

– для високопористих та тріщинуватих порід нестабілізована силікатно-калієва ванна (8%  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  та 10%  $\text{KCl}$ ; решта – вода);

– для глиняно-піщаних порід з низькою проникністю стабілізована силікатно-калієва ванна (8%  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  та 10%  $\text{KCl}$ ; 4% ЕКР, решта – вода).

### Література

1. Булатов А.И., Пеньков А.И., Проселков Ю.М. Справочник по промывке скважин. – М.: Недра, 1984. – 317 с.

2. Городнов В.Д. Физико-химические методы предупреждения осложнений в бурении. – М.: Недра, 1984. – 229 с.

3. Волобуєв А.І., Малярчук Б.М. Методичні вказівки з дисципліни “Механіка руйнування гірських порід” для студентів спеціальності 09.03. – Івано-Франківськ, 1994. – 13 с.

рах тощо) швидкість газу може сягати місцевої швидкості звуку [1].

Розрізняють газопроводи короткі і довгі, високого, середнього і низького тисків. До коротких газопроводів відносять технологічні газопроводи газозбірних пунктів, установок очищення і осушення газу, газорозподільних і компресорних станцій. Довгі або магістральні газопроводи призначені для транспортування газу на значні відстані. Як правило, це газопроводи середнього (1,2÷2,5 МПа) і високого тиску (більше 2,5 МПа).

4. Учебник по буровым растворам для инженеров / Отв. за вып. и перевод. Булатов А.И. / Компании М-1 ДРИЛЛИНГ ФЛЮИДЗ. – 1991. – 439 с.

5. Ясов В.Г., Мыслюк М.А. Осложнения в бурении. – М.: Недра, 1991. – 33 с.

УДК 622.691.4

## ВПЛИВ МІСЦЕВИХ ОПОРІВ НА РОБОТУ СИСТЕМИ ГАЗОПОСТАЧАННЯ НИЗЬКОГО ТИСКУ

Ю.І.Зарубіна, В.Б.Михалків

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42166

e-mail: tzng@nimg.edu.ua

*Проведено дослідження впливу місцевих опорів на швидкість та якість експлуатації системи розподілу газу низького тиску, а також дані рекомендації щодо проведення проектних розрахунків.*

*Research of influencing of local resistances is conducted on a term and quality of exploitation of the system of distributing of gas of low pressure, and also recommendations in relation to conducting of project calculations are given.*

Усталений рух газу в трубах характеризується сталою величиною масової витрати по всій довжині газопроводу, незмінністю в часі параметрів стану газу в кожному перерізі газопроводу і зміною цих параметрів вздовж потоку за рахунок втрат енергії на тертя і в місцевих опорах.

Основою розрахунку будь-якого газопроводу є розрахунок його лінійної частини. В ході цього розрахунку за відомою величиною масової витрати визначається діаметр трубопроводу і розподіл тиску вздовж трубопроводу. Можливий також розв'язок оберненої задачі, коли через відомий перепад тиску для трубопроводу даної конфігурації визначається масова витрата газу.

В ході таких розрахунків внутрішній діаметр газопроводів, як правило, приймається постійним. Швидкість течії газу в газопроводах рідко перевищує величину 60÷70 м/с, а тому число Маха (відношення швидкості потоку в перерізі до місцевої швидкості звуку) значно менше одиниці, тобто реалізується дозвукова швидкість течії, і тільки в окремих місцевих опорах (в засувках, клапанах, соплах, дифузо-

В даній роботі розглянемо газопровід низького тиску місцевого значення, тобто розподіл газу споживачам під заданим тиском.

Проведемо дослідження впливу місцевих опорів на витрату газу при фіксованих початкових і кінцевих значеннях тиску.

В газопроводах втрати в місцевих опорах приймаються рівними 10 % від лінійних втрат.

Наше завдання полягає в доведенні, що при підключенні додаткових споживачів до працюючої мережі місцеві опори будуть мати більше значення і їх необхідно враховувати окремо.

За основу розрахунку приймемо основне рівняння

$$-dl - dl_{\tau} = gdz + \frac{dP}{\rho} + d\left(\frac{w^2}{2}\right), \quad (1)$$

в якому  $gdz$  нехтуємо,  $dl$  приймаємо рівним нулю, оскільки під час транспортування газ не виконує технічної роботи, а лінійні втрати визначаємо за формулою Дарсі-Вейсбаха

$$dl_{\tau} = \lambda \cdot dx \frac{w^2}{2d}. \quad (2)$$

Тоді основне рівняння набуде вигляду

$$\frac{dP}{\rho} + wdw + \lambda \frac{dx}{d} \frac{w^2}{2} = 0. \quad (3)$$

Для газопроводів низького тиску основне рівняння

$$\frac{dP}{\rho} + \lambda \frac{dx}{d} \frac{w^2}{2} = 0. \quad (4)$$

Отже зміна тиску вздовж трубопроводу буде

$$p_1 = p_2 + \lambda \frac{l_{розр}}{d} \rho \frac{w^2}{2}, \quad (5)$$

де  $l_{розр} = l + \sum \xi \frac{d}{\lambda}$  – розрахункова довжина,

параметр  $\sum \xi \frac{d}{\lambda}$  – еквівалентна довжина місцевого опору, яка рівна умовній довжині трубопроводу, втрати напору в якому відповідають втратам напору в місцевому опорі;  $\xi$  – коефіцієнт місцевого опору.

Тоді при врахуванні

$$M = \rho w S, \quad (6)$$

$$S = \frac{\pi d^2}{4}, \quad (7)$$

$$\Delta p = p_1 - p_2, \quad (8)$$

отримаємо

$$\Delta p = \lambda \frac{l_{розр}}{d} \frac{\rho(w)^2}{2\rho} = \lambda \frac{l_{розр}}{d} \left( \frac{8M^2}{\rho \pi^2 d^4} \right) \quad (9)$$

або

$$\Delta p = 0.81 \cdot \lambda \frac{l_{розр}}{\rho d^5} M^2. \quad (10)$$

Якщо  $\Delta p$  відоме, то

$$M = 1.11 d^{2.5} \sqrt{\frac{\Delta p \cdot \rho}{\lambda}} \cdot \sqrt{\frac{1}{l + \sum \xi \frac{d}{\lambda}}}. \quad (11)$$

В газопроводах низького тиску зміни густини газу не враховуються.

Місцевий опір вогневої врізки додаткових споживачів має вигляд, зображений на рис. 1, і складається з трьох складників: місцевий опір раптового звуження потоку, трійник на прохід, місцевий опір раптового розширення потоку.

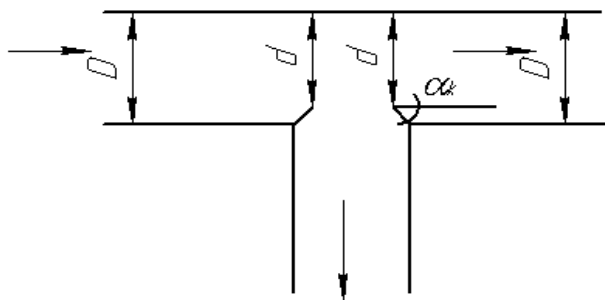


Рисунок 1 – Схема місцевого опору вогневої врізки споживачів

Для раптового звуження перерізу труби коефіцієнт місцевого опору визначається за такою залежністю:

$$\xi_{p.зв.} = \left[ \frac{1.1 - n}{0.67 - 0.57n} - 1 \right]^2, \quad (12)$$

де:  $n = \frac{S_3}{S_1}$  – степінь стиску потоку,

$S_1, S_3$  – площа перерізу відповідно до і після звуження потоку.

Із врахуванням того, що площі відповідно рівні

$$S_1 = \frac{\pi D^2}{4}, \quad (13)$$

$$S_3 = \frac{\pi d^2}{4} \quad (14)$$

отримаємо таку формулу для визначення ступеня стиску потоку:

$$n = \frac{d^2}{D^2}. \quad (15)$$

Тоді коефіцієнт місцевого опору для раптового звуження потоку буде визначатись за залежністю

$$\xi_{p.зв.} = \left[ \frac{1.1 - \frac{d^2}{D^2}}{0.67 - 0.57 \frac{d^2}{D^2}} - 1 \right]^2. \quad (16)$$

Для раптового розширення потоку (несиметричний дифузор) коефіцієнт місцевого опору визначається за залежністю

$$\xi_{\partial} = k_2 \left( \frac{S_3}{S_1} - 1 \right)^2 \quad (17)$$

при врахуванні таких допусків:

$$\text{при } \alpha_k < 50^\circ \quad k_2 = \sin \alpha_k$$

$$\text{при } \alpha_k > 50^\circ \quad k_2 = 1.$$

Тоді формула для розширення потоку буде мати вигляд відповідно

$$\xi_{\partial} = \sin \alpha_k \left( \frac{D^2}{d^2} - 1 \right)^2, \text{ або } \xi_{\partial} = \left( \frac{D^2}{d^2} - 1 \right)^2. \quad (18)$$

Таким чином, коефіцієнт місцевого опору для вогневої врізки додаткових споживачів буде рівний

$$\xi = \left[ \frac{1.1 - \frac{d^2}{D^2}}{0.67 - 0.57 \frac{d^2}{D^2}} - 1 \right]^2 + \xi_{\text{прохід}} + \sin \alpha_k \left( \frac{D^2}{d^2} - 1 \right)^2 \quad (19)$$

або

$$\xi = \left[ \frac{1.1 - \frac{d^2}{D^2}}{0.67 - 0.57 \frac{d^2}{D^2}} - 1 \right]^2 + \xi_{\text{прохид}} + \left( \frac{D^2}{d^2} - 1 \right)^2 \quad (20)$$

Сучасна система газопостачання включає в себе магістральні, міські і регіональні мережі високого, середнього і низького тиску. Вона являє собою складну багаторівневу мережу, яка безперервно розвивається як у просторі, так і в часі.

Розвиток системи газопостачання супроводжується вдосконаленням техніки, технології і організації виробництва та поліпшенням на цій базі комплексу економічних показників транспорту газу.

Аналіз досвіду експлуатації трубопроводів систем приводить до висновків щодо необхідності вдосконалення системи планування і оперативного управління режимами системи газопостачання. Створення методів оперативних розрахунків складних систем є проблемою, розв'язання якої необхідно здійснити в найближчий час.

В даній роботі розглядалось питання впливу стану внутрішньої порожнини трубопроводу на визначення коефіцієнта гідравлічного опору  $\lambda$ , а відповідно і на пропускну здатність системи газопостачання. Зміни  $\lambda$ , зумовлені змінами  $k_e$  (внаслідок корозійного заростання, відкладів та ін.).

Математичним шляхом можна довести, що  $\lambda$  із часом буде збільшуватись, оскільки буде змінюватись абсолютна еквівалентна шорсткість в процесі експлуатації [2, 3]. Збільшення шорсткості трубопроводів в процесі їх експлуатації можна оцінити за формулою

$$k_t = k_0 + \alpha t, \quad (21)$$

де:  $k_0$  – абсолютна еквівалентна шорсткість для нових труб, мм;

$k_t$  – абсолютна еквівалентна шорсткість труб через  $t$  років експлуатації;

$\alpha$  – коефіцієнт, який характеризує швидкість зростання шорсткості (мм/рік). Залежить від матеріалу труб і фізико-хімічних властивостей газу, що транспортується по газопроводу. Для газопроводів  $\alpha = 0,04 \div 0,05$  [4]. Вплив коефіцієнта  $\alpha$  збільшується із зменшенням діаметра газопроводу.

Як правило, вважається, що гідравлічний опір труб протягом всього терміну експлуатації лишається постійним. В дійсності ж в багатьох випадках пропускну здатність трубопроводів поступово зменшується в процесі експлуатації, в деяких випадках до 50% розрахункової і навіть більше. Це пов'язано із збільшенням шорсткості труб в міру їх використання внаслідок

корозії і інкрустації. Ці процеси відбуваються з інтенсивністю, яка залежить від матеріалу стінок труби, властивостей перекачуваного продукту і т.д.

Для отримання необхідних результатів у формулу для визначення шорсткості трубопроводів в процесі їх експлуатації ми підставляли різну кількість років, тобто  $t=0$  років,  $t=10$  років,  $t=20$  років,  $t=30$  років,  $t=40$  років,  $t=50$  років.

Дослідимо вплив місцевих опорів на витрату на прикладі газової мережі низького тиску.

Розрахунки будемо проводити, якщо відомі:

- 1) конфігурація газової мережі;
- 2) необхідні тиски;
- 3) діаметр і довжина мережі;
- 4) місцеві опори.

Необхідно дослідити, якою буде витрата в системі при підключенні нових споживачів.

Прийmemo такі величини:  $\rho = 0.67 \text{ кг/м}^3$ ,  $\eta = 1,22 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$ ,  $\Delta p = 1200 \text{ Па}$ .

Наведемо алгоритм розрахунку газової мережі низького тиску заданої конфігурації.

Приймаємо для першого наближення витрату 100 кг/с.

Визначаємо число Рейнольдса за формулою

$$Re = \frac{4M}{\pi d \eta} \quad (22)$$

Обчислюємо коефіцієнт гідравлічного опору

$$\lambda = 0,067 \left( \frac{2k_e}{d} + \frac{158}{Re} \right)^{0.2}, \quad (23)$$

де  $k_e = 0.01 \text{ см}$  – еквівалентна шорсткість для газових мереж із сталевих труб.

Обчислюємо коефіцієнти місцевих опорів за наведеними попередньо формулами та значення витрати. Перевіряємо умову

$$|M_i - M_{i+1}| \leq 0.01 \text{ кг/с} \quad (24)$$

Якщо умова не виконується, то приймаємо  $M_i = M_{i+1}$  і здійснюємо перерахунок з числа Рейнольдса. У випадку виконання умови додаємо споживачів і проводимо аналогічні розрахунки.

Алгоритм розрахунків реалізований в програмі, яка дає змогу оптимізувати процес проведення розрахунків і прискорити отримання результатів.

Схема газової мережі зображена на рис. 2.

Результати проведених досліджень представимо на графіках (рис. 3 і 4 відповідно).

На графіках бачимо динаміку зміни значень абсолютної еквівалентної шорсткості, коефіцієнта гідравлічного опору, коефіцієнта місцевих опорів і пропускну здатності в часі. Зміни коефіцієнтів місцевих опорів в часі здійснюється у відповідності зі збільшенням числа підключень додаткових споживачів з часом.

Проаналізувавши графічні залежності, можна дати таку рекомендацію: при проведенні

проектних розрахунків приблизно до шести років експлуатації можна приймати втрати в місцевих опорах як 10% від лінійних втрат, а після зазначеного періоду необхідно використовувати залежність (11) для знаходження пропускної здатності системи.

На основі отриманих результатів можна зробити висновок, що пропускна здатність системи значно зменшується із збільшенням терміну експлуатації і із кількістю додаткових підключень. А це означає, що при розвитку систе-

ми, переході на нові принципи опалення або застосуванні будь-яких змін в технологічному процесі, які призведуть до збільшення потреби у газі, необхідно змінити лише один геометричний параметр – діаметр, збільшивши його на один порядок, отримавши результати, які дають змогу забезпечити вищу надійність газозабезпечення споживачів.

Таким чином для збільшення надійності газопостачання та забезпечення перспективи розвитку газової мережі проектування мереж

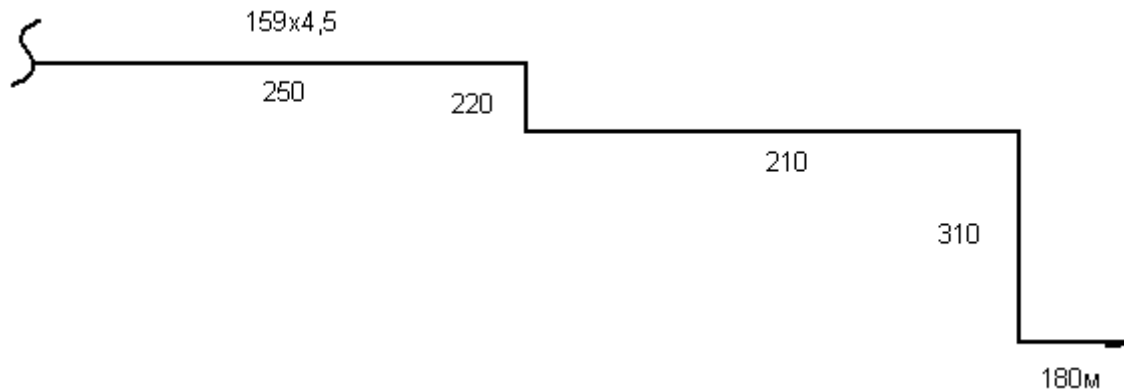


Рисунок 2 — Розрахункова схема газової мережі низького тиску

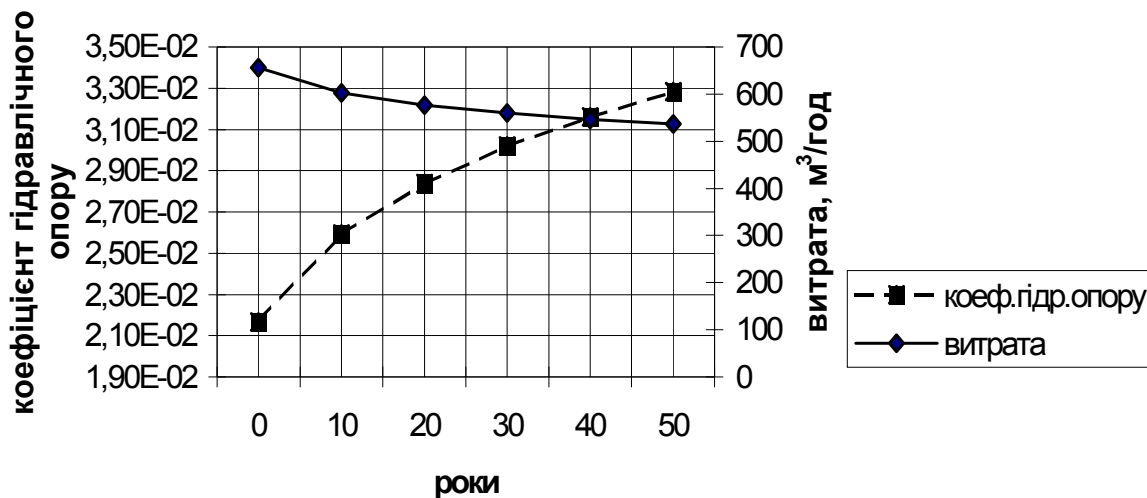


Рисунок 3 — Зміна коефіцієнта гідравлічного опору і витрати від часу при одному підключенні

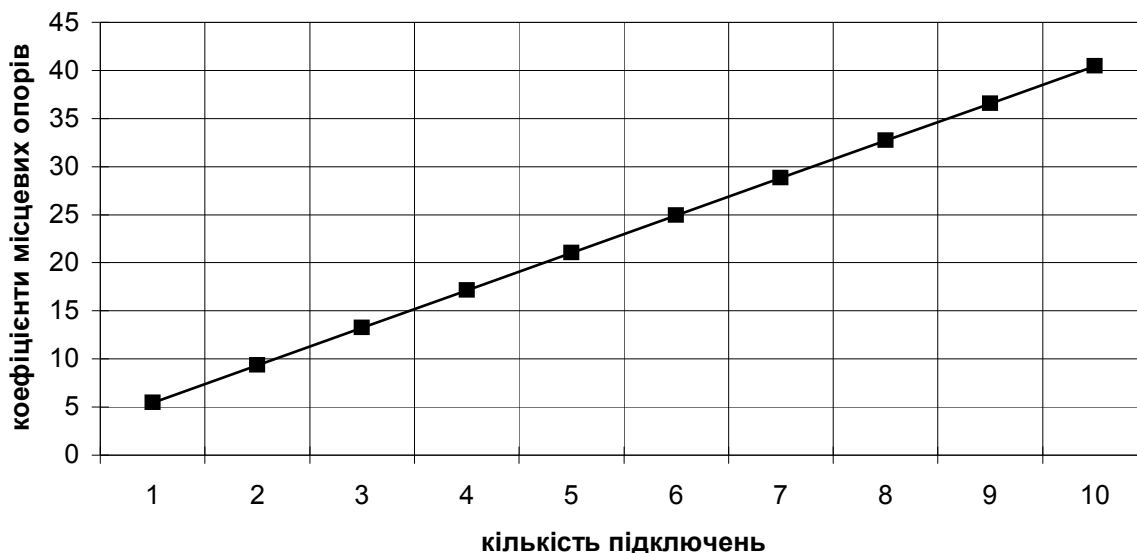


Рисунок 4 — Зміна коефіцієнтів місцевих опорів залежно від кількості підключень

треба здійснювати із врахуванням отриманих результатів і водночас вибирати діаметри із певним запасом, можливих реконструкцій і здійсненням оперативного контролю. І хоча затрати при будівництві будуть більшими, проте це окупиться, оскільки термін експлуатації буде більшим, буде можливість підключення нових споживачів і можливість зміни та збільшення обладнання без додаткової реконструкції системи газопостачання.

1. Гімер Р.Ф., Гімер П.Р. Основи газової динаміки: Навч. посіб. – Івано-Франківськ: Факел, 2000. – 228 с.
2. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления. – М.: Недра, 1970. – 216 с.
3. Левин А.М., Смирнов В.А., Черкасова А.Я. Расчет газовых сетей на минимум металла // Газ. пром-сть. – 1966. – № 9. – С. 28-32.
4. Альтшуль А.Д., Киселев П.Г. Гидравлика и аэродинамика. – М.: Недра, 1975.

УДК 621.673.001.2

## ЗАЛИШКОВИЙ РЕСУРС ЗМІЦНЕНИХ КОМПОЗИТНИМИ БАНДАЖАМИ ТРУБОПРОВОДІВ З ДЕФЕКТАМИ

Б.В.Конеї, А.М.Найда

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42353  
e-mail: korey@nimg.edu.ua, andr@kl.if.ua

*Рассматривается оценка малоциклового долго-вечности по критерию зарождения трещины при наличии выявленных диагностикой нетрещиновидных дефектов: вмятин, задиров, рисок – с учётом теоретических коэффициентов концентрации напряжений, приводится расчёт остаточного ресурса по характеристикам трещиностойкости.*

*The estimation of low cycle longevity is examined on the criterion of origin of crack at the presence of exposed by diagnostics of defects: dents, mechanical damage, draw – taking into account the theoretical coefficients of concentration of stresses, a calculation over of remaining resource is brought by recommendations of crack resistance.*

### Оцінка малоциклової довговічності за критерієм зародження тріщини

Оцінка малоциклової довговічності виконується за наявності виявлених діагностикою нетрещиноподібних дефектів: вм'ятин, задирів, ризок з врахуванням теоретичних коефіцієнтів концентрації напружень  $\alpha_\sigma$  [6].

Загальне число циклів до руйнування  $N$  складається з двох доданків:  $N_z$  – число циклів до зародження тріщини на вершині дефекту;  $N_p$  – число циклів на етапі розвитку (росту) тріщини

$$N = N_z + N_p. \quad (1)$$

Число циклів до зародження тріщини визначається рівняннями Коффина-Менсона, які встановлюють взаємозв'язок між амплітудою зміни істинних деформацій у вершині дефекту, механічними характеристиками металу і числом циклів  $N_p$ .

Існують два режими навантаження: жорсткий – при постійному розмаху деформацій, м'який – при постійному розмаху напружень.

Дефекту в трубопроводі зазвичай знає зона проміжного режиму навантаження, що знаходиться між крайніми подіями. Тому доцільно вибрати менше (або середнє) число циклів  $N_z$  з двох крайніх ситуацій.

Режими циклічного навантаження розрізняються також за симетричністю (коефіцієнтом асиметрії). Коефіцієнтом асиметрії по напруженнях  $R_\sigma$  і деформаціях  $R_e$  називаються відношення відповідних величин (напружень і деформацій) у вершині дефекту в моменти мінімального і максимального навантажень в циклі

$$R_\sigma = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}; R_e = \frac{e_{\min}}{e_{\max}}. \quad (2)$$

Максимальні і мінімальні значення істинних напружень в циклах навантаження визначаються за кільцевими напруженнями для максимальних і мінімальних тисків з врахуванням теоретичних коефіцієнтів концентрації напружень  $\alpha_\sigma$ .

Якщо коефіцієнт асиметрії  $R = -1$ , то навантаження симетричне. При цьому розтяг чергується зі стиском. Для труб з дефектами характерні циклічні навантаження з початковим коефіцієнтом асиметрії, коли  $\sigma_{\min} > 0$ . При цьому метал завжди перебуває в стані розтягу. Але можуть бути випадки з від'ємними значеннями  $R_e$  і  $R_\sigma$  (переходи під дорогами, підводні переходи та ін.).

Для жорсткого симетричного режиму навантаження число циклів до зародження тріщини  $N_z$  визначається за рівнянням

$$e_a = \frac{1}{4} \ln \frac{1}{1 - \psi_e} N_z^{-S_1} + \frac{\sigma_{-1}}{E}, \quad (3)$$

Література