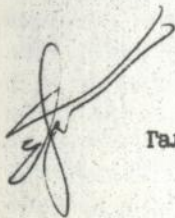


Дніпропетровський інженерно-будівельний інститут

На правах рукопису



Галаченко Євген Валентинович

УДК 624.014:624.953

**ПІДВИЩЕННЯ ТРИЩИНОСТІЙКОСТІ СТАЛЬНИХ ВЕРТИКАЛЬНИХ
ЦИЛІНДРИЧНИХ РЕЗЕРВУАРІВ МЕТОДОМ
ВАНДАЖУВАННЯ**

05.23.01 - Будівельні конструкції, будови та споруди

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ 1993

Аб 27.35

Робота виконана на кафедрі металевих та дерев'яних конструкцій Дніпропетровського інженерно-будівельного інституту.

ЛНБ України ім. В. Стефаника
00814199 (W)

Науковий керівник - заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор А.В.Сільвестров.

Науковий консультант - кандидат технічних наук, доцент Є.А.Егоров.

Офіційні опоненти - доктор технічних наук, професор Л.І.Стороженко.
кандидат технічних наук, доцент Т.І.Чікіньова

Провідна організація - Арендне підприємство Дніпросталь-конструкція

Захист відбудеться 26 травня 1993 р. о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 068.32.01 в Дніпропетровському інженерно-будівельному інституті за адресою : 320600, м. Дніпропетровськ, вул. Чернишевського 24-а, ДІВІ, ауд. 202.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Дніпропетровського інженерно-будівельного інституту.

Автореферат розіслано 25 квітня 1993 року. Відгук подається в двох примірниках з підписом, засвідченим печаткою.

Телефон для довідок : 47-35-22

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради кандидат технічних наук, доцент *Л. Седін* В.Л.Седін

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ. Нині одним із найголовніших питань для економіки України є забезпечення її народного господарства нафтопродуктами. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває проблема транспортування та зберігання нафти і нафтопродуктів, яка включає в себе будівництво танкерного флоту, терміналів, нафтопродуктопроводів та інше. Всеосяжна її реалізація не може бути здійснена без вирішення питання підвищення надійності діючого устаткування та споруд. Сказане має пряме відношення до сталених резервуарів, основна частина яких використовується для зберігання нафти та нафтопродуктів. Сотні резервуарів, які експлуатувалися десятки років, чекають заради вирішення питання щодо можливості та доцільності їх подальшої експлуатації. Для знову споруджуваних резервуарів актуальність питання надійності та міцності ще більш очевидна у зв'язку з будівництвом сталених вертикальних циліндричних резервуарів місткістю від 50 до 100 тис.м³. Аварії таких резервуарів класифікуються фахівцями як промислові катастрофи, які пов'язані зі значними матеріальними збитками, необоротними екологічними наслідками, а часто з людськими жертвами.

У запропонованій дисертаційній роботі розглянуті питання підвищення тріщиностійкості сталених вертикальних циліндричних резервуарів. Як свідчать багаточисельні дані технічної та наукової літератури, присвяченої аваріям таких резервуарів, прогнозувати їх руйнування розрахунковим шляхом унеможливується із-за значної кількості факторів, які важко піддаються контролю, але суттєво впливають на надійність резервуарів. Одним із основних таких факторів є наявність у конструктивних елементах резервуарів, перш за все в циліндричній стінці, різних тріщиновидних дефектів, до яких можна віднести підрізи, непровари, газові пори, шлакові вклучення та інше. У зв'язку з цим може бути отримана лише якісна оцінка опірності резервуарів крихким руйнуванням, а ефективне керування цією характеристикою можливе лише конструктивними методами або застосуванням сталей з високим показником властивостей, які визначають їх схильність до крихких руйнувань.

Дана робота присвячена дослідженню можливості підвищення крихкої міцності сталених резервуарів методом бандажування, тобто одним із конструктивних методів. Реальною основою для виконання роботи були замовлення Держкомнафтопродукту України та УкрНДІпроектстальконструкції на обстеження сталених резервуарів та розробку методів, направлених на підвищення надійності їх експлуатації.

МЕТА РОБОТИ - теоретично та експериментально обґрунтувати ефективність підвищення тріщиностійкості сталених вертикальних циліндричних резервуарів методом бандажування. Для досягнення мети досліджень були поставлені такі завдання:

- на основі аналізу причин і факторів руйнування сталених резервуарів обґрунтувати метод, спрямований на підвищення їх тріщиностійкості;

- дослідити напружено-деформований стан циліндричної стінки резервуара з урахуванням II підсилення;

- обґрунтувати критерій тріщиностійкості циліндричної оболонки, з урахуванням II підсилення, на основі критеріїв механіки руйнування;

- використовуючи прийнятий критерій, розглянути теоретичні аспекти розрахунку, які б дозволили провести оцінку ефективності запропонованого методу;

- розробити методіку експериментальних досліджень для підтвердження прийнятих теоретичних передумов та оцінки ефективності підсилення;

- розробити інженерний метод розрахунку стінки вертикального циліндричного резервуара на тріщиностійкість з урахуванням підсилення II кільцевими бандажами.

НАУКОВА НОВИЗНА РОБОТИ. Запропоновані дві теоретичні моделі розрахунку циліндричної оболонки на тріщиностійкість з урахуванням та без урахування перерозподілу зусиль між оболонкою, яка має наскрізну тріщину, та підсилена бандажами.

На захист автором виносяться такі положення дисертаційної роботи:

- результати аналізу аварій сталених резервуарів та прийняття як основної причини руйнування наявність в стінці резервуарів різних тріщиновидних дефектів, розрахунковою моделлю яких може бути прийнята наскрізна тріщина;

- результати чисельного експерименту впливу бандажів на зміну напружено-деформованого стану циліндричної стінки резервуару, апроксимуючий вираз для визначення в ній рівня кільцевих напружень;

- розрахункова модель циліндричної бандажованої оболонки з тріщиною, побудована по аналогії з пластинкою, підсиленою стрингерами, яка має таку ж тріщину; пов'язане у зв'язку з цим рішенням задачі оцінки впливу бандажів на кінетику розкриття тріщини, розглянуте у двох постановках - з урахуванням та без урахування перерозподілу зусиль між оболонкою та бандажем;

- результати експериментальних досліджень напружено-деформова-

ного стану циліндричної оболонки, підсиленої бандажами, закономірність розподілу зусиль між оболонкою та бандажем у зоні наскрізної тріщини різної довжини;

- методика інженерного розрахунку на тріщиностійкість сталених вертикальних циліндричних резервуарів за результатами технічного обстеження.

ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ. Розроблена методика розрахунку на тріщиностійкість сталених вертикальних циліндричних резервуарів за результатами технічного обстеження. Використання методики дозволило провести оцінку технічного стану і розробити проекти підсилення сталених резервуарів місткістю від 1000 до 5000 м³ на нафтобазах Київського, Дніпропетровського та Кримського територіальних управлінь Держкомнафтопродукту України. Указана методика передана ДПІ "Ленпроектстальконструкція" для розробки типових проектів підсилення баків-акумуляторів ТЕЦ.

АПРОВАДІЄЮ РОБОТИ та її окремих частин є доповіді на:

- Республіканській науково-технічній конференції "Технологія та організація реконструкції промислових підприємств", Дніпропетровськ, 1985 р.;

- Республіканській науково-технічній конференції "Розробка ресурсозберігаючих технологій, ефективних технологій будівництва будівельних матеріалів і конструкцій та ведення будівельно-монтажних робіт", Дніпропетровськ, 1988 р.;

- Республіканській науково-технічній конференції "Підвищення ефективності системи нафтопродуктозабезпечення на основі технічного переоборювання", Кіровоград, 1988 р.;

- наукових семінарах кафедри металевих та дерев'яних конструкцій ДІБІ, Дніпропетровськ, 1986-1992 рр.;

- науково-технічному семінарі ДПІ "Ленпроектстальконструкція", Ленінград, 1988 р.;

ОВСЯГ РОБОТИ. Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти розділів, основних висновків, списку літератури та додатків. Зміст роботи викладений на 149 сторінках друкованого тексту, 53 малюнках та 6 таблицях. Список літератури становить 136 назв.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі дається обґрунтування актуальності проблеми підвищення тріщиностійкості сталених вертикальних циліндричних резервуарів. Наведена коротка анотація виконаної дисертаційної роботи.

з викладенням того нового, що вноситься автором на захист.

В ПЕРШОМУ РОЗДІЛІ "Проблема тріщиностійкості сталених вертикальних циліндричних резервуарів" проведений аналіз особливостей конструкції, її напружено-деформованого стану та особливостей експлуатації резервуарів. Відмічається суттєвий внесок, який зробили у вирішення проблеми надійності сталених резервуарів Сафарян М.К., Ашкіназі М.І., Фалькевич А.С., Дуда Р.І., Березін В.Л., Шуртов В.Є., Євтіхін В.Ф., Верьовкін С.І., Раєвський Г.В., Лівшиць Е.М., а також інші вітчизняні та зарубіжні вчені.

Наведені дані, які пояснюють особливість конструкції та умов експлуатації сталених резервуарів. Доведено, що домінуючу роль у всіх аваріях, які відбулися зі сталеними резервуарами, відіграє фактор наявності у конструктивних елементах, перш за все у стінці резервуара, різних дефектів, що підтверджується результатами дефектоскопії, наведеними у технічній літературі, а також даними обстежень сталених резервуарів, зібраними на кафедрі металоконструкцій ДІВІ. Як розрахункова модель указаних дефектів у дисертаційній роботі прийнята наскрізна тріщина, яка у будь-якому випадку буде завжди найнебезпечнішим видом дефекту. Прийняття такої розрахункової моделі дозволило ототожнити проблему підвищення крихкої міцності резервуара з проблемою підвищення його тріщиностійкості.

Аналіз методів, що спрямовані на підвищення тріщиностійкості сталених конструкцій, дає підстави зробити висновок, що стосовно сталених вертикальних циліндричних резервуарів найбільш ефективним є метод підсилення резервуара кільцевими бандажами, який дозволяє суттєво знизити рівень кільцевих напружень у стінці резервуара і має ряд переваг по відношенню до інших методів. В кінці першого розділу наведені висновки по розділу, сформульовані цілі і завдання досліджень.

У ДРУГОМУ РОЗДІЛІ "Напружено-деформований стан стінки резервуара, підсиленої кільцевими бандажами" проведений аналіз впливу бандажів на зміну НДС циліндричної оболонки. Показано, що підсилення оболонки дискретними кільцевими бандажами призводить до того, що на безмоментний стан, викликаний дією внутрішнього тиску, накладається моментний, обумовлений різною жорсткістю ділянок (див. мал.1).

Вирішення задачі, пов'язаної з визначенням закономірності зміни кільцевих напружень у циліндричній стінці резервуара, підсиленого бандажами, було побудовано ^{на} допущеннях, що в межах одного поясу стінки бандажі розташовуються з одним кроком, а рівень

гідростатичного тиску в цьому інтервалі змінюється незначно і його умовно можна вважати постійним. В цьому випадку можна обмежитись розглядом одної характерної ділянки довжиною L , яка дорівнює кроку бандажів. Запропонована задача з урахуванням симетрії відносно точки 3 є статично невизначеною при таких невідомих: X_1, X_2 - відповідно згинальний момент та поперечна сила у точках 1,5; X_3, X_4 - те ж у точках 2,4. Рішення цієї задачі виконане на основі методу сил з використанням ЕОМ. Оскільки її рішення виявилось вельми громіздким, а в подальшому передбачалось використання його для визначення величини розкриття вершини тріщини, був проведений чисельний експеримент з метою побудови наближеного апроксимуючого виразу, який дозволяє визначити кільцеві напруження в будь-якій точці циліндричної оболонки при різних параметрах бандажування. Апроксимація будувалась з використанням коефіцієнта ζ , який являє собою відношення моментної складової кільцевих напружень (σ_2) до безмоментної (σ_0)

$$\zeta = \frac{\sigma_2}{\sigma_0} \quad (1)$$

Припускалося також, що характер розподілення σ при $L < 3l_{ef}$ відповідає закону косинусів з періодом $2\pi = 2b$. При цьому

$$l_{ef} = \sqrt{\frac{L^2 \cdot R^2}{3(1-\mu^2)}} \quad (2)$$

де R - радіус оболонки, l_w - товщина оболонки, μ - коефіцієнт Пуассона. З урахуванням викладеного апроксимуючий вираз представлений у вигляді

$$\sigma = \sigma_0 + \sigma_0 (\zeta_{max} - 1) \cdot \cos\left(\frac{\pi x}{L}\right) \quad (3)$$

$$\zeta_{max} = K \cdot \frac{l_s}{l_w} \cdot \rho \left(\frac{L}{\sigma_s} \cdot d\right)$$

де K, α - постійні коефіцієнти.

У ТРЕТЬОМУ РОЗДІЛІ "Теоретичні аспекти застосування методу бандажування для підвищення тріщиностійкості сталених вертикальних циліндричних резервуарів" розглянуто силовий, енергетичний та деформаційний критерії механіки руйнування. Показано, що для оцінки тріщиностійкості будівельних конструкцій, виконаних із пластичних стадей, особливий інтерес викликає деформаційний критерій, умова тріщиностійкості при цьому може бути представлена у вигляді

$$\sigma \leq \sigma_c \quad (4)$$

де δ - розкриття вершини тріщини, δ_c - критичне розкриття тріщини, яке є константою матеріалу.

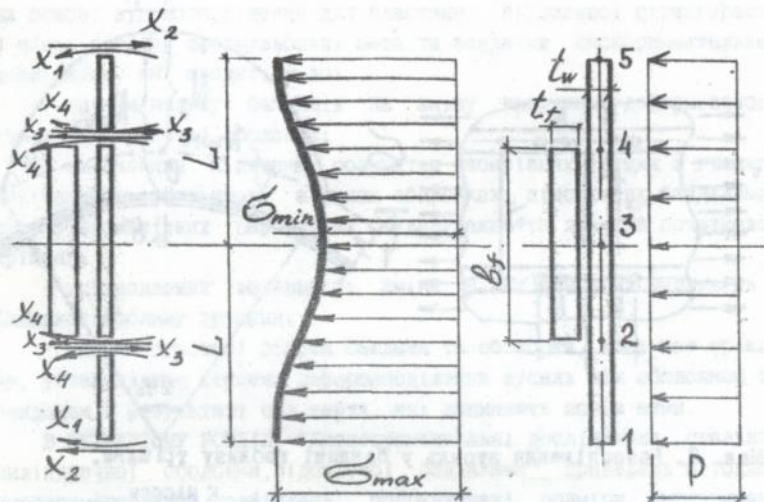
Величина розкриття вершини тріщини довільної довжини в циліндричній оболонці, яка знаходиться під дією внутрішнього тиску, у випадку довільного розподілення кільцевих розтягуючих напружень σ_x визначається по формулі

$$\delta = \frac{(2 \cdot \sqrt{\frac{E}{\pi}} \cdot \int \frac{\sigma_x \cdot dx}{\sqrt{r^2 - x^2}}) \cdot M}{\sigma_r \cdot E} \quad (5)$$

де ℓ - напівдовжина тріщини, σ_r, E - відповідно границя текучості та модуль пружності сталі, M - коефіцієнт, урахувуючий додаткові зміщення берегів тріщини внаслідок дії внутрішнього тиску.

Якщо припустити, що сили тертя між оболонкою та бандажем незначні, то ефект бандажування щодо підвищення тріщиностійкості проявляється лише у зниженні рівня кільцевих напружень і в цьому випадку величину δ можна визначити по (5) з урахуванням (3). Однак, така гіпотеза не віддає каліе повної картини впливу бандажів на розкриття вершини тріщини в циліндричній оболонці. З урахуванням сил тертя між оболонкою та бандажем картина виявляється дещо іншою. В результаті наявності тріщини в оболонці на ділянці між двома суміжними бандажами в останніх виникає градієнт кільцевих напружень з максимальним значенням у перерізу, розташованому по осі тріщини. У кільцевому напрямку рівень цих напружень буде поступово знижуватись із-за передачі частини навантаження на оболонку за рахунок сил тертя. В цьому випадку оболонку, підсилену бандажами, можна уподібнити пластинці, підсиленій стрингерами (див. мал. 2).

Різниця між оболонкою, підсиленою бандажами, та пластинкою зі стрингерами полягає в способі взаємодії підсилюючого та підсиленого елементів. У випадку пластини зі стрингерами ця взаємодія обумовлена наявністю заклепок, приєднуючих стрингер до пластини, а у випадку бандажованої оболонки - за допомогою сил тертя, що виникають між оболонкою і бандажами. Для того, щоб використати розрахункову методику, розроблену для пластини, яка має тріщину та підсилена стрингерами, стосовно до оболонки, підсиленої бандажами, необхідно визначити деякі розрахункові параметри. В даному випадку це відстань $2y_0$ а також зусилля N , з яким стрингер (бандаж) діє на підсилюваний елемент поблизу тріщини. Відносно



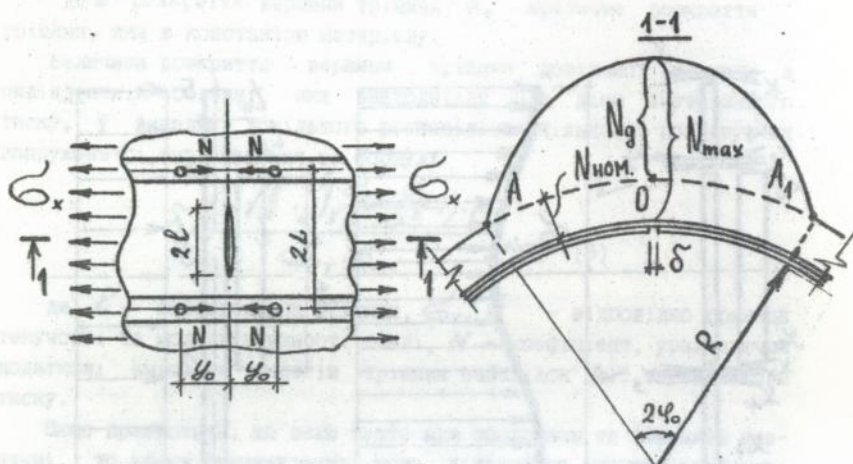
Мал. 1. Рапругий стал циліндричної оболонки, підсиленої кільцевим бандажем.

зусилля N можна припустити, що при наявності тріщини воно складається з двох складових $N_{ном}$ - номінального зусилля, без урахування тріщини, та N_g - додаткового зусилля, яке виникає внаслідок наявності тріщини. Остання складова буде визначатись частиною зусилля, вивільненого із-за тріщини і розподіленого між оболонкою та бандажем. В першому приближенні прийнято, що ця частина зусилля розподілиться між оболонкою та бандажем пропорційно їх площам. Для визначення параметра $2\gamma_0$ розглянута екстремальна ситуація, коли тріщина знаходиться під бандажем (переріз 1-1 мал.2). Закономірність зміни зусилля N на ділянці AOA , буде визначатись силами тертя, які в свою чергу можуть бути описані відомою формулою Л.Ейлера

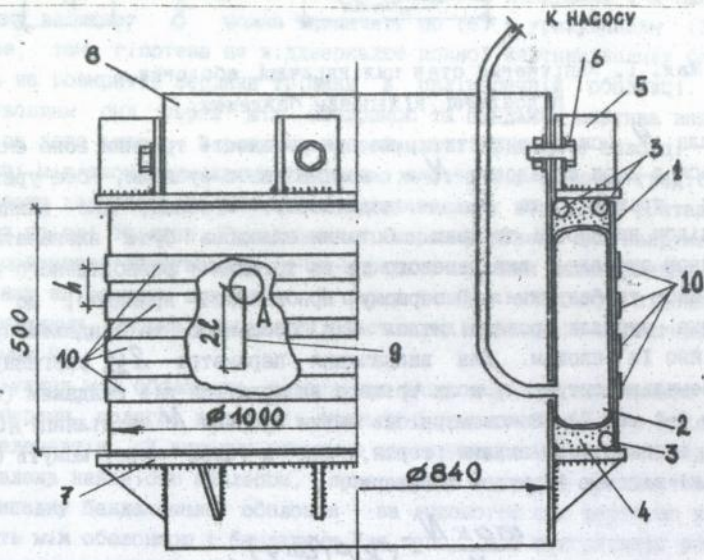
$$\frac{\max N}{N} = \exp(\varphi \cdot f), \quad (8)$$

де φ - текуча кутова координата, f - коефіцієнт тертя.

В подальшому довжина дуги AOA приймалась як шуканий параметр $2\gamma_0$. Якщо у випадку пластини зі стрингерами епюра N в межах ділянки $2\gamma_0$ має одну ординату, то в даному випадку ця епюра



Мал. 2. Розподілення зусиль у бандажі поблизу тріщини.



Мал. 3. Схема експериментальної устатковки.

- 1-послідна оболонка; 2-навантажувча гумова оболонка; 3- ущільнюча пориста гума; 4- шар піску; 5- торцеве з'ємне кільце; 6- болт; 7- торцеве жорстке кільце; 8-жорстка оболонка; 9-тріщина; 10-бандажі.

представлялась у вигляді експоненціальної залежності.

Після визначення N та $k\%$ величина S може бути підрахована на основі відомого рішення для пластини, підсиленої стрингерами. В кінці розділу сформульовані мета та завдання експериментальних досліджень, які зводяться до:

- оцінки впливу бандажів на зміну напружено-деформованого стану циліндричної оболонки;
- визначення кінетики розкриття наскрізних тріщин в гладких циліндричних оболонках, а також оболонках, підсилених бандажами, при різноманітних параметрах бандажування та довжини початкової тріщини;
- установлення залежності зміни рівня кінцевих напружень у бандажах поблизу тріщини;
- оцінки зумисної роботи бандажа та оболонки, яка має тріщину, установлення ступеня перерозподілення зусиль між оболонкою та бандажем в результаті сил тертя, які виникають поміж ними.

В ЧЕТВЕРТОМУ РОЗДІЛІ "Експериментальні дослідження сталюї циліндричної оболонки, підсиленої бандажами" приведена методика експериментальних досліджень, обґрунтовані розміри експериментальних циліндричних оболонок, довжина наскрізних тріщин, а також параметри бандажування. Розроблена конструкція експериментальної установки (див. мал. 3) дозволила випробувати циліндричні оболонки при дії на них внутрішнього тиску. Краї випробуваних оболонок були вільні від закріплення, що давало змогу одержати безмоментний (до установки бандажів) напружений стан по всій довжині оболонки. Розтягуючі напруження у випробуваних оболонках відповідали рівню розтягуючих напружень в циліндричній стінці натуральних резервуарів.

Досліджувані оболонки мали штучно створені тріщини довжиною 30, 60, 90, 120, 150 мм. Для отримання тріщини в оболонках робився відповідної довжини пропил, вершина якого загострювалась за допомогою вольфрамового дроту діаметром 0,18 мм та алмазної пасти. Замір величини розкриття вершини пропила проводився за допомогою спеціально виготовлених двоажильних датчиків зсуву, які приєднувались до вимірювача деформації. Контроль рівня напруження в оболонці та бандажах здійснювався за допомогою тензореєстрів. Експериментальні циліндричні оболонки виготовлялись із двох найбільш поширених у резервуаробудуванні марок сталей ВстЗпсб та 09Г2С завтовшки 3 мм, бандажі зі сталюї смуги шириною 35 мм, товщиною 2, 3, 4 мм, сталь марки ВстЗпсб. Конструктивно бандажі були виконані складеними, рівень попереднього напруження забезпе-

чувався затяжкою болтів затяжних пристроїв за допомогою динамометричного ключа.

На першому етапі експериментальних досліджень був проведений цикл навантаження експериментальних оболонок внутрішнім тиском при різних варіантах бандажування. Аналіз результатів дозволив зробити висновок, що експериментальні значення кільцевих напружень в оболонці відповідають залежностям (5), при чому ступінь відповідності зростає по мірі збільшення кроку бандажів. Значення коефіцієнта ϵ для експериментальних оболонок знаходились в межах 0.07-1.12, усереднений рівень кільцевих напружень в стінці підсиленої оболонки може бути визначений по формулі

$$\sigma = \frac{P \cdot R}{t_w + t_{np}} \quad (7)$$

де P - рівень тиску в оболонці, t_{np} - приведена товщина підсилення, отримана при умові рівномірного розподілення металу підсилення в інтервалі, рівному кроку бандажів.

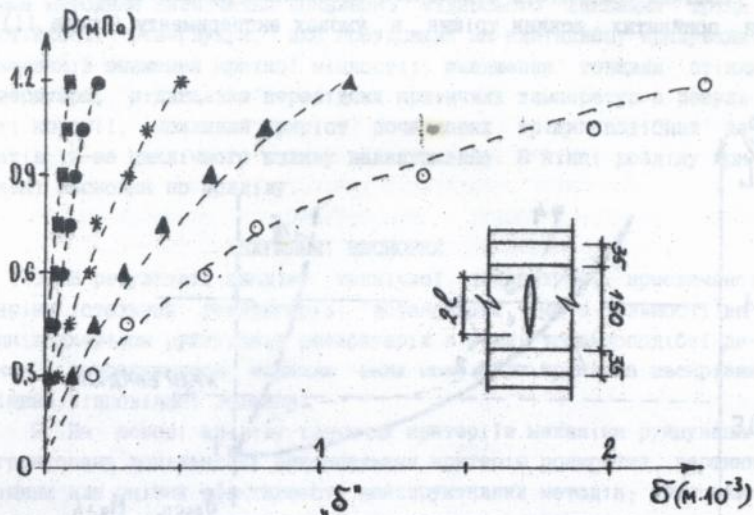
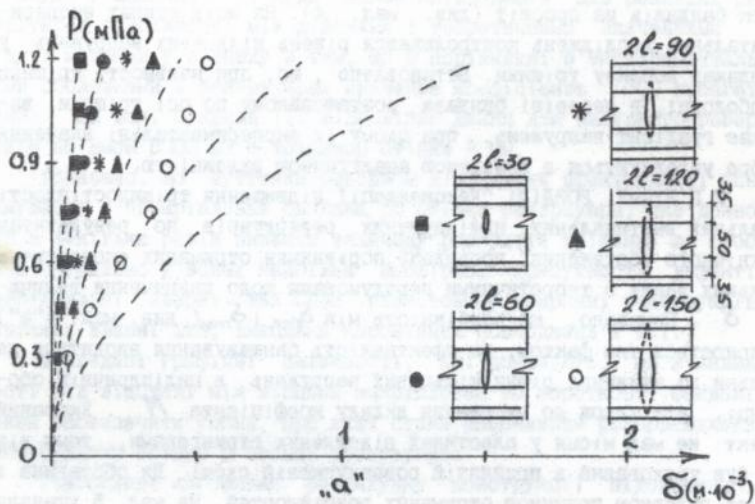
Для оцінки впливу бандажів на зміну величини розкриття вершини тріщини в циліндричній оболонці був проведений етап експериментальних досліджень по визначенні величини δ як для гладких (непідсиленних) оболонок, так і для оболонок, підсиленних бандажами при різних параметрах бандажування. Встановлено, що експериментальні значення δ бандажованих оболонок мають добру збіжність зі значеннями δ , підрахованими по (5), практично така збіжність відмічалась і тоді, коли теоретичні значення δ визначались по відомій формулі

$$\delta = \frac{p \cdot \sigma_r \cdot l}{\sigma_r \cdot E} \cdot \ln \left(\sec \frac{\sigma_r}{2 \sigma_r} \right) \cdot M \quad (8)$$

а значення ϵ по формулі (7).

Для отримання можливості використання розрахункової методики визначення δ , побудованої на аналогії між бандажованою оболонкою та пластиною, підсиленою стрингерами, був проведений етап експериментальних досліджень з бандажованою циліндричною оболонкою, яка мала наскрізний пропил на всю висоту оболонки. Отримані результати дозволили відкоригувати розрахункові параметри 2γ і N , а також установити закономірність розподілення кільцевих напружень в бандажах поблизу тріщини.

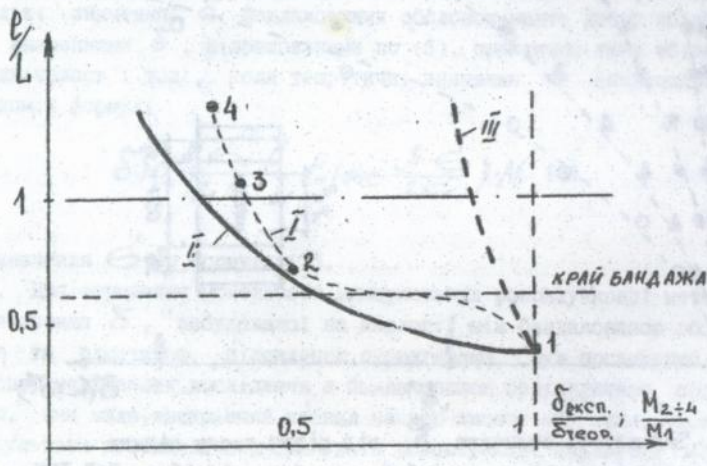
Установлена розбіжність між теоретичними та експериментальними значеннями δ у випадку, коли довжина тріщини перевищувала



Мал. 4. Залежність величини δ від рівня тиску рідини в експериментальних оболонках: "а"—крон бандажів 85мм; "б"—185мм

крок бандажів на провіт (див. мал. 4). На всіх етапах експериментальних досліджень контролювався рівень кільцевих напружень у бандажах поблизу тріщини. Встановлено, що, при наявності тріщини в оболонці, в перерізі бандажа, розташованому по осі тріщини, виникає градієнт напружень, при цьому їх експериментальні значення добре узгоджуються з виведеною аналітичною залежністю.

У П'ЯТОМУ РОЗДІЛІ "Рекомендації підвищення тріщиностійкості сталених вертикальних циліндричних резервуарів по результатах технічного обстеження" проведене порівняння отриманих експериментальних даних з теоретичними передумовами щодо визначення величини δ . Показано, що розбіжність між $\delta_{\text{експ.}}$ і $\delta_{\text{теор.}}$ (див. мал. 4"а") пояснюється тим фактом, що ефективність бандажування зводиться не тільки до зниження рівня кільцевих напружень в циліндричній оболонці, але також до зменшення вкладу коефіцієнта M . Указаний ефект не мав місця у пластинах підсилених стрингерами, тому він не був урахований в прийнятій розрахунковій схемі. Ця обставина і стала головною причиною отриманих розбіжностей. На мал. 5 указана розбіжність подана кривою I у віносних величинах. Тут же приведена графічна залежність відносного збільшення коефіцієнта M для прийнятих довжин тріщин в умовах експерименту (крива II).



Мал.5. Розбіжність між теоретичними та експериментальними значеннями величини δ .

Як видно з малюнка, ці криві майже співпадають. Для реальних резервуарів розбіжності між дійсними і теоретичними значеннями будуть меншими у зв'язку з тим, що в порівнянні з експериментальними оболонками в резервуарах значення коефіцієнта M набагато менше. На мал. 5 крива III відповідає даним для натурального резервуара об'ємом 5000 м³ з товщиною стінки 8 мм.

Доказано, що суттєвим резервом підвищення ефективності бандажування є прикріплення бандажа до стінки резервуара, яке дозволяє в декілька разів знизити величину розкриття тріщини, що особливо актуально у зонах найбільш ймовірної присутності дефектів (вертикальні зварні шви при листовому збиранні резервуарів, монтажні зварні шви, ланцюжки корозійних пошкоджень і т.і.)

Приведені графічні залежності, які доказують, що в залежності від відстані між місцями закріплення та жорсткості бандажів можна забезпечити умови, при яких стане неможливим розповсюдження нестабільних тріщин у стінці резервуара.

Розроблені алгоритми розрахунку конструкції підсилення із умов тріщиностійкості в залежності від технічного стану резервуара, який визначається за результатами обстеження. Викладена інженерна методика визначення показника відносного зниження тріщиностійкості резервуара, яка побудована на адитивному врахуванні показників зниження крихкої міцності: зменшення товщини стінки резервуара, підвищення перехідних критичних температур в результаті корозії, можливий приріст початкових тріщиноподібних дефектів із-за циклічного впливу навантаження. В кінці розділу приведені висновки по розділу.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В результаті аналізу технічної літератури, присвяченої аваріям сталевих резервуарів, встановлено, що в більшості випадків джерелом руйнування резервуарів є різні тріщиноподібні дефекти, розрахунковою моделлю яких може бути прийнята наскрізна тріщина відповідної довжини:

2. На основі аналізу існуючих критеріїв механіки руйнування обгрунтована доцільність використання критерію розкриття вершини тріщини для оцінки ефективності конструктивних методів, спрямованих на підвищення тріщиностійкості сталевих резервуарів.

3. З'ясована фізична сутність процесу взаємовпливу кільцевого бандажа та циліндричної оболонки у зоні розташування наскрізної тріщини. Для визначення величини розкриття вершини тріщини в бандажованій оболонці розроблені та апробовані дві тео-

ретичні розрахункові моделі: з урахуванням перерозподілення зусиль між оболонкою і бандажем та без цього урахування, встановлена умова правомірності застосування указаних методик.

4. Експериментально доведено, що установка бандажів дозволяє знизити рівень кільцевих напружень в підсиленій циліндричній оболонці на 20-30%, при цьому, залежно від параметрів бандажування, величина коефіцієнта η , який характеризує відношення моментної складової напружень до безмоментної, може знаходитись в межах 0.07 - 0.12.

5. В процесі проведення експериментальних досліджень спостерігалась добра відповідність експериментальних та теоретичних даних. Зниження величини розкриття вершини наскрізної тріщини при підсиленні циліндричної оболонки кільцевими бандажами склало від 15 до 85% при відповідній відносній товщині конструкції підсилення від 12.5 до 40%.

6. Виявлено, що при довжій тріщині $l > l_{\frac{\sigma_s}{\sigma}}^*$ має місце додатковий вплив бандажів, пов'язаний зі зменшенням випинання берегів тріщини під дією внутрішнього тиску. Загомість цього ефекту зростає із зменшенням радіуса оболонки.

7. Експериментально встановлено, що в перетині бандажа, розташованого по осі тріщини, виникає концентрація кільцевих напружень, рівень якої може в 1,5 рази перевищувати номінальний залежно від довжини наскрізної тріщини в підсилюваній оболонці. Указаний факт необхідно урахувувати при розрахунках міцності бандажа.

8. Розроблена інженерна розрахункова методика, яка на основі технічного обстеження резервуарів дозволяє оцінити зниження показників крихкої міцності і визначити основні розрахункові параметри конструкцій підсилення у вигляді кільцевих бандажів.

Основні положення дисертації опубліковані у роботах:

1. Галаченко Е.В. Исследование эффективности метода бандажирования для повышения трещиностойкости листовых конструкций // Повышение эффективности строительства: Сб. науч. тр. / ДИСИ. - Киев: УМК ВО, 1988. - С. 39-43.

2. Галаченко Е.В. Методика экспериментального исследования трещиностойкости стальных резервуаров // Разработка ресурсосберегающих технологий, эффективных технологий производства строительных материалов и конструкций и ведения строительно-монтажных работ: Тез. докл. Респ. науч.-техн. конф. - Днепропетровск. - 1988. - С. 262-264.

3. Сильвестров А.В., Егоров Е.А., Галаченко Е.В. Применение метода резервирования при реконструкции стальных резервуаров / Технология и организация реконструкции промышленных предприятий:

Тез. докл. Респ. науч.-техн. конф. - Днепропетровск. - 1985. - С. 17-18.

4. Галаченко Е.В. Повышение хрупкой прочности стальных резервуаров / Повышение эффективности системы нефтепродуктообеспечение на основе технического перевооружения: Тез. докл. Респ. науч.-техн. конф. - Киев. - 1988. - С. 111-112.

465194

AB 27.334

AB 27.334