

НАФТОГАЗОПРОМИСЛОВЕ ОБЛАДНАННЯ

УДК 622.276.054

АНАЛІЗ І РАЦІОНАЛІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЙ ПРОТЕКТОРІВ ДЛЯ НАСОСНИХ ШТАНГ ЗА ДОПОМОГОЮ ПАРАМЕТРИЧНОГО ТРИВИМІРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ І МЕТОДУ СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

В.Б. Коней, С.С. Чаплінський

ІФНТУНГ, 760019 Івано-Франківськ, вул. Карпатська 15, т. 4-05-34, chaplin@ukr.net

С помощью трехмерного параметрического моделирования и метода конечных элементов проанализированы конструкции распространенных протекторов для насосных штанг с точки зрения их сопротивления износу и гидродинамических характеристик. Предложены принципы проектирования и разработаны конструкции протекторов для легких и тяжелых условий эксплуатации.

На нафтових промислах США проблему спрацювання, центрування штангової колони і смоло-парафіністик утворень вирішують шляхом вибору протектора конкретного типу з широкої їх номенклатури на основі даних про викривленість свердловини, фізичних і хімічних характеристик середовища та моніторингу за спрацюванням свердловинного обладнання [1, 2]. Але на даний час не існує рекомендацій для вибору параметрів та раціонального проектування універсальних протекторів.

Проведемо аналіз конструкцій сучасних протекторів (переважно виробництва компанії R&M Energy Systems (США)) з точки зору їх стійкості до спрацювання, об'єму матеріалу і гідродинамічних характеристик. Це поширені протектори для легких і середніх умов роботи в прямих і незначно викривлених свердловинах: Patco з прямими лопатками, Patco з похилими лопатками (призначений для ефективного видалення парафіну без застосування штангообертача), КАНАРОСС (з гідродинамічними конусними елементами і міцною посадкою на штангу), Turbulence Breaker™ (з зменшеною турбулентністю потоку), Ultra-flow™ (шестилопате-вий центратор з малою турбулентністю потоку); протектори для важких умов роботи в викривлених свердловинах: Sondor™ (дволопате-вий протектор з мінімальним гідродинамічним опором), DoublePlus™ (протектор зі зміщеними по осі лопатками), Stealth™ (протектор зі збільшеною площею тертя); змінні центратори

With the help of three-dimensional parametrical modeling and finite element method the characteristics of resistance to deterioration and hydrodynamical characteristics of modern rod guides are analysed. The principles of their designing are offered and the designs of rod guides for easy and heavy operational conditions are developed.

Lotus™ і скребок з похилими лопатками. Розглянемо також протектор простої конструкції (без будь-яких гідродинамічних елементів і заокруглень лопаток).

Для аналізу геометричних і гідродинамічних характеристик протекторів розроблялись їх тривимірні комп'ютерні моделі в Solid Works [3] та проводився розрахунок за допомогою програми скінченно-елементного аналізу потоку рідини [4]. В таблиці 1 наведено результати розрахунку геометричних та гідродинамічних характеристик протекторів для штанг діаметром 22 мм і НКТ з внутрішнім діаметром 59 мм. Тут сила гідродинамічного опору – сила, яка діє на протектор при русі штанг в НКТ, наповнених рідиною (густина - 1000 кг/м³, динамічна в'язкість - 0,00179 Па·с), з швидкістю 1 м/с; інтенсивність турбулентності – відношення змінної компоненти швидкості потоку до середньої компоненти швидкості на відстані 25 мм від протектора при тих же умовах


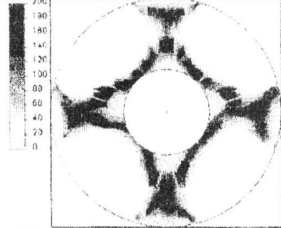

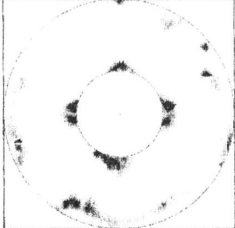

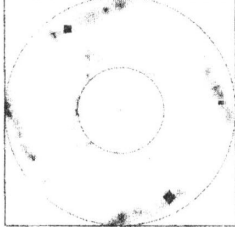

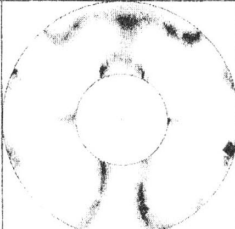

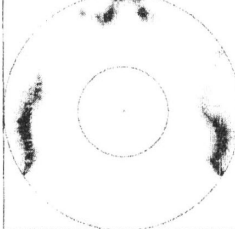

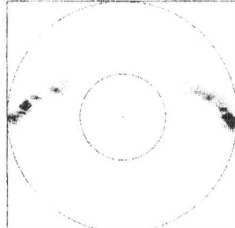
$$I = \frac{u}{U} = \frac{v}{V} = \frac{w}{W}, \quad (1)$$

де: u, v, w – змінні компоненти швидкості по осях x, y, z ; U, V, W – середні компоненти швидкості.

Як видно з таблиці 1, протектори для легких умов роботи мають довжину близько 80 мм, на них витрачається $80 \cdot 10^3 - 100 \cdot 10^3$ мм³ матеріалу, сумарна площа тертя складає 3200-4300 мм². Наявність гідродинамічних схилів дає змогу зменшити силу гідродинамічного

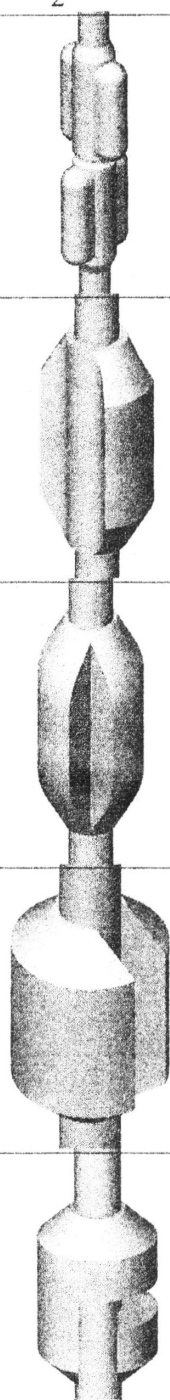
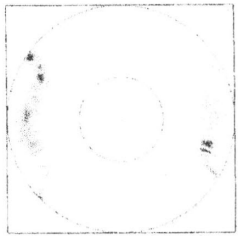
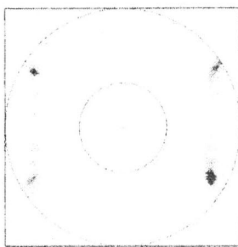
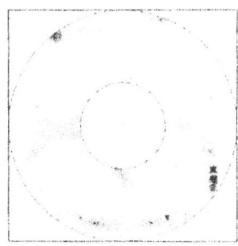


Таблиця 1 – Геометричні та гідродинамічні характеристики протекторів (скребків) для насосних штанг діаметром 22 мм та НКТ 59 мм

Назва	Модель	Довжина, мм	Об'єм * 1000, мм ³	Кількість лопаток	Середня площа тертя, мм ²	Макс. площа поперечного січ., мм ²	Сила гідродинамічного опору, Н	Інтенсивність турбулентності, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Проста конструкція		80	98,9	4	5120	1237	5,76	
Ратсо з прямими лопатками		80	87,7	4	4211	1237	4,6	
Ратсо з похилими лопатками		80	80,8	4	3712	1127	3,07	
Kanagross		132	97,6	4	4235	1237	5,08	
Turbulence Breaker™		132	85,4	4	3233	1216	2,6	
Ultraflow™		80	82,1	6	4297	1275	8,79	



Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
DoublePlus™		194	138	4	5038	860	2,17	
Condor™		124	116	2	5588	1097	2,93	
Stealth™		74	147	4	7297	1535	11,2 5	
Lotus™		90	130	-	-	1761	47,3	
Lotus™ з перехресними пазами		90	113	-	-	1761	139, 3	

опору на 20-50%, проте зменшується сумарна площа тертя. Наявність гідродинамічного конуса не зменшує силу гідродинамічного опору, але інтенсивність турбулентності зменшується вдвоє. Протектори для важких умов роботи мають довжину 120-200 мм, на них витрачається $100 \cdot 10^3 - 150 \cdot 10^3$ мм³ матеріалу, сумарна площа тертя - 5000-7300 мм². Конструкція зі зміщеними лопатками дає змогу зменшити силу гідродинамічного опору до 2,2-3 н, але загальна витрата матеріалу значно зростає. Так, протектори типу condor™ потрібно встановлювати на

штанзі попарно, зміщуючи лопатки на 90°. Площа поперечного перерізу суттєво впливає на силу гідродинамічного опору. У центраторах типу lotus™ відсутні лопатки, що дає змогу більш ефективно центрувати колону, але при цьому для них характерний значно вищий гідродинамічний опір.

Деколи висока інтенсивність турбулентності поза протектором є небажаною. Так, при застосуванні інгібіторів корозії чи інгібіторів відкладання парафіну інтенсивна турбулентність потоку біля тіла штанги може вимивати їх. Ерозія, руйнування захисних корозійних



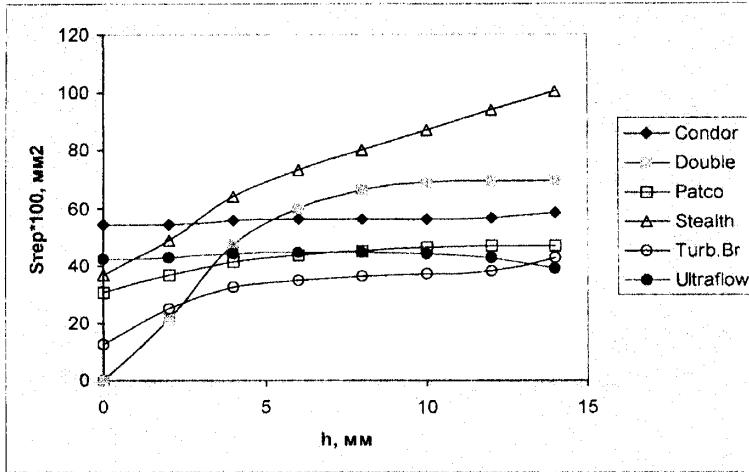


Рисунок 1 – Залежність сумарної площі тертя від величини спрацювання лопаток протектора для різних протекторів

Таблиця 2 – Опис параметрів моделі, які підлягають раціоналізації

№ п/п	Параметр	Позначення	Об'єкт в тривимірній моделі	Значення	Межі допустимих значень
1	Радіус канавки	R	Cut-Extrude5/Sketch1/радіус кола R	від 7 до 13 мм з кроком 1 мм.	$7 \leq R \leq 13$
2	Довжина	L	Base-Extrude	від 60 мм до 120 мм з кроком 10мм	$60 \leq L \leq 120$
3	Гідродинамічний схил	α	Chamfer1	$90^\circ, 27^\circ, 18^\circ, 14^\circ$	$\alpha \leq 90^\circ$
4	Радіус заокруглення елементів гідродинамічного схилу	R_1	Fillet4	0, 5, 10, 20мм	-
5	Радіус заокруглення лопатки	R_2	Fillet6	0, 1, 2, 3мм	-

півнок часто спостерігається за протекторами. Появляються типові паралельні язви і риски. Для чотирилопатевого протектора найвища інтенсивність турбулентності біля тіла штанги спостерігається у протекторі простої конструкції та протекторі PATCO з прямими лопатками; наявність гідродинамічних конусів (КАНАРОСС), увігнутого профілю канавки (Stealth™) зменшують її. Найнижчий цей показник у протекторі Turbulence Breaker™ завдяки загостреній формі лопаток.

Важливою геометричною характеристикою є залежність площі тертя протектора до НКТ від величини спрацювання лопатки h (рис.1). Враховуючи те, що в кінцевий момент спрацювання лопатки ($h=10-15$ мм) на неї діють незначні навантаження і інтенсивність спрацювання мала, а також те, що захист елементів колони при такому спрацюванні неефективний, найбільша площа тертя повинна бути при $h=0...10$ мм, а при $h=10...15$ мм – мінімальна. З

рис. 1 видно, що тільки протектор Ultraflow™ частково відповідає цій вимозі.

Протектори для важких умов роботи doubleplus™ і stealth™ забезпечують дуже малу площу тертя, при спрацюванні лопатки до 5 мм, що теж не раціонально.

Раціоналізація конструкції протектора полягає в розробці виробу з достатньою площею тертя, мінімальним гідродинамічним опором, турбулентністю потоку і об'ємом матеріалу. До геометричних параметрів протектора, які впливають на ці характеристики слід віднести: площу і форму канавки для протікання рідини, довжину протектора, гідродинамічний схил і радіуси заокруглення лопаток.

Авторами побудована параметрична тривимірною комп'ютерна модель протектора, яка зручна для раціоналізації конструкції тим, що дає змогу змінювати модель шляхом зміни одного параметра, не змінюючи при цьому інші. Таким чином, можна виявити вплив окремих



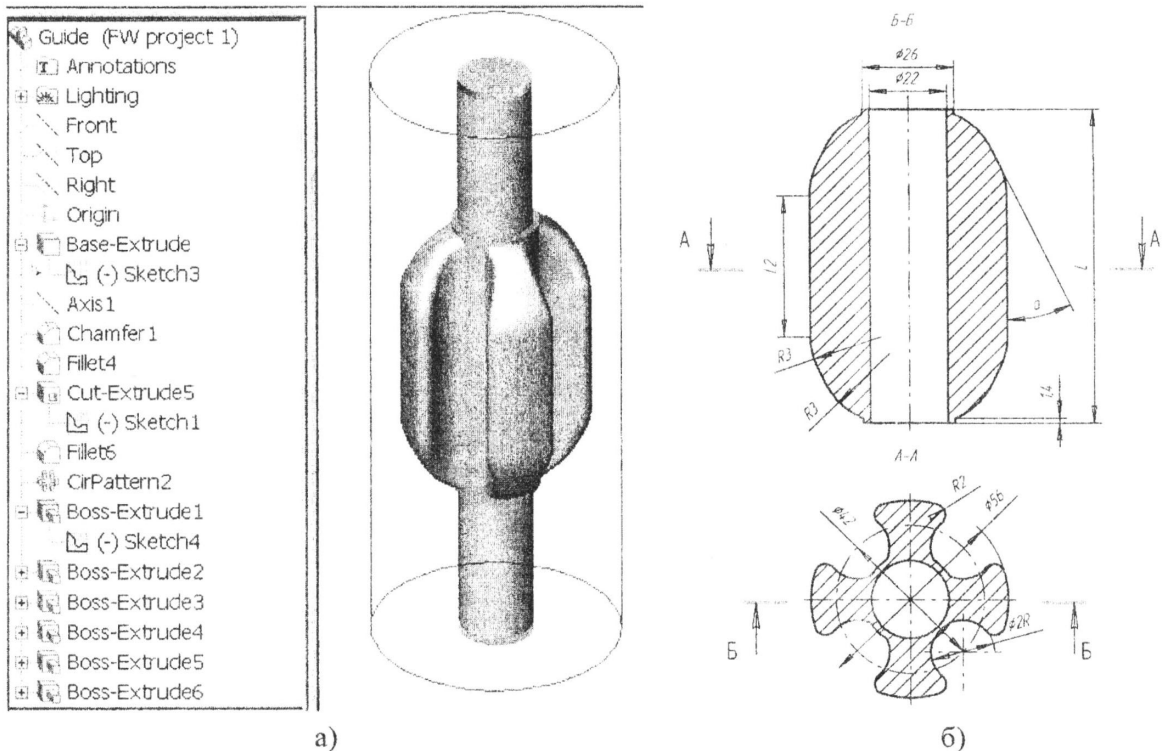


Рисунок 2 – Дерево параметрів моделі (а) та геометричні параметри (б) протектора

параметрів (табл. 2, рис. 2) на характеристики протектора.

Спочатку знаходили залежність гідродинамічного опору від кожного параметра вихідної моделі протектора. Площа поперечного перерізу, довжина, гідродинамічний схил і радіуси заокруглень вихідної моделі дорівнюють середнім значенням відповідних параметрів найбільш поширених протекторів для середніх умов роботи: $r=9\text{мм}$, $l=90\text{мм}$, $\alpha=27^\circ$, $r_1=20\text{мм}$, $r_2=3\text{мм}$. Для зменшення гідродинамічного опору і збільшення площі тертя на початковій стадії спрацювання запропоновано виготовляти канавки круглого поперечного перерізу з радіусом r . Межі допустимих значень параметрів вибирались з умови можливості побудови моделі відповідно до меж параметрів існуючих конструкцій та інших міркувань [1].

Встановлено, що на гідродинамічний опір протектора суттєво впливає зміна гідродинамічного схилу, радіуса канавки та радіуса заокруглення лопатки (рис. 3). Останні два параметри впливають на величину площі поперечного перерізу протектора, яка, в основному, і визначає величину гідродинамічного опору.

Для визначення залежності площі тертя $S_{тер}$, об'єму V і площі поперечного перерізу S_{nc} протектора від кожного параметра і величини зносу протектора h розроблена комп'ютерна програма на мові VBA. Дана програма за допомогою SolidWorks Application Programming Interface (API) виконує зміну параметрів моделі від початкового значення до кінцевого з заданим кроком, визначає $S_{тер}$, V , S_{nc} для кожної

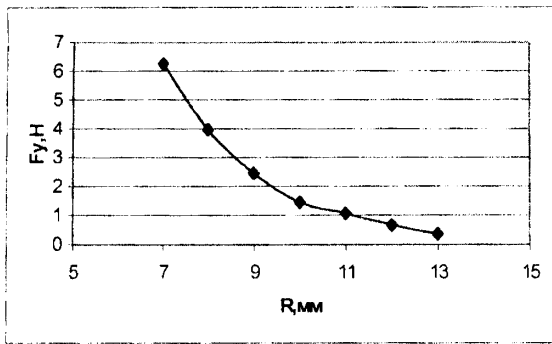
комбінації параметрів і записує їх у базу даних для наступного аналізу.

Аналіз цих даних засвідчує, що радіус канавки величиною 9 мм і менше суттєво впливає на силу гідродинамічного опору; зі збільшенням радіуса дещо погіршується залежність площі тертя від величини зносу лопатки протектора, об'єм змінюється лінійно: $V = -9840R + 167850$.

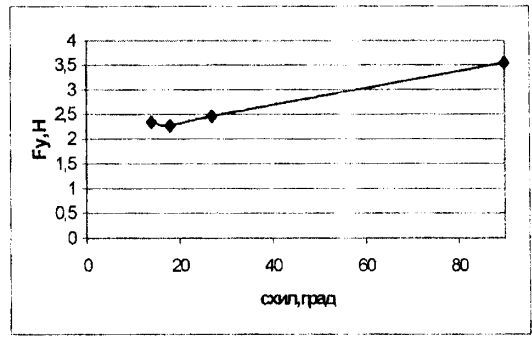
Збільшення довжини протектора не суттєво підвищує гідродинамічний опір, але збільшує площу тертя, об'єм змінюється лінійно: $V = 1084L - 18668$. Зменшення кута гідродинамічного схилу від 90° до 14° зменшує силу гідродинамічного опору в 1,5 рази, але при цьому суттєво погіршується залежність площі тертя від величини зносу лопатки. Зменшення радіуса заокруглення лопатки до 0,1 мм підвищує силу гідродинамічного опору в 1,5 рази, але покращує залежність площі тертя від величини зносу лопатки. Враховуючи це, кут нахилу гідродинамічного схилу потрібно вибирати максимальним, а радіус заокруглення лопатки - мінімальним, але такими, щоб забезпечити неможливість ударів при русі протектора в НКТ.

Використовуючи отримані результати, можна вибирати необхідні параметри протектора залежно від умов його роботи. Наприклад, необхідно знайти параметри протектора для важких умов роботи з площею тертя на початковій стадії спрацювання ($h=2\text{мм}$) $S_{тер}=7300\text{мм}^2$, мінімальним об'ємом і площею поперечного перерізу. За допомогою засобів аналізу даних ms excel або ms access знаходимо оптимальний варіант: $r=10\text{мм}$, $l=120\text{мм}$, $\alpha=45^\circ$,

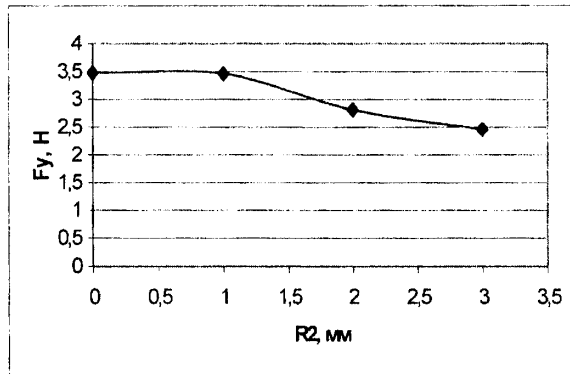




a)



б)



в)

Рисунок 3 – Залежність сили гідродинамічного опору від геометричних параметрів протектора: а - радіуса канавки; б - гідродинамічного схилу; в - радіуса заокруглення лопатки

$r_3=15$ мм, $r_2=2$ мм, $v=108599$ мм³, $s_{nc}=820$ мм². Порівняно з протектором condortm (табл. 1) при тому ж об'ємі площа тертя на початковій стадії спрацювання збільшена на 23%, площа поперечного перерізу зменшена на 25%, а сила гідродинамічного опору - на 40%.

Для протекторів для легких умов роботи з площею тертя на початковій стадії спрацювання ($h=2$ мм) $S_{тер}=4300$ мм², мінімальним об'ємом і площею поперечного січення знаходимо: $R=12$ мм, $L=90$ мм, $\alpha=45^\circ$, $R_3=15$ мм, $R_2=1$ мм, $V=59671$ мм³, $S_{nc}=731$ мм². Порівняно з протектором Turbulence BreakerTM об'єм зменшено на 30%, площа тертя на початковій стадії спрацювання збільшена на 46%, площа поперечного перерізу зменшена на 40%, а сила гідродинамічного опору - на 60%.

Така методика дає можливість проектувати протектори інших типорозмірів для насосних штанг і НКТ іншого діаметру.

Література

1. Копей Б.В., Копей В.Б. Аналіз конструкцій скребоків і протекторів для насосних штанг // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Нафтогазопромислове обладнання. №38(том 4), 2001, с.42-52.
2. www.rmenergy.com
3. Solid Works. Девид Мюррей. Пер. с англ. – М.: «Лори», 2001. – 458 с.
4. Schnipke R.J., "A Streamline Upwind Finite Element Method For Laminar And Turbulent Flow", Ph.D. Dissertation, University of Virginia, May 1986.

