

УДК 622.245.44

*Д.В. РИМЧУК*, канд. техн. наук; зам. директора «ЛІКВО», Харків;  
*С.В. ЦИБУЛЬКО*, ГПУ «Шебелинкагазвидобування», Харків

### ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ РАДІАЛЬНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ОБОЛОНКИ ВИБУХОВОГО ПАКЕРА

Запропоновано оболонковий пакер, що деформується, з видаленою камерою згоряння і дросельною муфтою. Для радіальної деформації оболонки пакера використовують енергію вибуху заряду металевий вибухової речовини. Пакер призначений для розмежування пластів у нафтових і газових свердловинах. Розглянуто шляхи підвищення надійності роботи пакера.

**Ключові слова:** пакер, пласт, свердловина, буровий розчин.

**Вступ.** Розглянута у статті проблема актуальна при розробці нафтогазових родовищ методом почергового використання пластів «від низу – до гори», а саме при розмежуванні продуктивних пластів із використанням пакерів. Аналіз сучасних технологій використання пакерів свідчить, що найбільш економічними є технології з установами вибухового пакера із залученням для спуско-підіймальних операцій геофізичного обладнання, що швидко монтується на свердловині. Однак для досягнення максимального ефекту розмежування пластів необхідно провести оптимізацію процесу радіальної деформації оболонки пакера, що пов'язана із зниженням швидкості деформації для більш повного витиснення залишків плівки бурового розчину із щілини між зовнішньою стінкою оболонки пакера і внутрішньою стінкою свердловини. Запропонована стаття висвітлює дослідження і висновки авторів з питання оптимізації процесу роздачі вибухового пакера, що полягає у перенесенні згоряння порохового заряду із оболонки пакера в видалену камеру згоряння з подальшим перетіканням порохів газів із камери згоряння в оболонку через дросель і у попередній деформації стінки оболонки для її спрямованої роздачі.

**Основна частина.** При розробці нафтогазових родовищ здебільше використовують технологію почергової експлуатації продуктивних пластів «від низу – до гори». При цьому добурюють свердловину до нижнього продуктивного горизонту, перфорують її на цьому горизонті і пускають в експлуатацію. При виснаженні нижнього горизонту, його відсікають і переходять на експлуатацію наступного по висоті горизонту, і так по черзі до найвищого. Відсікання горизонтів (розмежування пластів) проводять встановленням в експлуатаційну колону свердловини цементного мосту, або пакера, або каскаду пакерів. Традиційний метод встановлення цементного мосту вимагає наявності значних відстаней між горизонтами по вертикалі та трудомістких операцій із спуску-підійманню колони труб бурового інструменту [1]. Більш привабливим для розмежування пластів є метод встановлення в свердловину вибухового пакера, для спуску і приведення в дію якого використовують геофізичне обладнання, що швидко монтується [2]. Вибуховий пакер спускають у свердловину каротажним підйомником на вантажному геофізичному кабелі, приводять в робочий стан електричним імпульсом й від'єднують від підвіски енергією вибуху порохового заряду. Підвіску піднімають на поверхню разом із кабелем і використовують багаторазово. При необхідності із міркувань перепаду тиску між горизонтами, що відсікають, встановлюють каскад із декількох вибухових пакерів.

Найбільш широко в нафтогазовій галузі використовується пакер типу ВП, вибухова оболонка якого виготовлена із пластичного матеріалу. Він призначений для роботи при гідростатичному тиску до 60 МПа й температурі до 120 °С. На рис. 1а зображено конструкцію пакера ВП, готового до застосування, а на рис. 1б – пакер ВП після деформації вибухом і від'єднання кабельної підвіски. Пакер складається із пластичного алюмінієвого корпусу 1, голови 2 і кабельної підвіски 3. Корпус 1 має вигляд пустотілого циліндра всередині якого розміщено пороховий заряд 4. В голові 2 розміщено поршневий замок 5 із кульками 6, які знаходяться в зачепленні із підвіскою 3, та електрозапальник 7.

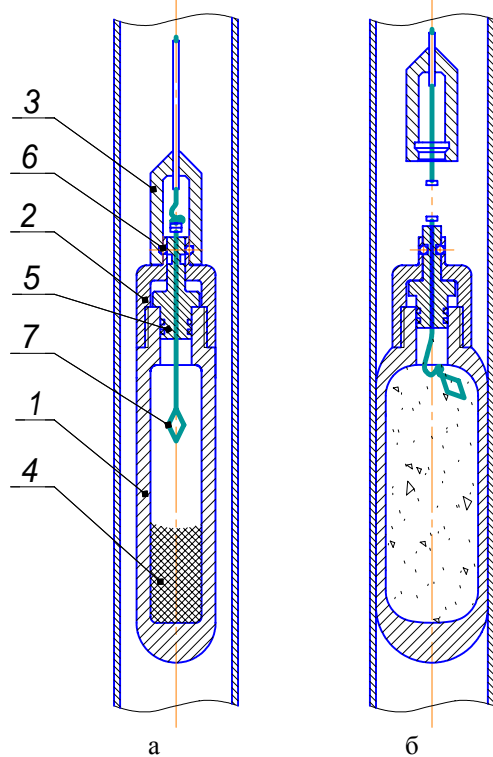


Рис. 1 – Пакер ВП:  
а – у готовому до застосування стані;  
б – після деформації вибухом  
і від'єднання кабельної підвіски

Пакер ВП після спуску в свердловину на глибину встановлення спрацьовує від електричного імпульсу, який розігріває нитку електрозапальника і ініціює вибух порохового заряду. Під тиском порохових газів оболонка корпусу пакера деформується у радіальному напрямку до повного контакту із внутрішньою стінкою свердловини, розділяючи її порожнину на два ізолюваних один від одного простори – надпакерний і підпакерний. Одночасно поршневий замок переміщується у крайнє верхнє положення, при якому кульки виходять із зачеплення із підвіскою і вивільняють її для повертання нагору.

Однак у такого на перший погляд простого в виготовленні і в використанні пакера є суттєві недоліки, які не дають стовідсоткового надійного результату розмежування надпакерного і підпакерного просторів, в наслідок чого при постановці його у свердловину залучають додаткові заходи ізолювання у вигляді постановки над пакером цементного куполу. Розглянемо ці недоліки.

Перший недолік вибухового пакера ВП пов'язаний із великою швидкістю роздачі оболонки під тиском продуктів згоряння порохового заряду. Навіть згоряння спеціальних порохових зарядів, яке відбувається паралельними шарами і не переходить у вибух, займає дуже короткий час на газоутворення – у межах 0,01 секунди (при використанні звичайних зарядів піроксилінового порошу цей час на два порядки менше – у межах 0,0001...0,001 секунди). В наслідок цього стінка оболонки пакера наближаючись до стінки свердловини витісняє свердловинний розчин при зменшенні зазору із наростаючою швидкістю, яка вже при зазорі менше 1,5 мм досягає критичного значення. При цьому відбувається запирання залишку плівки розчину у зазорі, розчин не стискається і приймає на себе тиск стінки оболонки як тверде тіло. Крім того, частина розчину, яка спрямована у підпакерний простір, стикається із розчином в замкненому об'ємі, який в наслідок нестискання рідини не дає можливості рухатись цій частині розчину під пакер.

Існує ще один недолік, який пов'язаний із уніфікацією порції порохового заряду для кожного із типорозмірів пакерів з метою спорядження заряду в умовах

спеціалізованого виробництва на етапі виготовлення. В той же час розрахункова кількість порохового заряду залежить від конкретних умов застосування пакера, а саме від глибини встановлення пакера і від товщини стінки обсадної колони.

І це очевидно на прикладі пакера ВП-135 призначеного для встановлення в обсадній колоні зовнішнім діаметром 168 мм, розмір радіальної деформації знаходиться у межах від  $\Delta R_{\min} = 4,55$  мм при товщині стінки 12,1 мм до  $\Delta R_{\max} = 7,75$  мм при товщині стінки 8,9 мм. Від чого коефіцієнт корекції кількості заряду на зміну внутрішнього об'єму буде коливатись у межах

$$K_v = 1 \dots (\Delta R_{\max} - \Delta R_{\min})^2 / \Delta R_{\max}^2 = 1 \dots 0,17.$$

Глибина встановлення пакера може коливатися у межах від 2500 м до 4000 м, і в наслідок чого може коливатися величина зовнішнього тиску бурового розчину на оболонку пакера  $P_p$ . Так при використанні у якості розчину технічної води  $P_p$  може змінюватись у межах 25...40 МПа. Тоді коефіцієнт корекції кількості заряду на свердловинний тиск буде коливатися у межах

$$K_p = 1 \dots (\sigma_{A1} (D_{\text{пзв}} - D_{\text{пвн}}) + P_{p_{\min}} D_{\text{пзв}}) / (\sigma_{A1} (D_{\text{пзв}} - D_{\text{пвн}}) + P_{p_{\max}} D_{\text{пзв}}) = 1 \dots 0,8,$$

де  $\sigma_{A1}$  – напруга пластичної деформації стінки пакера;  $D_{\text{пзв}}$  – зовнішній діаметр оболонки пакера;  $D_{\text{пвн}}$  – внутрішній діаметр оболонки пакера.

Крім того має значення  $K_{zT}$  – коефіцієнт температурної нестабільності порохового заряду, що коливається в залежності від температури бурового розчину в свердловині на різних глибинах встановлення пакера у межах  $K_{zT} = 1 \dots 0,9$ .

Підсумковий коефіцієнт корекції кількості порохового заряду може коливатися у межах

$$K_{\Sigma} = K_v K_p K_{zT} = 1 \dots 0,12.$$

При такій нестабільності коефіцієнта корекції розрахункової кількості заряду залежно від умов використання пакера досить легко припуститися помилки, що може привести або до нецільного прилягання пакера до стінки свердловини (неповної деформації пакера), або до руйнування оболонки розривом.

Очевидно, що якщо значно знизити швидкість роздачі оболонки пакера і спрямувати витиснення розчину із зазору між стінками пакера і свердловини нагору у надпакерний простір, зменшити ризик припущення помилки при розрахунках кількості порохового заряду, то можна істотно підвищити надійність розмежування надпакерного і підпакерного просторів свердловини. Вирішення цієї задачі значно підвищить попит на застосування вибухових пакерів.

Авторами проведені розрахункові та експериментальні дослідження з оптимізації процесу роздачі вибухового пакера та розроблена конструкція, в якій з метою зниження швидкості роздачі оболонки пакера та спрямування витиснення бурового розчину в надпакерний простір згоряння порохового заряду перенесено у видалену камеру згоряння із подальшим перетіканням порохових газів в оболонку пакера через дросель, а сама оболонка пакера попередньо деформована у його нижній частині у радіальному напрямку. Конструкція була розроблена для перекриття обсадної колони із зовнішнім діаметром 168 мм і отримала шифр ВПД-168.

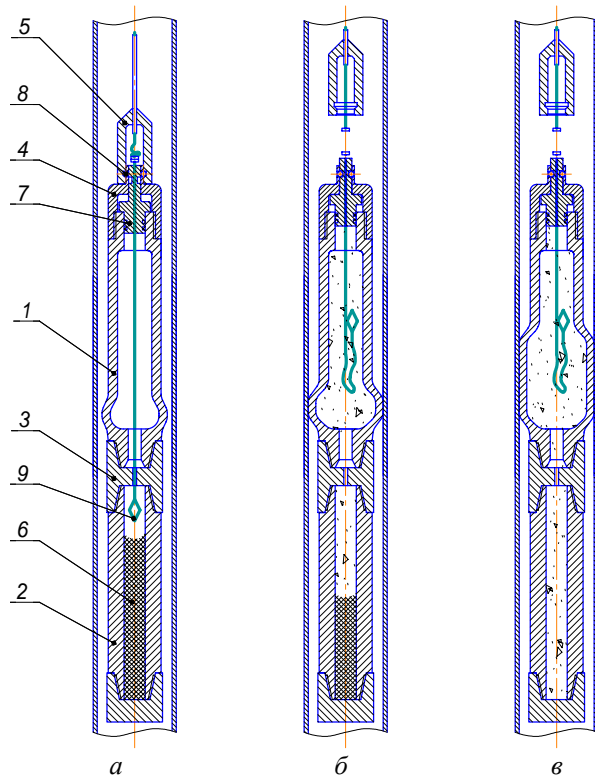


Рис. 2 – Пакер ВПД-168:

*a* – у готовому до застосування стані; *б* – в початковий момент деформації вибухом із від'єднаною кабельною підвіскою; *в* – кінцевий момент деформації вибухом

Будову і принцип роботи пакера ВПД-168 наведено на рис. 2. Пакер складається із пластичного алюмінієвого корпусу 1, видаленої камери згоряння 2, дросельної муфти 3, голови 4 і кабельної підвіски 5. Корпус 1 має вигляд пустотілого циліндра, попередньо деформованого у нижній частині в радіальному напрямку. Дросельною муфтою 3 корпус з'єднаний із камерою згоряння 2, всередині якої розміщено пороховий заряд 6 та електрозапальник 9. Камера згоряння виготовлена із товстостінної сталевий бурильної труби зовнішнім діаметром 127 мм із проходом 50,8 мм. З'єднання між собою корпусу, дросельної муфти і камери згоряння виконано замковою різьбою NC-38. В голові 4 розміщено поршневий замок 7 із кульками 8, які знаходяться в зачепленні із кабельною підвіскою 5.

Пакер ВПД-168 після спуску в свердловину на глибину встановлення спрацьовує від електричного імпульсу, який розігріває нитку електрозапальника і ініціює вибух порохового заряду. Утворені порохові гази перетікають у оболонку корпусу через дросельну муфту, яка дозволяє розтягнути перетікання газів у часі до 0,25...1,0 секунди. Час перетікання можна регулювати підбиранням діаметра дросельного отвору муфти за даними експериментальних досліджень [3, 4].

Під тиском порохових газів оболонка корпусу пакера роздається у радіальному напрямку. Спочатку роздача відбувається у нижній частині корпусу в місці попередньої деформації, де співвідношення товщини стінки оболонки до її внутрішнього діаметру менше ніж на вищих ярусах, і відповідно опір тиску деформації також менший. Після повного щільного прилягання нижнього яруса оболонки пакера до внутрішньої стінки свердловини починається поступова деформація наступних ярусів оболонки знизу-вверх, так поки вистачить енергії порохових газів. При цьому зміна конфігурації щілини між пакером і свердловиною відбувається у осьовому напрямку в надпакерну зону із швидкістю менше критичної, без запирання у щілині залишкової плівки бурового розчину. Крім того, при такій осьовій направленості деформації прилягання zdeформованої частини пакера до стінки свердловини завжди щільне, а від кількості виділеної при згорянні порохового заряду енергії залежить лише довжина zdeформованої ділянки. Це дозволяє маневрувати умовами застосування пакера у більш вільних діапазонах геометричних, глибинних і температурних параметрів свердловини без ризику недостатньої деформації пакера або його руйнування. Переміщення поршневого замка із вивільненням кульок і від'єднанням підвіски відбувається аналогічно як і у пакера ВП.

Однак слід зауважити, що енергетичні витрати пакера ВПД-168 більші ніж у аналогічного розміру пакера ВП. Це пов'язано із тим, що енергія утворених у камері згоряння порохових газів витрачається на виконання корисної роботи з деформації оболонки та теплові втрати в навколишнє середовище, які при дроселюванні зростають за рахунок розігріву дроселя [5].

#### **Висновки**

– оптимізація вибухового оболонкового пакера із пластичного матеріалу полягає в вирішенні задачі підвищення надійності розмежування пластів за рахунок повного витиснення залишків плівки бурового розчину із щілини між стінками пакера і свердловини в надпакерний простір.

– задача оптимізації може бути вирішена за рахунок уповільнення і спрямованості радіальної роздачі оболонки пакера, а саме – за рахунок перенесення згоряння порохового заряду у видалену камеру згоряння, перетікання порохових газів у оболонку пакера через дросель, попередньої деформації нижнього яруса оболонки в радіальному напрямку.

– завдання подальших досліджень з цього питання полягають в вивченні і оптимізації режимів перетікання порохових газів із видаленої камери згоряння до оболонки пакера для всього ряду типорозмірів вибухових пакерів.

**Список літератури:** 1. Ашрафьян, М.О. Технология разобшения пластов [Текст] / М.О. Ашрафьян. – М.: Недра, 1989. – 232 с. 2. Григорян, Н.Г. Краткий справочник по прострелочно-взрывным работам [Текст] / Н.Г. Григорян. – М.: Недра, 1990. – 198 с. 3. Обладнання для пластичної деформації оболонки пакера в обсадженої свердловині [Текст] / В.К. Борисевич, Д.В. Римчук, С.В. Цибулько // Нафтова і газова промисловість. – 2011. – № 4(258). – С. 34-38. 4. Аналіз і корекція робочих процесів вибухового пакера за аналогією з робочими процесами пострілу [Текст] / С.В. Цибулько // Питання розвитку газової промисловості України. Зб. наук. праць УкрНДІгаз. – Х., 2011. – № XXXIX. – С. 118-125. 5. Абрамович, Г.И. Прикладная газовая динамика [Текст] / Г.И. Абрамович. – М.: Наука, 1991. – 464 с.

*Поступила в редколлегию 05.09.13*

УДК 622.245.44

**Оптимізація процесу радіальної деформації оболонки вибухового пакера** [Текст] / Д.В. Римчук, С.В. Цибулько // Вісник НТУ «ХП». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Х.: НТУ «ХП», 2014. – № 1(1044). – С. 180-184. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2078-774X.

Предложено деформируемый оболочковый пакер с удаленной камерой сгорания и дросельной муфтой. Для радиальной деформации оболочки пакера используется энергия взрыва заряда метательного взрывчатого вещества. Пакер предназначен для разобшения пластов в нефтяных и газовых скважинах. Рассмотрены пути повышения надежности пакера.

**Ключевые слова:** пакер, пласт, скважина, буровой раствор.

The paper offers a shell-type deformable packer with remote chamber of combustion with a throttle-diaphragm. For a radial deformation of the shell packer used explosive energy propellant charge. The packer is designed for separation of strata in oil and gas wells. The ways of increase of reliability of work of a packer cover.

**Keywords:** packer, layer, mining hole, boring solution.