

Наука і сучасні технології

УДК 621.882:539.3

МЕТОД РОЗРАХУНКУ КОНТАКТНОГО ТИСКУ ДЛЯ МУФТИ І ТРУБИ, З'ЄДНАНИХ З НАТЯГОМ

Є.І.Крижанівський, І.І.Палійчук

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42264
e-mail: tzng@nung.edu.ua

На основаних фізического механізму упруого взаємодіявання контактних участків муфти і труби, соединенных с радиальным натягом, математически сформулированы условия равновесия контактных давлений, баланса деформаций и натяга. Разработанная методика одновременно учитывает кольцевые, радиальные и осевые деформации стенок, а также обеспечивает расчет деформационных и силовых параметров на нетонкостенных участках соединения, так как объединяет примененные формулы Ламе и моментной теории.

Ефективність експлуатації обсадних та насосно-компресорних труб, які застосовуються для видобування нафти і газу, залежить від міцності і герметичності їх муфтових з'єднань. Під час їх згвинчування утворюється розподілений тиск на контактних ділянках різі та ущільнення.

Конструктивно муфта і труба мають лінійно змінну товщину стінок внаслідок конусності контактних поверхонь і з'єднанні з радіальним натягом. Для визначення їх пружної взаємодії знайдено загальні вирази контактного тиску та параметрів осесиметрично деформованого стану (зміщення, повороти, моменти, сили), які викликає цей тиск у їх стінках [1]. Встановлено, що математичні вирази цього тиску $P(x)$ і відповідних радіальних зміщень стінки містять чотири доданки

$$P(x) = K_1 \cdot x + K_2 \cdot x^2 + K_3 + K_4 \cdot x \cdot \ln x, \quad (1)$$

де: $K_1 \dots K_4$ – постійні коефіцієнти інтегрування; x – координата перетину (відстань від початку координат). Для визначення невідомих коефіцієнтів необхідно скласти чотири рівняння.

Проблема полягає у тому, що муфта і труба у з'єднанні мають різні напрямки збільшення товщини стінки. Відповідно вони мають різні власні системи координат, кожна з яких визначається положенням початку координат, де товщина геометрично дорівнює нулю ("нуль" ділянки), і додатнім напрямком, у якому товщина стінки зростає [1]. Тому рівняння контактної

The balance conditions for the contact pressures and for the deformations and tightness are mathematically formulated and based on the physical mechanism of the elastic interaction of the pipes and couplings contact sections. The elaborated principles take into account the annular, radial and axial walls deformations at the same time and enable to give the calculation of the deformation and power parameters of the thick-walled sections of the pipe joint, since use the Lamé equation and the moment theory of the cylinders stress.

го тиску на одній ділянці можна скласти лише окремо для муфти і труби, що подвоює число невідомих. Постає завдання розробити метод знаходження коефіцієнтів рівнянь контактної тиску і деформаційних параметрів у з'єднанні.

1 Принцип рівноваги контактних тисків у з'єднанні муфти і труби

Проаналізуємо детально утворення пружних деформацій ділянок з'єднання. У процесі згвинчування муфти і труби внаслідок натягів у різі і ущільненні їх стінки отримують радіальні зміщення w (радіус муфти збільшуються, а труби – зменшується). Кожна ділянка у крайових перетинах обперта на суміжні ділянки з іншими навантаженням, товщиною і жорсткістю. Внаслідок обпирання та змінної товщини зміщення w неоднакові по довжині ділянки, тому стінка отримує вигини, які у кожному перетині супроводжуються поворотом v , згинальним моментом M і поперечною "перерізуючою" силою N .

У свердловині внутрішній тиск діє зсередини і збільшує радіус труби, тому фактичний натяг і контактний тиск у з'єднанні збільшується. Зовнішній тиск діє на муфту і зменшує її радіус, від чого натяг і тиск на контактних ділянках з'єднання теж збільшується. Отже, під дією експлуатаційних тисків стінки ділянок муфти і труби отримують додаткові вигини та додатковий комплекс параметрів w^* , v^* , M^* , N^* .

Як результат, у з'єднанні встановлюється рівновага між пружно-деформованим станом, який спричинений контактними тисками в ущільненні і у різі від натягів згвинчування, та відповідним станом від експлуатаційних тисків.

В основу вирішення задачі покладемо фізичний механізм утворення пружного з'єднання. Він полягає у тому, що на контактних, з'єднаних із натягом, ділянках муфти і труби взаємна радіальна дія стінок одна на одну однакова за величиною і протилежна за напрямком.

Виходячи з цього, формулюємо умову рівноваги контактних тисків, а саме: сума значень цих тисків, визначених для муфти і для труби у заданому перетині, дорівнює нулю в усіх перетинах вздовж контактної ділянки. Математичний вираз цієї умови такий:

$$P_m(x_m) + P_t(x_t) = 0, \quad (2)$$

де: x_m і x_t – координати одного і того ж перетину з'єднання у власних системах відліку муфти і труби; $P_m(x_m)$ і $P_t(x_t)$ – значення контактної тиску у цьому перетині за формулою (1) окремо для муфти і труби.

Функції $P_m(x_m)$ і $P_t(x_t)$ задані у різних системах відліку, тому їх треба виразити через одну змінну X , тобто задати у спільній системі координат. За її початок вибрано площину симетрії (центр) згвинченого з'єднання. Якщо один і той же перетин має загальну координату X у з'єднанні і власні координати x_m – у муфти та x_t – у труби, то зв'язок між ними такий [1]

$$x_t = X - O_t, \quad x_m = O_m - X, \quad X = O_m - x_m = x_t - O_t, \quad (3)$$

де O_m і O_t – координати "нулів" ділянок муфти і труби відносно центра з'єднання.

За умовою рівноваги тисків рівняння (2) повинно виконуватись на усій довжині контактної ділянки незалежно від координати перетину. Щоб математично сформулювати цю вимогу, виразимо функції контактної тиску (1) у загальній системі координат. Для цього застосуємо розклад у степеневий ряд Тейлора за значеннями похідних [2]

$$P(X) = P_C + \frac{X - X_C}{1!} \cdot \frac{dP_C}{dX} + \frac{(X - X_C)^2}{2!} \cdot \frac{d^2P_C}{dX^2} + \frac{(X - X_C)^3}{3!} \cdot \frac{d^3P_C}{dX^3} + \frac{(X - X_C)^4}{4!} \cdot \frac{d^4P_C}{dX^4} + \dots, \quad (4)$$

де: X_C – загальна координата перетину C , який вибрано посередині контактної ділянки; P_C і $d^n P_C / dX^n$ – розраховані значення у перетині C відповідно самої функції (1) та її 1-ої, 2-ої, 3-ої, 4-ої похідних за змінною X ; $(X - X_C)$ – відстань від будь-якого перетину X ділянки до перетину C , спільного для муфти і труби, який відіграє роль початку координат контактної ділянки.

Для виразу (4) знайдемо похідні контактної тиску за загальною X та за власними координатами муфти x_m і труби x_t за правилом диференціювання складних функцій [2], застосувавши похідні від (3). Вирази потрібних похідних від тиску знайдемо окремо для муфти і для труби із (1). Вони мають такий загальний вигляд

$$\begin{aligned} P'(x) &= K_1 + 2xK_2 + K_4(\ln x + 1), \\ P''(x) &= 2K_2 + x^{-1}K_4, \\ P'''(x) &= -x^{-2}K_4, \\ P^{IV}(x) &= 2x^{-3}K_4. \end{aligned} \quad (5)$$

Підставивши у (5) координати середини ділянки для муфти x_{mC} і труби x_{tC} за (3), отримаємо необхідні для (4) вирази контактної тиску та його похідних у перетині C . Підставивши їх у (4) окремо для муфти і для труби, отримаємо шукані функції $P_m(X)$ і $P_t(X)$ у вигляді розкладу Тейлора, виражені у загальній системі координат від аргумента X . Підставимо ці функції в умову рівноваги контактних тисків (2), де згрупуємо доданки з однаковим степенем X

$$P_m(X) + P_t(X) = \{P_{mC} + P_{tC}\} - (X - X_C)(P'_{mC} - P'_{tC}) + \frac{1}{2}(X - X_C)^2(P''_{mC} + P''_{tC}) - \frac{1}{6}(X - X_C)^3(P'''_{mC} - P'''_{tC}) + \frac{1}{24}(X - X_C)^4(P^{IV}_{mC} + P^{IV}_{tC}) = 0, \quad (6)$$

де C – індекс, який позначає значення функції і її похідних у перетині C за формулами (1) і (5).

Рівняння рівноваги контактних тисків у вигляді суми добутків (6) фізично повинно дорівнювати нулю по усій довжині контактної ділянки незалежно від координати перетину X , хоча $(X - X_C)$ не рівні нулю. Тому умова (2) виконується тоді і тільки тоді, коли кожна сума чи різниця тисків та їх похідних у фігурних дужках (6) рівна нулю. Для цього підставимо координати для муфти x_{mC} і труби x_{tC} у (1) і (5) та з відповідних виразів у фігурних дужках отримаємо систему лінійних рівнянь відносно коефіцієнтів K_j

$$\begin{aligned} x_{mC}K_{1m} + x_{mC}^2K_{2m} + 1 \cdot K_{3m} + x_{mC} \ln x_{mC} \cdot K_{4m} + \\ + x_{tC}K_{1t} + x_{tC}^2K_{2t} + 1 \cdot K_{3t} + x_{tC} \ln x_{tC} \cdot K_{4t} = 0, \\ 1 \cdot K_{1m} + 2x_{mC}K_{2m} + 0 \cdot K_{3m} + (\ln x_{mC} + 1)K_{4m} - \\ - 1 \cdot K_{1t} - 2x_{tC}K_{2t} - 0 \cdot K_{3t} - (\ln x_{tC} + 1)K_{4t} = 0, \\ 2 \cdot K_{2m} + x_{mC}^{-1}K_{4m} + 2 \cdot K_{2t} + x_{tC}^{-1}K_{4t} = 0, \\ - K_{4m} \cdot x_{mC}^{-2} + K_{4t} \cdot x_{tC}^{-2} = 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Похідні вище 3-го порядку застосовувати недоцільно внаслідок їх мализни, оскільки їх отримують з (5) діленням 4-ої складової на координату x . Найменше значення x має ділянка ущільнення труби ОТТГ: за товщини торця 3 мм величина складає $x=103$ мм, тому ділення залишає лише 0,97% від попереднього доданка.

Отже, за умовою рівноваги тисків на кожній контактній ділянці з'єднання муфти і труби можна скласти 4 рівняння із необхідних 8.

2 Принцип балансу радіальних деформацій і натягу у з'єднанні муфти і труби

У роз'єданому стані радіус контактної поверхні труби більший за радіус муфти (чи муфти менший, ніж труби) на величину радіального натягу Δ . Тому в процесі згвинчування труба входить у муфту і розтискає її, а муфта стискає

трубу. Внаслідок цього радіус муфти збільшується на величину W_m , а труби – зменшується на W_t .

Оскільки між їх поверхнями утворюється щільний фізичний контакт, то радіальне зміщення (розширення) W_m стінки муфти не може бути більшим за натяг Δ , зменшений на зміщення W_t труби. З іншого боку, щоб не порушити контакт, стінка труби фізично не може радіально зміститись (звунзитись) більше, ніж на натяг Δ , зменшений на розширення W_m муфти.

Виходячи з цього, сформулюємо умову балансу радіальних деформацій і натягу: сума зміщень стінок муфти W_m (додатніх) та труби W_t (від’ємних) у з’єднанні дорівнює радіальному натягу Δ у будь-якому перетині контактної ділянки. Математичний вираз цієї умови такий

$$W_m(x_m) - W_t(x_t) = \Delta, \quad (8)$$

де: x_m і x_t – координати даного перетину у власних системах відліку муфти і труби; $W_m(x_m)$ і $W_t(x_t)$ – зміщення стінок муфти і труби у цьому ж перетині.

Рівняння (8) і (2) математично цілком аналогічні. Функції $W_m(x_m)$ і $W_t(x_t)$ задані у власних системах відліку і їх теж треба виразити через одну змінну X , тобто задати у загальній системі координат з’єднання. Тому для розв’язання рівняння (8) можна повністю використати розроблену методику розкладання функції у ряд Тейлора та її формули (3-6). Замість функцій $P(x)$ у (8) застосуємо функції $W(x)$ осесиметричних вигинів стінки, які мають три складові [1]

$$W(x) = w + w_* + w_0, \quad (9)$$

де: w – вигини від опирання на суміжні ділянки; w_* – вигини від контактного тиску, які отримують із (1); w_0 – вигини від експлуатаційних тисків у свердловині [1].

Похідні від цих складових отримаємо за правилами диференціювання [2]. У знайдених вирази складових функцій та їх похідних підставимо відомі із (3) координати для муфти x_{mC} і труби x_{tC} та розрахуємо їх значення у перетині C посередині контактної ділянки. Застосуємо їх у розкладі Тейлора зразка (4) окремо для муфти і для труби. Звідси будемо мати шукані функції $W_m(X)$ і $W_t(X)$ від аргумента X , виражені у спільній системі координат. Ці функції підставимо в умову балансу деформацій і натягу (8), де згрупуємо доданки з однаковим ступенем X

$$W_m(x_m) - W_t(x_t) = \{W_{mC} - W_{tC}\} - (X - X_C) \{W'_{mC} + W'_{tC}\} + \frac{1}{2}(X - X_C)^2 \times \{W''_{mC} - W''_{tC}\} - \frac{1}{6}(X - X_C)^3 \{W'''_{mC} + W'''_{tC}\} + \dots = \Delta. \quad (10)$$

Рівняння балансу деформацій і натягу у вигляді (10) повинно виконуватись по усій контактній ділянці незалежно від координати X . Вираз у першій фігурній дужці рівняння є сумою зміщень стінок муфти і труби посередині ділянки, тому уже рівна натягу Δ . Вираз у дужках $(X - X_C)$ не рівний нулю, тому умова (10) виконується тоді і тільки тоді, коли вираз у кожній із наступних фігурних дужок із сумою

значень похідних рівний нулю. Отже, підставляючи (9) у фігурні дужки, із умови балансу деформацій і натягу виду (10) отримуємо систему рівнянь у загальному вигляді

$$\begin{aligned} w_{mC} + w_{*mC} - w_{tC} - w_{*tC} &= \Delta - w_{0mC} + w_{0tC}, \\ w'_{mC} + w'_{*mC} + w'_{tC} + w'_{*tC} &= -w'_{0mC} - w'_{0tC}, \\ w''_{mC} + w''_{*mC} - w''_{tC} - w''_{*tC} &= -w''_{0mC} + w''_{0tC}, \\ w'''_{mC} + w'''_{*mC} + w'''_{tC} + w'''_{*tC} &= -w'''_{0mC} - w'''_{0tC}. \end{aligned} \quad (11)$$

де C – індекс, який позначає значення функцій та їх похідних у перетині C посередині ділянки.

У системі (11) функції W_{iC} та їх похідні відомі [1]. У їх вирази підставимо координати x_{mC} і x_{tC} , які перетворюють їх у суму значень із коефіцієнтами K_j , і застосуємо їх у рівняннях (11). Таким чином отримаємо систему ще 4 необхідних лінійних рівнянь відносно цих коефіцієнтів для кожної контактної ділянки з’єднання.

Отже, виходячи із фізичного механізму утворення пружної взаємодії контактних ділянок муфти і труби, з’єднаних з радіальним натягом, сформульовано умови рівноваги контактних тисків та балансу деформацій і натягу, для яких виведено математичні рівняння. Розроблена методика їх перетворення на систему лінійних рівнянь із застосуванням розкладу Тейлора дає змогу визначити невідомі коефіцієнти для контактних тисків на усіх ділянках з’єднання.

3 Застосування теорії Ламе для нетонкостінних контактних ділянок

Розроблена методика потребує глибшого аналізу у випадку застосування до нетонкостінних ділянок муфти і труби. З умови (2) рівноваги величину контактного тиску, тобто коефіцієнти K виразу (1), визначають безпосередньо на контактній поверхні. А система (11) рівнянь балансу містить складові як від вигинів середньої поверхні (перша складова), так і від тиску на двох фізичних (внутрішній, зовнішній) поверхнях (друга, третя складові). У нетонкостінних ділянках ці поверхні треба розрізати, тому що поверхневий тиск викликає неоднакове радіальне зміщення шарів стінки по товщині.

Детальний аналіз механізму утворення зміщень стінок у з’єднанні з натягом свідчить про те, що їх баланс (8) виникає саме на контактних поверхнях. Тут внаслідок натягу утворюється контактний тиск, який діє на внутрішню поверхню муфти (збільшує її радіус) та на зовнішню поверхню труби (зменшує її радіус). Власне, баланс із натягом утворює сума радіальних зміщень саме цих фізичних поверхонь. Зміна радіуса нетонкостінної ділянки, на яку діє поверхневий тиск, відбувається одночасно за рахунок її кільцевих (тангенційних) і радіальних деформацій (включаючи зміщення шарів по товщині стінки). Одночасно врахувати ці види деформацій можна за допомогою теорії Ламе [3].

Відома формула Ламе показує радіальне (по товщині стінки) зміщення кільцевих шарів циліндра. Тому для деякої поверхні радіуса r її зміщення (зміна радіуса) від дії поверхневих тисків P_V і P_Z знаходиться так [1;3]

$$w_* = \frac{P_V R_V^2 - P_Z R_Z^2}{R_Z^2 - R_V^2} \cdot \frac{1 - \mu}{E} \cdot r + \frac{(P_V - P_Z) R_V^2 R_Z^2}{R_Z^2 - R_V^2} \cdot \frac{1 + \mu}{E} \cdot \frac{1}{r} =$$

$$= \frac{P_V \cdot R_V^2}{E \cdot S} \cdot \left(\frac{1 - \mu}{2} \cdot \frac{r}{R_C} + \frac{1 + \mu}{2} \cdot \frac{R_Z^2}{r \cdot R_C} \right) -$$

$$- \frac{P_Z \cdot R_Z^2}{E \cdot S} \cdot \left(\frac{1 - \mu}{2} \cdot \frac{r}{R_C} + \frac{1 + \mu}{2} \cdot \frac{R_V^2}{r \cdot R_C} \right), \quad (12)$$

$$R_Z^2 - R_V^2 = 2 \cdot S \cdot R_C,$$

де: r і R – радіуси поверхонь; S – товщина стінки; P – тиск, який діє на поверхню; V, Z, C – індекси, які показують належність параметра відповідно до внутрішньої, зовнішньої і середньої поверхонь циліндра; доданки з однаковими тисками згруповані.

Виразимо товщину стінки S через координату x від "нуля" ділянки [1], зовнішній R_Z і внутрішній R_V радіуси – через середній R_C і половину товщини S , таким чином

$$S = x \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad \alpha = 0,5 \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

$$R_Z = R_C (1 + \alpha x), \quad R_V = R_C (1 - \alpha x). \quad (13)$$

Спочатку розглянемо дію контактної тиску на муфту та зміщення w_m її контактної поверхні, яка є внутрішньою. Її радіус R_V застосуємо у формулі Ламе (12), підставивши вирази (13), і після перетворень отримаємо

$$w_m = \frac{P(x) \cdot R_C^2}{E \cdot S} \cdot B_{mV} - \frac{P_Z \cdot R_C^2}{E \cdot S} \cdot B_{mZ}, \quad (14)$$

де уведені такі функції, отримані у дужках:

$$B_{mV} = \frac{1}{2} (1 - \mu) (1 - \alpha x)^3 + \frac{1}{2} (1 + \mu) (1 - \alpha x) (1 + \alpha x)^2 =$$

$$= -\alpha^3 x^3 + (1 - 2\mu) \alpha^2 x^2 - (1 - 2\mu) \alpha x + 1, \quad (15)$$

$$B_{mZ} = (1 - \alpha x) (1 + \alpha x)^2 = -\alpha^3 x^3 - \alpha^2 x^2 + \alpha x + 1.$$

Формула Ламе вигляду (14) містить добутки 2-ох функцій. Перша – описує зміщення внутрішньої контактної поверхні муфти через серединний радіус її стінки за моментною теорією [1]. Одночасно друга функція (15) враховує радіальні зміщення шарів по товщині стінки муфти, бо (14) є формулою Ламе, та їх нерівномірність вздовж ділянки внаслідок змінної товщини.

Для муфти внутрішній тиск є контактним згідно із (1): $P_V = P(x)$, а зовнішній P_Z – постійним. Тому перший доданок формули (14) відповідає складовій w_{*m} у системі (11), а другий – складовій w_{0m} . Від цих складових за правилом диференціювання добутку функцій [2] легко знайти потрібні для системи (11) похідні. Зрозуміло, що 4-та похідна від виразів (15) рівна нулю.

Тепер розглянемо дію контактної тиску на трубу та зміщення її контактної поверхні, яка є зовнішньою. Її радіус R_Z застосуємо у формулі Ламе (12), потім підставимо вирази (13) і після перетворень отримаємо

$$w_t = \frac{P_V \cdot R_C^2}{E \cdot S} \cdot B_{tV} - \frac{P(x) \cdot R_C^2}{E \cdot S} \cdot B_{tZ}, \quad (16)$$

де уведені такі функції, отримані у дужках:

$$B_{tZ} = \frac{1}{2} (1 - \mu) (1 + \alpha x)^3 + \frac{1}{2} (1 + \mu) (1 + \alpha x) (1 - \alpha x)^2 =$$

$$= \alpha^3 x^3 + (1 - 2\mu) \alpha^2 x^2 + (1 - 2\mu) \alpha x + 1, \quad (17)$$

$$B_{mV} = (1 + \alpha x) (1 - \alpha x)^2 = \alpha^3 x^3 - \alpha^2 x^2 - \alpha x + 1.$$

Формула Ламе виду (16) теж має добутки двох функцій. Перша описує зміщення зовнішньої контактної поверхні труби через середній радіус її стінки за моментною теорією [1]. Одночасно друга функція (17) теж враховує радіальні зміщення шарів по товщині стінки труби, бо (16) є формулою Ламе, та їх нерівномірність вздовж ділянки внаслідок змінної товщини.

Для труби внутрішній тиск P_V є постійним, а зовнішній – контактним згідно із (1): $P_Z = P(x)$. Тому перший доданок формули (16) відповідає складовій w_{0t} у системі (11), а другий – складовій w_{*t} . Від цих складових за правилом диференціювання добутку функцій [2] можна знайти потрібні для системи (11) похідні. Четверта похідна від виразів (17) теж рівна нулю.

Підставимо координати x_{mC} муфти у вирази (14-15), x_{tC} труби у (16-17) і розрахуємо їх значення. Вирази $B_{i,j}$ стають числовими коефіцієнтами, бо залежать лише від x . Складові з індексом 0 стають числовими значеннями, бо величина постійних тисків задана, і їх можна перенести у праву частину рівнянь системи (11).

Складові із зірочкою w_{*i} , розраховані за (1) і (5), містять невідомі коефіцієнти $K_{i,1} \dots K_{i,4}$. Їх підстановка у рівняння системи (11) дає декілька таких складових w_{*i} , які слід згрупувати за спільністю коефіцієнтів $K_{i,j}$. Це не викликає труднощів, оскільки $K_{i,j}$ знаходяться у першому степені. Тому використання отриманих складових (14-17) та їх похідних у системі (11) залишає лінійними рівняння балансу і систему загальною.

Таким чином, розроблений метод одночасно враховує кільцеві, радіальні і осьові (вигини вздовж осі) деформації стінок та забезпечує точність розрахунку балансу деформацій, натягу, контактних тисків на нетонкостінних ділянках з'єднання муфти і труби, оскільки поєднує застосування формул Ламе і її похідних та моментної теорії.

Слушно провести аналогію між цим методом і методом розрахунку циліндрів середньої товщини, навантажених змінним по довжині тиском, який запропоновано у [2] і використано для розрахунку муфтових з'єднань обсадних труб [4]. Обидва методи знаходять розв'язок у вигляді добутку двох функцій, одна з яких описує вигини стінки циліндра вздовж осі, а друга – радіальні зміщення її шарів. За методом [2] розподілений вздовж осі тиск (внутрішній і зовнішній) вважається заданим і слугує крайовою умовою для знаходження цих функцій, а задача розв'язана для постійного і лінійно змінного тисків. У нашому випадку загальний вираз контактної тиску знаходиться одночасно з ви-

значенням пружно-деформованого стану стінок за комплексом сформульованих нами умов рівноваги деформаційних і силових параметрів двох циліндрів, з'єднаних коаксіально з радіальним натягом.

Висновки

На основі фізичного механізму пружної взаємодії контактних ділянок муфти і труби, з'єднаних з радіальним натягом, математично сформульовано умови рівноваги контактних тисків та балансу деформацій і натягу. Розроблена методика одночасно враховує кильцеві, радіальні і осьові деформації стінок та забезпечує розрахунок деформаційних і силових параметрів на нетонкостінних ділянках з'єднання муфти і труби, оскільки поєднує застосування формул Ламе та моментної теорії.

Література

1 Палійчук І.І. Пружна взаємодія з'єднаних з натягом циліндрів із змінною товщиною стінки // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2006. – № 2 (19). – С.59-63.

2 Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. – М.: Гостехиздат, 1953. – 608 с.

3 Пономарев С.Д., Бидерман В.Л. и др. Расчеты на прочность в машиностроении / Под ред. С.Д.Пономарева. – М.: Машгиз, 1958. – Т.2. – 974 с.

4 Еременко Т.Е., Мочернюк Д.Ю., Тищенко А.В. Герметизация резьбовых соединений обсадных колонн нефтяных и газовых скважин. – К.: Техніка, 1967. – 170 с.

УДК 622.24.053

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДИНАМІКИ ЛІКВІДАЦІЇ ПРИХОПЛЕНЬ КОЛОНИ УДАРНИМИ ПРИСТРОЯМИ

¹ Б.М.Малярчук, ² П.І.Огородніков, ¹ В.М.Світлицький

¹ ДК "Укргазвидобування", 04053, м. Київ, вул. Кудрявська, 26/88, тел. (044) 2721836, e-mail: svetlitsky@gasdob.com.ua

² МНТУ ім. акад. Бугая, 02660, м. Київ, пров. Магнітогорський, 3, тел. (044) 5515839, e-mail: ogorodnikov@mail.ru

Рассмотрены теоретические основы динамики ликвидации прихватов колонны ударными устройствами. Обосновано решающее значение выбора компоновки над и под УПП (устройством ликвидации прихватов), а также типа самого устройства (вибрационный, ударный) в зависимости от глубины и формы (искривления) скважины, возможной причины аварии, геологических условий зоны прихвата, характеристик породы и т.д.

Theoretical bases of dynamics of column freeze liquidation by impact devices are studied. The authors accentuate on significant value of arrangement of the device for freeze liquidation: type of device (vibration, impact) depending on a depth and forms (curvatures) of well; possible reasons of failure; geological terms of area of freeze, descriptions of rock and etc.

Боротьбу за зменшення аварійності можна проводити шляхом впровадження заходів з попередження аварій, або шляхом вдосконалення ловильного інструменту і методів ліквідації аварій. На основі досвіду бурових робіт у різних регіонах України і СНД було рекомендовано безліч заходів із попередження аварійності [1], однак аварійність, пов'язана з прихопленням бурового інструменту, залишається дуже високою як під час буріння нафтогазових свердловин, так і під час геологічного буріння. Такий стан справ у бурінні змушує до вдосконалення технологій і інструментів для ліквідації прихоплення на базі вивчення динамічних процесів у бурильній колоні. Особливо це стосується ліквідації прихоплення у свердловинах з викривленим стовбуром. Успішний хід ліквідації прихоплення пов'язаний, головним чином, з правильним вибором технічних засобів, режиму їх роботи і компоновань над ПЛП (пристрій

ліквідації прихоплення) і під ним, над верхньою межею прихоплення. Основним чинником, від якого залежить вибір способу ліквідації прихоплення, параметрів роботи ПЛП і його типу, є геологічні умови проводки свердловини і тип прихоплення.

Невірний вибір методики і механізмів призводить до ускладнення аварій. Науковий підхід до процесу ліквідації аварій і виконання необхідних техніко-організаційних заходів – запорука успіху під час ліквідації прихоплення та інших видів аварій.

Вибір компоновань над ПЛП і під ним залежно від типу самого пристрою (вібраційний, ударний) буде залежати, в основному, від таких показників: глибина і форма (викривлення) стовбура свердловини; можлива причина аварії; геологічні умови зони прихоплення (стійкість та інші властивості порід, які формують стінки свердловини), а також інші обставини, які ха-