

вищ. Серія: Геологія та розвідка нафтових і газових родовищ. Розвідувальна та промислова геологія. – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, 1997. – Вип. 34. – Т. 1.

2. Рудько Г.І., Консевич Л.М. Закономірності розподілу стоку поверхневих вод Карпатського регіону // Геоекологічні проблеми Івано-Франківщини та Карпатського регіону. Збірник

праць докторантів, аспірантів і студентів. – Івано-Франківськ: Екор, 1998. – С. 56-64.

3. Консевич Л.М. Дослідження зв'язку річкового стоку з висотою місцевості в Карпатському регіоні // Науковий вісник №2. Серія технічних наук. Інститут менеджменту та економіки. – Івано-Франківськ: Полум'я. – 2000. – С. 124-129.

УДК 622.245

ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ЗОВНІШНЬОГО КРИТИЧНОГО ТИСКУ ДЛЯ ОБСАДНИХ ТРУБ ІЗ ВРАХУВАННЯМ ЗГИНУ

Я.С.Коцкулич, О.М.Лев, О.Б.Марцинків

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42153,
e-mail: public@ifnuing.if.ua

С использованием полубезмоментной теории гибких оболочек решена задача о влиянии изгиба обсадной колонны на величину наружного критического давления. Получены формулы для расчета обсадных колонн на прочность с учетом интенсивности их искривления, что позволит предотвратить смятие обсадных колонн при креплении наклонно-направленных скважин и повысить надежность их работы.

Using half-momentless theory of the flexible sheaths there have been solved the problem of the influence of casing pipe bend on the magnitude of external breakdown pressure. The formulas have been received for calculation of endurance capability of casing pipes including their bending intensity. It helps to prevent collapse of casing pipes at the process of casing of deviating wells and increases the reliability of their work.

Збільшення обсягів буріння похило-спрямованих і горизонтальних свердловин підвищує актуальність проблеми кріплення, оскільки умови роботи обсадних колонн в таких свердловинах ускладнюються, що підтверджується аналізом промислових даних про пошкодження обсадних колонн [1].

Однією з головних міцнісних характеристик обсадних труб є їх опір дії зовнішньому надлишковому тиску, яка оцінюється величиною тиску, при якому напруження в небезпечній точці поперечного перерізу труби досягають межі текучості матеріалу труб.

При проектуванні обсадних колонн для кріплення похило-спрямованих свердловин величину критичного тиску для овальної різностінної труби прийнято визначати за формулою Г.М.Саркісова, якою не враховується вплив згину на зміну напруженого стану і форми поперечного перерізу труби і, як наслідок, на їх міцність.

Визначення напружень і деформацій обсадних труб при згині пов'язане з деякими труднощами, які не вдається вирішити з використанням методів і формул опору матеріалів. Для більш реальної оцінки напруженого стану і зміни форми поперечного перерізу зігнутої труби можна скористатися теорією тонких оболонок, яка базується на гіпотезах Кірхгофа [2].

Розглянемо ділянку колонні обсадних труб довжиною ℓ , яка має овальність в поперечному перерізі, постійну товщину стінки і початкову кривизну поздовжньої осі $1/\rho_0$ (рис. 1). Торці труби жорстко закріплені і навантажені згиналь-

ними моментами M або силами, статично еквівалентними M , а на стінку труби ззовні діє рівномірний нормальний тиск p_z [3, 4]. Деформація поперечних перерізів труби змінюється за довжиною від найбільших значень в середньому перерізі ($X = 0$) і до нуля на кінцях ($X = \pm 0,5\ell$). Розрахунки проведемо для найбільш небезпечного, тобто середнього перерізу ($X = 0$).

Для вирішення задачі скористаємося гіпотезою Кармана [2], за якою деформацію всіх поперечних перерізів, віддалених від торців, труби приймають однаковою і розрахунки проводять без врахування впливу кінцевих закріплень. Як зазначено в [2, 5], таке припущення справедливе для достатньо довгих труб, що відповідає колоні обсадних труб.

За вихідні приймаємо спрощені рівняння типу Мейснера, одержані на основі напівбезмоментної теорії гнучких оболонок [2, 5]

$$\begin{aligned} \ddot{\psi} + \mu\nu \cos \alpha &= -m \sin \alpha; \\ \ddot{v} - \mu\psi \cos \alpha &= -p_0 f. \end{aligned} \quad (1)$$

Крапки над невідомими функціями ψ і v означають диференціювання за безрозмірною координатою η , пропорційною довжині меридіана серединної поверхні S , відрахованої від вбраного початку координат

$$\eta = \frac{S}{t}, \quad (2)$$

де: t – периметр поперечного перерізу труби, поділений на 2π ;

ψ і v – невідомі функції η ;

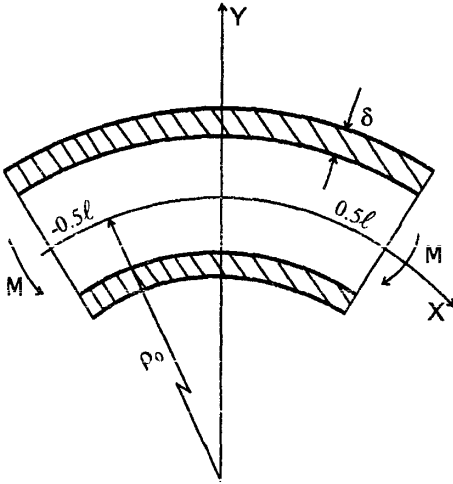


Рисунок 1 — Зігнута ділянка обсадної колони

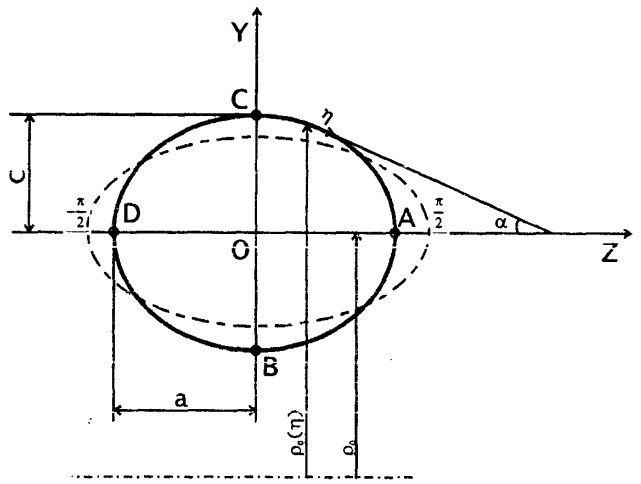


Рисунок 2 — Деформація поперечного перерізу при згині обсадної колони

α – кут між дотичною до серединної поверхні труби (в точці з координатою η) і віссю z (рис. 2);

μ, m – безрозмірні параметри кривизни труби і її зміни

$$\mu = \sqrt{12(1-\nu^2)} \frac{b^2}{\rho_0 \delta}; \quad (3)$$

$$m = \mu \left(1 - \frac{\rho}{\rho_0} \right),$$

де: ρ – радіус кривизни осі труби після деформації;

ν – коефіцієнт Пуассона;
 δ – товщина стінки труби.

$$f = (\nu \sin \alpha - \cos \alpha) \int_0^{\eta} (\cos \alpha - \nu \sin \alpha) d\eta - (\sin \alpha + \nu \cos \alpha) \int_{\frac{\pi}{2}}^{\eta} (\sin \alpha + \nu \cos \alpha) d\eta; \quad (4)$$

$$\rho_0 = 12(1-\nu^2) \frac{p_3}{E} \left(\frac{b}{\delta} \right)^3, \quad (5)$$

де E – модуль пружності матеріалу труб.

Використаємо метод лінійного розв'язку в тригонометричних рядах. Розглянемо трубу з поперечним перерізом, симетричним відносно осей y і z (рис. 1), і розкладемо функції $\sin \alpha$ і $\cos \alpha$ в ряди Фур'є [5, 6]

$$\sin \alpha = \sum_{j=1,3} S_j \sin j\eta; \quad (6)$$

$$\cos \alpha = \sum_{j=1,3} C_j \cos j\eta.$$

В розкладаннях $\sin \alpha$ і $\cos \alpha$ відсутні всі парні члени, що виходить з умови симетрії. Для перерізів, форма яких мало відрізняється від кола, в (6) можна обмежитися тільки двома членами, і коефіцієнти розкладу S_j і C_j можуть бути обчислені зі співвідношень [6]

$$S_1^2(1+\lambda^2) - 0.5S_1(\lambda^2 + \lambda + 2) + \frac{1}{16}(\lambda-1)(\lambda+3) = 0; \quad (7)$$

$$C_1 = \frac{1+\lambda(4S_1-1)}{4}; \quad S_1 - S_3 = 1; \quad C_1 + C_3 = 1;$$

$$\lambda = \frac{2+e}{2-e},$$

де e – овальність труби.

Підставляючи (6) в (1) і (4), одержимо систему рівнянь, розв'язок якої будемо шукати у вигляді рядів Фур'є [2, 5]

$$\psi = \sum_{j=1,3} b_j \sin j\eta; \quad (8)$$

$$\nu = \sum_{n=2,4} a_n \sin n\eta, \quad (9)$$

де a_n і b_j – коефіцієнти розкладу.

Прирівнюючи коефіцієнти при $\sin \eta, \sin 2\eta, \dots$ в лівій і правій частинах кожного з рівнянь (1), отримаємо систему рівнянь для визначення невідомих a_n, b_j .

Найбільші за перерізом труби поздовжні і кільцеві напруження σ_1, σ_2 визначаються через функції ψ, ν [2]

$$\sigma_1 = \frac{E\delta}{t\sqrt{12(1-\nu^2)}} \left(\psi \pm \nu \sqrt{\frac{3}{1-\nu^2}} \dot{\nu} \right); \quad (10)$$

$$\sigma_2 = \frac{E\delta}{t\sqrt{12(1-\nu^2)}} \left(\pm \sqrt{\frac{3}{1-\nu^2}} \dot{\nu} - \psi \frac{t}{\rho} \sin \alpha \right) - p_3 \frac{t}{\delta}.$$

Підставляючи в (10) функції ψ, ν із (8) і (9), одержуємо

$$\sigma_1 = \frac{E\delta}{t\sqrt{12(1-\nu^2)}} \left[b_1 \cos \eta + 3b_3 \cos 3\eta \pm \nu \sqrt{\frac{3}{1-\nu^2}} (2a_2 \cos 2\eta + 4a_4 \cos 4\eta) \right];$$

$$\sigma_2 = \frac{E\delta}{t\sqrt{12(1-\nu^2)}} \cdot \left[\pm \sqrt{\frac{3}{1-\nu^2}} \times \right. \\ \times (2a_2 \cos 2\eta + 4a_4 \cos 4\eta) - \frac{t}{\rho} (b_1 \sin \eta + b_3 \sin 3\eta) \times \\ \left. \times (S_1 \sin \eta + S_3 \sin 3\eta) \right] - p_3 \frac{t}{\delta} \quad (11)$$

Знаки “+” і “-” відповідають напруженням на внутрішній і зовнішній стінках труби.

Інші компоненти напруження у відповідності з гіпотезою тонких оболонок дуже малі порівняно з σ_1 , σ_2 і ними можна знехтувати [2, 5].

Розрахунок на міцність проведемо за третьюю теорією міцності.

Найбільш небезпечною є точка з координатою $\eta = 0$, яка знаходиться на внутрішній поверхні труби. В цій точці

$$\sigma_1 = \frac{E\delta}{t\sqrt{12(1-\nu^2)}} \left[b_1 + 3b_3 + \nu \sqrt{\frac{3}{1-\nu^2}} (2a_2 + 4a_4) \right]; \quad (12)$$

$$\sigma_2 = \frac{E\delta}{t\sqrt{12(1-\nu^2)}} \cdot \sqrt{\frac{3}{1-\nu^2}} (2a_2 + 4a_4) - p_3 \frac{t}{\delta}.$$

Еквівалентне напруження визначається за формулою

$$\sigma_e = \sigma_1 - \sigma_2. \quad (13)$$

Для реальних обсадних труб величини a_4 , b_3 , S_3 , C_3 значно менші від одиниці і ними можна знехтувати. Прирівнюючи σ_e до межі текучості σ_T , і використовуючи співвідношення (12), одержимо спрощене рівняння, з якого можна визначити безрозмірний параметр зовнішнього тиску p_0

$$\sigma_T = EtS_1 \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} \right) - \frac{3E\delta p_0 (S_1^2 - C_1^2)}{8t(1+\nu)(3-p_0)} + \\ + \frac{Ep_0}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{\delta}{t} \right)^2. \quad (14)$$

З формули (14) знаходимо значення p_0 , а відтак з (5) — величину критичного тиску $p_{кр}$

$$p_{кр} = \frac{p_0 E}{12(1-\nu^2) \left(\frac{\delta}{t} \right)^3}. \quad (15)$$

В окремому випадку, за відсутності згину обсадної труби ($\rho_0 = \rho = \infty$), коефіцієнти $b_1 = b_3 = 0$. Поздовжні та кільцеві напруження σ_1 і σ_2 в небезпечній точці стають від’ємними і $|\sigma_1| < |\sigma_2|$. У цьому випадку $\sigma_e = |\sigma_2|$ і рівняння для визначення p_0 набуде вигляду

$$\sigma_T = \frac{3E\delta p_0 (C_1^2 - S_1^2)}{8t(1-\nu^2)(3-p_0)} + \frac{Ep_0}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{\delta}{t} \right)^2. \quad (16)$$

Формула (15), а відповідно до неї (14) і (16) виведені для рівностінної труби. У випадку ж різностінної труби необхідно розглянути найбільш несприятливий випадок коли точка з координатою $\eta=0$ знаходиться на внутрішній поверхні труби, яка має в даному перерізі мінімальну товщину стінки $\delta_{\min} = 0.875\delta$.

В табл. 1 наведені результати розрахунків величини зовнішнього критичного тиску для обсадних труб діаметром 146 мм за формулою Г.М.Саркісова [7] та за формулою (15) з використанням рівнянь (14) і (16).

У розрахунках прийнято: $E=2.1 \cdot 10^5$ МПа; $\sigma_T=380$ МПа; $\nu=0.3$; $\delta_{\min}=0.875 \cdot \delta$; $\rho_0=500$ м.

За отриманими значеннями побудовані залежності критичного тиску від овальності для прямолінійної труби діаметром 146 мм з товщиною стінки 8.5 мм (рис. 3): крива 1 – за формулою Г.М.Саркісова, крива 2 – за формулою (15).

На рис. 4 зображені залежності критичного тиску від овальності труби і зміни кривизни її осі. Залежності побудовані для труби діаметром 146 мм, товщиною стінки 8.5 мм і початковим радіусом кривизни 500 м: крива 1 – $\rho = \infty$, крива 2 – $\rho = 300$ м, крива 3 – $\rho = 200$ м, крива 4 – $\rho = 100$ м.

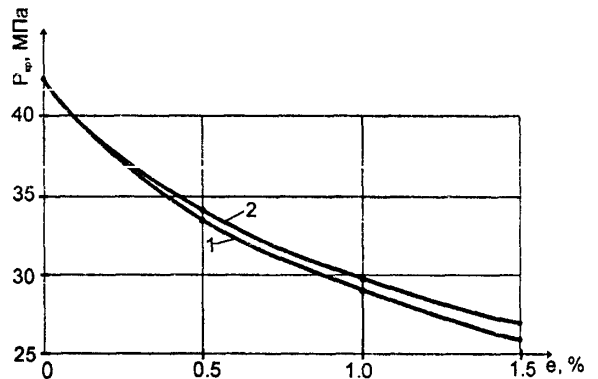
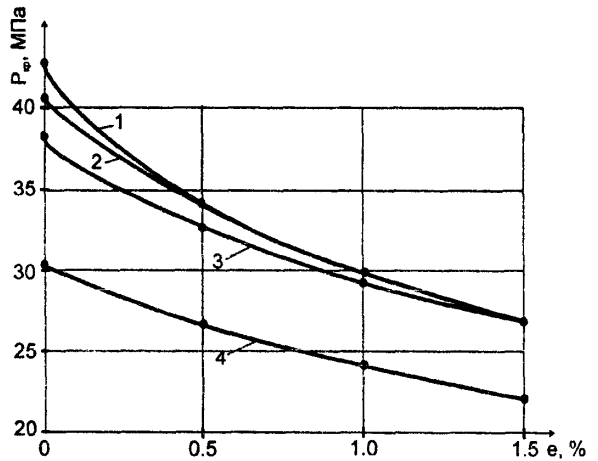


Рисунок 3 — Залежність критичного тиску від овальності труби за формулою Г.М.Саркісова (1) і за формулою (15) (2)



1 – $\rho = \infty$, 2 – $\rho = 300$ м, 3 – $\rho = 200$ м, 4 – $\rho = 100$ м

Рисунок 4 — Залежність критичного тиску від овальності труби і кривизни її осі

Таблиця 1 — Значення критичних тисків для обсадних труб діаметром 146мм

Товщина стінки, мм	Радіус кривизни, м	Параметр зовнішнього тиску при овальності, %					Критичний тиск, МПа при овальності, %											
							за формулою (15)					за формулою Г.М.Саркісова						
		0	0,5	1,0	1,5	1,5	0	0,5	1,0	1,5	0	0,5	1,0	1,5	0	0,5	1,0	1,5
7,0	∞	3,088	2,119	1,83	1,637	35,07	24,07	20,78	18,6	35,07	24,18	20,52	18,13					
7,0	300	2,937	2,119	1,83	1,637	33,36	24,07	20,78	18,6	-	-	-	-					
7,0	200	2,748	2,096	1,847	1,637	31,21	23,81	20,78	18,6	-	-	-	-					
7,0	100	2,182	1,775	1,568	1,424	24,78	20,16	17,81	16,17	-	-	-	-					
7,7	∞	2,552	1,91	1,654	1,481	38,58	28,88	25	22,4	38,58	28,72	24,51	21,71					
7,7	300	2,427	1,91	1,654	1,481	36,69	28,88	25	22,4	-	-	-	-					
7,7	200	2,271	1,856	1,648	1,502	34,33	28,06	24,92	22,4	-	-	-	-					
7,7	100	1,803	1,536	1,374	1,255	27,26	23,22	20,77	18,97	-	-	-	-					
8,5	∞	2,094	1,675	1,463	1,317	42,59	34,07	29,76	26,78	42,59	33,66	29,03	25,85					
8,5	300	1,992	1,675	1,463	1,317	40,5	34,07	29,76	26,78	-	-	-	-					
8,5	200	1,864	1,599	1,428	1,319	37,9	32,53	29,24	26,78	-	-	-	-					
8,5	100	1,48	1,303	1,181	1,087	30,09	26,5	24,02	22,12	-	-	-	-					

Для прямолінійних обсадних труб величини критичного тиску, розраховані за напівбезмоментною теорією та за формулою Г.М.Саркісова, незначно відрізняються між собою (рис.3). Для розглянутої труби розбіжність не перевищує 3.6%.

З даних розрахунків, наведених в табл. 1, та графічних залежностей (рис. 4) видно, що величина зовнішнього критичного тиску суттєво залежить від овальності труби і зміни кривизни її осі. Аналізуючи дані табл. 1, можна зробити висновок, що для труб діаметром 146 мм враховувати вплив згину обсадної колони при розрахунку критичного тиску необхідно при радіусах кривизни, менших 200 м, оскільки при цьому значення критичних тисків знижуються на 5% і більше порівняно з критичними тисками для прямолінійних труб. Аналогічні розрахунки можна провести для інших типорозмірів обсадних труб і на стадії проектування обсадних колон враховувати вплив згину труб на їх міцність, що дасть змогу підвищити надійність їх роботи при кріпленні похило-спрямованих свердловин.

Література

1. Марцинків О.Б. Класифікація випадків неякісного кріплення свердловин і їх причин на прикладі Хрестищенського ВБР // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ: Державний МНТЗ. – 1999. – № 36. – С.85-95.
2. Аксельрад Э.Л., Ильин В.П. Расчет трубопроводов. – Л.: Машиностроение, 1972. – 240 с.
3. Коцкулич Я.С., Лев О.М. К вопросу изменения формы поперечного сечения обсадных труб в искривленных скважинах // Нефть и газ. – 1989. – № 7. – С.38-41.
4. Коцкулич Я.С. Напряженное состояние обсадных колонн в нефтяных и газовых скважинах. – Деп. В УкрНИИТЭИ, №493/Ук92.
5. Аксельрад Э.Л. Гибкие оболочки. – М.: Наука, 1976. – 376 с.
6. Аксельрад Э.Л. Изгиб и потеря устойчивости тонкостенных труб при гидростатическом давлении // Изв. АН СССР, ОТН: Механика и машиностроение. – 1962. – № 1. – С. 98-110.
7. Инструкция по расчету обсадных колонн для нефтяных и газовых скважин. – М., 1997. – 194 с.

УДК 004:553.98

ВИКОРИСТАННЯ ТЕОРІЇ КАТЕГОРІЙ ДЛЯ ОПИСУ МОДЕЛІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЖИТТЄВИМ ЦИКЛОМ НАФТОГАЗОВОГО РОДОВИЩА

В.М.Юрчишин

*ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42127,
e-mail: jurch@ifntung.if.ua*

Предложена информационная модель автоматизированной системы управления жизненным циклом нефтегазового месторождения с использованием теории категорий, которая дает возможность принимать решение на каждом этапе с учетом баз данных и баз знаний.

There was given an informational model of automatized system of life-cycle control of oil-gas deposit using category-theory, that gives possibility of making desigions on each step using knowledg-bases and data-bases.

Важливість підвищення ефективності управління життєвим циклом нафтогазового родовища на етапах пошуку, розвідки, розробки, експлуатації та консервації вимагає для прийняття рішення обробки значної кількості як кількісної, так і якісної інформації.

Аналіз літературних джерел [1-7] та інформаційних потоків на різних етапах життєвого циклу нафтогазового родовища дає підстави зробити такі висновки :

1. Спеціалісту нафтогазової галузі для прийняття рішення потрібно обробляти значний обсяг як кількісної, так і якісної інформації в умовах інформаційної невизначеності, яка обумовлена тим, що нафтогазові поклади є слабо-структурованими об'єктами.

2. В процесі управління життєвим циклом нафтогазового родовища існує реальна потреба

в розробці інтелектуальних інформаційних систем, які не тільки забезпечують особу, що приймає рішення (ОПР), широким набором сервісних функцій, але й самі здатні аналізувати проблемну ситуацію і приймати розумні рішення.

3. Стратегії і моделі поведінки, які використовуються ОПР, можуть бути сформульовані як набір правил, які важко формалізувати через використання звичайних алгоритмів у зв'язку з тим, що експерт частіше використовує якісні, а не кількісні оцінки при описі умов прийняття конкретних рішень.

Тому для моделювання таких процесів необхідно використовувати універсальний математичний апарат – теорію категорій [8-10]. Теорія категорій є досить новою областю математичних досліджень, що динамічно розвива-