{N}, K_{1S} = \frac{N_S}{N}, \quad (1)$$

де K_{1J} та K_{1S} – коефіцієнти зменшення довговічності з урахуванням передексплуатаційних навантажень для J- та S-методу відповідно;

N_J , N_S та N – довговічність матеріалу трубопроводу з переднавантаженням J- і S-методом та без нього відповідно.

Таким чином, ресурс експлуатації матеріалу трубопроводу з урахуванням передексплуатаційних навантажень визначатимемо за формулою

$$P_J = K_{1J}P, P_S = K_{1S}P, \quad (2)$$

де P_J та P_S – експлуатації матеріалу трубопроводу з урахуванням передексплуатаційних навантажень для J- та S-методу відповідно;

P – проектний ресурс роботи морського трубопроводу.

Відповідно, ресурс безпечної експлуатації матеріалу трубопроводу з урахуванням передексплуатаційних навантажень та без нього визначатимемо за формулами

$$PB_J = K_{1S}w_S P, PB_S = K_{1S}w_S P, PB = wP, \quad (3)$$

де PB_J , PB_S та PB – ресурс безпечної експлуатації матеріалу трубопроводу з урахуванням передексплуатаційних навантажень J- і S-методом та без нього відповідно.

На основі рівнянь кривих корозійної втоми можна визначити коефіцієнти впливу агресивності середовища на довговічність матеріалу трубопроводу

$$K_2 = \frac{N^K}{N}, K_{2J} = \frac{N_S^K}{N_S}, K_{2S} = \frac{N_S^K}{N_S}, \quad (4)$$

де K_{2J} , K_{2S} та K_2 – коефіцієнти впливу агресивності середовища на довговічність матеріалу трубопроводу з переднавантаженням J- і S-методом та без нього в середовищі морської води відповідно;

N_J^K , N_S^K та N^K – довговічність матеріалу трубопроводу з переднавантаженням J- і S-методом та без нього в середовищі морської води відповідно.

Таким чином, ресурс експлуатації матеріалу трубопроводу з пошкодженим ізоляційним покриттям з урахуванням передексплуатаційних навантажень та без нього визначатимемо за формулами

$$P_J^K = K_{1J}K_{2J}P, P_S^K = K_{1S}K_{2S}P, P^K = K_2P, \quad (5)$$

де P_J^K , P_S^K та P^K – ресурс експлуатації матеріалу трубопроводу з пошкодженим ізоляційним покриттям з урахуванням передексплуатаційних навантажень для J і S-методом та без нього відповідно.

Відповідно, ресурс безпечної експлуатації матеріалу трубопроводу з

пошкодженим ізоляційним покриттям з урахуванням передексплуатаційних навантажень та без нього визначатимемо за формулами

$$PB_J^k = K_{1J}K_{2J}w_J^k P, PB_S^k = K_{1S}K_{2S}w_S^k P, PB^k = K_2w^k P, \quad (6)$$

де PB_J^k , PB_S^k та PB^k – ресурс безпечної експлуатації матеріалу трубопроводу з пошкодженим ізоляційним покриттям з урахуванням передексплуатаційних навантажень J- і S-методом та без нього відповідно.

Оптимальним способом апроксимації для кривих втоми та корозійної втоми, побудованих у напівлогарифмічних координатах, є показникова функція виду $N(\sigma) = 10^{a\sigma+b}$, де a і b – коефіцієнти, які визначають на основі даних втомних та корозійно-втомних випробувань. Для оцінювання впливу переднавантаження на відносний ресурс безпечної експлуатації доцільно використовувати лінійну залежність типу $w(\sigma) = a\sigma + b$. Дані залежності дають змогу відразу розраховувати довговічність та відносний ресурс безпечної експлуатації, використовуючи задане значення амплітуди напружень у МПа.

Результати досліджень та їх обговорення. За результатами експериментальних випробувань низьколегованої сталі 09Г2С отримано рівняння для розрахунку їхньої довговічності (табл. 1) і відносного ресурсу безпечної експлуатації (табл. 2) й побудовано графіки залежностей коефіцієнтів зменшення довговічності (рис. 5) та коефіцієнтів впливу агресивності середовища (рис. 6) від рівня номінальних напружень для основного металу й зварного з'єднання трубопроводу.

Розрахований за методикою коефіцієнт зменшення довговічності для основного металу та зварного з'єднання при максимальному рівні напружень у циклі укладання 400 МПа (рис. 1а) з урахуванням передексплуатаційних навантажень S-методом становить 0,69 та 0,53, а для J-методу – 0,84 та 0,72 відповідно. Коефіцієнт впливу середовища (морська вода) на довговічність для основного металу з урахуванням передексплуатаційних навантажень S- та J-методом і без нього складає 0,86, 0,88 та 0,89, а для зварного з'єднання – 0,81, 0,84 та 0,89 відповідно.

Коефіцієнт безпечної експлуатації для основного металу з урахуванням передексплуатаційних навантажень S- та J-методом і без нього становить 0,7, 0,76 та 0,79, а для зварного з'єднання – 0,71, 0,75 та 0,79 відповідно. Коефіцієнт безпечної експлуатації основного металу з переднавантаженням S- та J-методом і без нього в середовищі морської води складає 0,68, 0,74 та 0,77, а для зварного з'єднання – 0,69, 0,73 та 0,77 відповідно.

Таблиця 1

Рівняння для розрахунку довговічності морських трубопроводів,
виготовлених зі сталі 09Г2С

Матеріал	Переднавантаження	Середовище	Рівняння
Основний метал	Відсутнє	Повітря	$N = 10^{7,192-0,00839\sigma}$
		Морська вода	$N^k = 10^{6,643-0,00714\sigma}$

	J-метод	Повітря	$N_J = 10^{7,243-0,00871\sigma}$
		Морська вода	$N_J^k = 10^{6,686-0,00745\sigma}$
	S-метод	Повітря	$N_S = 10^{7,308-0,00908\sigma}$
		Морська вода	$N_S^k = 10^{6,751-0,00785\sigma}$
Зварне з'єднання	Відсутнє	Повітря	$N = 10^{6,983-0,00785\sigma}$
		Морська вода	$N^k = 10^{6,552-0,006899\sigma}$
	J-метод	Повітря	$N_J = 10^{7,088-0,00847\sigma}$
		Морська вода	$N_J^k = 10^{6,6597-0,00759\sigma}$
	S-метод	Повітря	$N_S = 10^{7,182-0,00903\sigma}$
		Морська вода	$N_S^k = 10^{6,750-0,00819\sigma}$

Таблиця 2

Рівняння для розрахунку відносного ресурсу безпечної експлуатації морських трубопроводів, виготовлених зі сталі 09Г2С

Матеріал	Переднавантаження	Середовище	Рівняння
Основний метал	Відсутнє	Повітря	$w = 1,1398 - 0,000872\sigma$
		Морська вода	$w^k = 1,124 - 0,000888\sigma$
	J-метод	Повітря	$w_J = 1,142 - 0,000957\sigma$
		Морська вода	$w_J^k = 1,116 - 0,000953\sigma$
	S-метод	Повітря	$w_S = 1,185 - 0,001209\sigma$
		Морська вода	$w_S^k = 1,155 - 0,001184\sigma$
Зварне з'єднання	Відсутнє	Повітря	$w = 0,975 - 0,000465\sigma$
		Морська вода	$w^k = 0,934 - 0,000406\sigma$
	J-метод	Повітря	$w_J = 0,979 - 0,000574\sigma$
		Морська вода	$w_J^k = 0,943 - 0,000541\sigma$
	S-метод	Повітря	$w_S = 0,989 - 0,000689\sigma$
		Морська вода	$w_S^k = 0,954 - 0,000659\sigma$

Як бачимо, переднавантаження знижує загальну довговічність сталі трубопроводу, причому негативний вплив переднавантаження зі збільшенням рівня номінальних напружень посилюється [10]. Крім того, переднавантаження більш суттєво знижує загальну втомну довговічність зварного з'єднання порівняно з основним металом. Однією з основних причин цього є велика ймовірність наявності в ЗЗ технологічних дефектів, таких, як тріщини, непровари, несплавлення, підрізи, шлакові включення і пори, які можуть зменшувати міцність та експлуатаційну надійність [11].

Інша причина полягає в наявності залишкових напружень, виникнення яких спричинене тепловими пружно-пластичними деформаціями в процесі утворення швів

[12]. Їхнє значення може сягати границі текучості металу і є однією з основних причин зародження та поширення тріщин у зварних з'єднаннях.

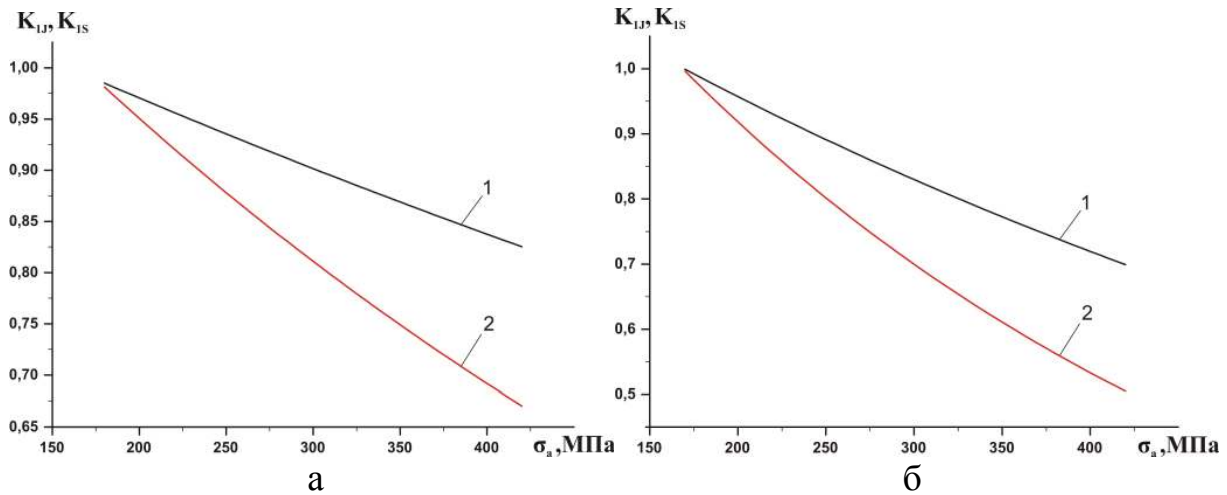


Рисунок 5. Залежність коефіцієнтів зменшення довговічності K_{LJ} (1) та K_{IS} (2) від рівня номінальних напружень для основного металу (а) та зварного з'єднання (б)

Figure 5. Dependence of the durability decrease ratios longevity K_{LJ} (1) and K_{IS} (2) from the level of nominal stresses for the base metal (a) and weld metal (b)

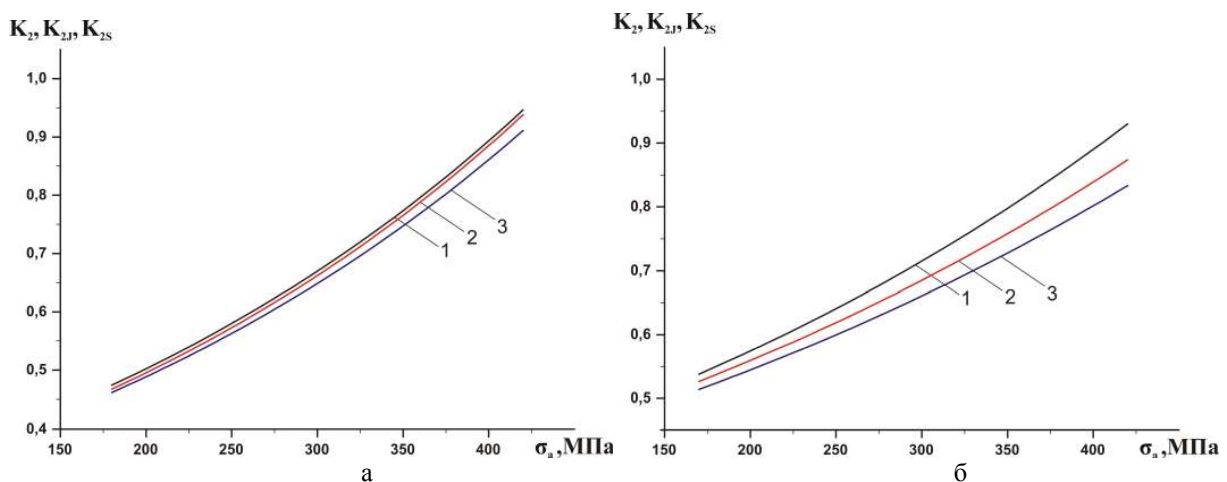


Рисунок 6. Залежність коефіцієнтів впливу агресивності середовища (морська вода) K_2 (1), K_{2J} (2) та K_{2S} (3) від рівня номінальних напружень для основного металу (а) та зварного з'єднання (б)

Fig. 6. Dependence of the aggressive environment (sea water) effect coefficients K_2 (1), K_{2J} (2) та K_{2S} (3) on the level of nominal stresses for the base metal (a) and weld

Аналіз отриманих кривих показує, що зі збільшенням рівня номінальних напружень у морській воді так само, як і на повітрі, посилюється негативний вплив переднавантаження на загальну довговічність сталі трубопроводу, а ділянки кривих корозійної втоми знаходяться лівіше ділянки багаточислової втоми на повітрі. Точка перетину цих ділянок лежить на границі між областями циклічної повзучості та втомного зламу, якій відповідає значення амплітуди напружень $\sigma_a=420$ МПа. При зниженні амплітуди напружень довговічність сталі в корозійному середовищі, у порівнянні з повітрям, закономірно зменшується. Також слід зазначити, що морська вода інтенсифікує процес циклічного деформування основного металу та зумовлює збільшення амплітуди стабілізації циклічної деформації на початку II-ї стадії порівняно

з повітрям, що можна пов'язати з адсорбційним впливом електроліту (ефект Ребіндера) та виникненням і розвитком корозійних уражень.

Для всіх випадків спостерігається зменшення ресурсу безпечної експлуатації трубопроводу зі зростанням рівня передексплуатаційних навантажень. Причому зі збільшенням рівня номінальних напружень посилюється негативний вплив переднавантаження, який при укладанні трубопроводу S-методом в порівнянні з J-методом є більш відчутним.

Висновки. Запропоновано методику оцінювання впливу передексплуатаційних навантажень у процесі укладання морського трубопроводу на його ресурс безпечної експлуатації. Науково обгрунтовано введення понять ресурсу безпечної експлуатації та відносного ресурсу безпечної експлуатації морських трубопроводів. Експериментальним шляхом доведено необхідність урахування впливу передексплуатаційних навантажень на ресурс та відносний ресурс безпечної експлуатації морських трубопроводів з цілісним та пошкодженим ізоляційним покриттям. На основі результатів досліджень за розробленою методикою для трубної сталі 09Г2С отримано відповідні рівняння для визначення довговічностей та відносного ресурсу безпечної експлуатації, які дозволяють розраховувати коефіцієнти, що враховують вплив механічних напружень у процесі укладання та агресивності корозивного середовища (морської води) на довговічність основного металу та зварного з'єднання трубопроводу в процесі експлуатації.

Conclusions. The method for estimating the effect of preoperational loads on the marine pipeline of safe operation life while stringing. Introduction of such notions as of safe operation life and relative operational life of safe operation of marine pipelines is scientifically interpreted. Necessity to take into consideration the effect of preoperational loads of marine pipeline on the operational life and relative operation of marine pipelines with undamaged and damaged isolation coverings experimentally proved.

Basing on the results of investigations and according to the developed method for the pipe steel 9G2S the corresponding equations for determination of durability and safe operation life, which make possible to calculate coefficient, taking into account the mechanical stresses effect while stringing and aggressiveness of the corrosion environment (sear water) on the durability of the main metal and welding of the pipeline while operating, have been obtained.

Список використаної літератури

1. Бошкова, И.Л. Трубопроводный транспорт и переработка продукции морских скважин [Текст] / И.Л. Бошкова. – Одесса: ОГАХ, 2010. – 144 с.
2. Ільницький, М.К. Проектування, будівництво та експлуатація морських трубопроводів [Текст] / М.К. Ільницький, О.Б. Шадрін. – К.: Українська книга, 1997. – 174 с.
3. Морские трубопроводы [Текст] / Ю.А. Горяинов, А.С. Федоров, Г.Г. Васильев и др. – М.: Недра, 2001. – 131 с.
4. Кравцов, В.І. Механіка гнучких морських конструкцій [Текст] / В.І. Кравцов. – К.: Наукова думка, 1999. – 131 с.
5. Капустин, К.Я. Строительство морских трубопроводов [Текст] / К.Я. Капустин, М.А. Камышев. – М.: Недра, 1982. – 207 с.
6. Бородавкин, П.П. Морские нефтегазовые сооружения [Текст]: учебник для вузов. Часть 2.

- Технология строительства / П.П. Бородавкин. – М.: ООО Недра-Бизнесцентр, 2007. – 408 с.
7. Kyriakides, S. Mechanics of offshore pipelines. Vol. 1: Buckling and collapse / S. Kyriakides, E. Corona. – Slovenia: Elsevier, 2007. – 400 p.
 8. Крижанівський, Є.І. Установка для комплексних досліджень малоциклової втоми матеріалу морських трубопроводів у робочих середовищах [Текст] / Є.І. Крижанівський, Л.Я. Побережний // Нафтова і газова промисловість. – 2001. – № 5. – С. 44 – 45.
 9. Побережний, Л.Я. Вплив способу укладання на ресурс безпечної експлуатації морських трубопроводів [Текст] / Л.Я. Побережний, Т.Ю. Пиріг // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – Спец. вип. – Ч. 1. – 2011. – С. 101 – 106.
 10. Побережний, Л.Я. Втомна довговічність та кінетика деформації матеріалу трубопроводу при низькочастотному навантаженні [Текст] / Л.Я. Побережний, Т.Ю. Пиріг // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2012. – 3 (44). – С. 87 – 96.
 11. Махненко, В.И. Ресурс безопасной эксплуатации сварных соединений и узлов современных конструкций [Текст] / В.И. Махненко. – К.: Наукова думка, 2006. – 620 с.
 12. Касаткин, Б.С. Напряжения и деформации при сварке [Текст] / Б.С. Касаткин, В.М. Прохоренко, И.М. Чернов. – М. – К.: Вища школа, 1987. – 246 с.

Отримано 14.02.2013