

УДК 622.235:622.245.14

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ЛЕНТ СКВАЖИННЫХ БЕСКОРПУСНЫХ МАЛОГАБАРИТНЫХ КУМУЛЯТИВНЫХ ПЕРФОРАТОРОВ В УСЛОВИЯХ ФУГАСНОЙ НАГРУЗКИ****А. Г. Драчук, Л. П. Мельник, Р. В. Зубков, Р. В. Тымах**

ГП "Науканефтегаз"

ул. Киевская, 8, г. Вишневое, 08132, Киево-Святошинский р-н, Киевская обл., Украина.

E-mail: drachuk@naukanaftogaz.kiev.ua

Экспериментальным путем исследованы прочностные свойства разных вариантов конструкций лент скважинных бескорпусных малогабаритных кумулятивных перфораторов при фугасном взрыве кумулятивных зарядов отечественного производства. Приведена схема испытания и результаты взрывных экспериментов при возможных вариантах расположения перфоратора в скважине. Показано, что без мероприятий по рациональному расположению перфоратора в скважине обеспечение целостности его ленты в условиях фугасной нагрузки является маловероятным. Предложены пути обеспечения прочностных свойств лент скважинных бескорпусных малогабаритных кумулятивных перфораторов и уменьшения вероятности возникновения фугасного взрыва их кумулятивных зарядов.

**Ключевые слова:** малогабаритный кумулятивный перфоратор, лента, кумулятивный заряд, фугасный взрыв, прочность.

**ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТРІЧОК СВЕРДЛОВИНИХ БЕЗКОРПУСНИХ МАЛОГАБАРИТНИХ КУМУЛЯТИВНИХ ПЕРФОРАТОРІВ ЗА УМОВ ФУГАСНОГО НАВАНТАЖЕННЯ****О. Г. Драчук, Л. П. Мельник, Р. В. Зубков, Р. В. Тымах**

ДП "Науканефтегаз"

вул. Київська, 8, м. Вишневе, 08132, Києво-Святошинський р-н, Київська обл., Україна.

E-mail: drachuk@naukanaftogaz.kiev.ua

Експериментальним шляхом досліджено міцнісні властивості різних варіантів конструкцій стрічок свердловинних бескорпусних малогабаритних кумулятивних перфораторів під час фугасного вибуху кумулятивних зарядів вітчизняного виробництва. Наведено схему випробування та результати вибухових експериментів під час можливих варіантів розташування перфоратора у свердловині. Показано, що без заходів з рационального розташування перфоратора у свердловині забезпечення цілісності його стрічки за умов фугасного навантаження є малоймовірним. Запропоновано шляхи забезпечення міцносних властивостей стрічок свердловинних бескорпусних малогабаритних кумулятивних перфораторів та зменшення ймовірності виникнення фугасного вибуху їхніх кумулятивних зарядів.

**Ключові слова:** малогабаритний кумулятивний перфоратор, стрічка, кумулятивний заряд, фугасний вибух, міцність.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Бескорпусні свердловинні малогабаритні кумулятивні перфоратори (БСМКП) широко застосовуються у різних технологіях свердловинних прострілювально-вибухових робіт (ПВР) та можуть транспортуватися до інтервалу перфорації через насосно-компресорні труби (НКТ) або звужені ділянки обсадних колон, обсадні труби невеликого діаметру, бурильні труби. Вони можуть застосовуватися для створення перфораційних отворів під час вторинного розкриття продуктивних пластів, перфорації бурильних труб або обважених бурильних труб з метою відновлення циркуляції промивальної рідини для ліквідації їхнього прихоплення під час капітального ремонту свердловин з метою формування сітки отворів для закачування цементу до затрубного простору.

Тому питання розробки ефективних нових і вдосконалення існуючих конструкцій БСМКП не лише в частині ефективності їхньої дії, але і в частині надійного (безаварійного) проведення ПВР, завжди користувалися і будуть користуватися незмінним науково-практичним інтересом.

На вітчизняних родовищах з поміж малогабаритних корпусних, бескорпусних типу *Link* (повністю руйнуються) та БСМКП типу *Strip* (зі стрічкою, що вилучається), найбільшого поширення набули саме останні.

Найбільшими закордонними постачальниками БСМКП та комплектуючих до них на вітчизняному ринку є фірми – Owen, DYNAenergetics, Shlumberger,

НТФ Перфотех, ЗАТ "БашВзрывТехнологии", ЗАТ "ВНИПИИВзрывгеофизика". Вітчизняний сегмент ринку представлено БСМКП ПБ2-42Н та однотипними ПКМ-38, ПКМ-54 розробки УкрДГРІ.

Як свідчить аналіз основних причин ускладнень, що виникали у вітчизняних свердловинах під час проведення ПВР з використанням імпортованих БСМКП, що мають прямолінійні стрічки, типу *Strip* фірм DYNAenergetics, Owen та вітчизняних ПБ2-42Н, перших моделей ПКМ-38, ПКМ-54, основним ускладненням є їхнє заклинювання в колоні НКТ або завужених ділянках обсадних колон після відстрілу під час підняття перфоратора на поверхню [1].

Це відбувається, як правило, внаслідок розгерметизації вкручених до різьбових гнізд у стрічках кумулятивних зарядів (КЗ), що відбувається через їхнє ударне контактування з муфтовими з'єднаннями труб (НКТ, обсадних колон) і потрапляння до облицьованої кумулятивної виїмки свердловинної рідини. Це спричинює фугасний вибух КЗ і, відповідно, неприпустимі деформації або порушення цілісності (розрив) стрічок перфоратора під дією фугасного навантаження.

Проведення робіт з ліквідації прихоплення (заклинювання) БСМКП часто закінчуються обривом кабелю та залишенням пристрою у свердловині, що зумовлює необхідність позапланового підняття НКТ. На рис. 1 показано вилучені на поверхню деформовані внаслідок фугасного вибуху КЗ стрічки БСМКП ПКМ-38.

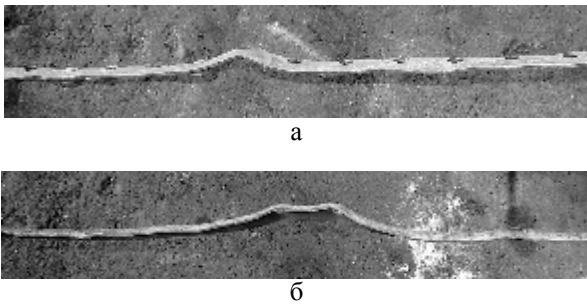


Рисунок 1 – Стрічка БСМКП ПКМ–38 після фугасного спрацьовування: а – одного КЗ; б – двох КЗ

Звичайно, що на вітчизняному ринку представлені також і БСМКП зі спіральною стрічкою, наприклад, Shogun Spiral Strip, Shogun Snake фірми Owen, в яких КЗ захищені стрічкою від співударяння зі стінками і муфтовими з'єднаннями НКТ й обсадних колон. У цьому випадку, розгерметизація КЗ із наступним фугасним вибухом можлива лише за заводського дефекту КЗ або перевищення регламентованих виготовлювачем барометричних умов експлуатації. Проте такі перфоратори в Україні застосовуються значно менше, аніж з прямолінійними стрічками, з огляду на їхню порівняно високу вартість.

Таким чином, метою роботи є забезпечення безаварійної роботи БСМКП з прямолінійними стрічками під час їхнього застосування у різних технологіях свердловинних прострілювально-вибухових робіт.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Задля досягнення поставленої мети було проведено експериментальне дослідження вибухового навантаження прямолінійних стрічок БСМКП за умов фугасного ("нештатного") спрацьовування КЗ. У вибухових експериментах використовувалися КЗ, в яких маса вибухової речовини (ВР) складала: для ЗГ2–42 – 9,7 г, ЗКМ–38 – 10 г, ЗКМ–У–54 – 19 г. Схему дослідження наведено на рис. 2.

На стрічці (відрізку стрічки) 1 БСМКП закріплюються "штатні" КЗ 2, які спрацьовують у робочому режимі, а між ними – "нештатний" КЗ, кумулятивна виїмка якого попередньо заповнюється водою (через отвір у кришці, який потім закривається герметиком), що забезпечує його фугасний підрив.

До корпусів КЗ 2, 3 кріпиться детонуючий шнур 4 за допомогою защіпки 5. Кінець детонуючого шнура 4 прикріплюється до вибухового патрона 6 за допомогою стрічки 7 ПЕ з липучим шаром (ізоляційної стрічки).

У пробурену вертикальну нішу в ґрунті 11 встановлюється відрізок труби 9 (обсадна труба зовнішнім діаметром 127 мм та товщиною стінки 12 мм), нижній кінець якої загерметизовано за допомогою бандажу 10 з поліетилену, та забезпечується всебічне прилягання зовнішньої сторони відрізку труби 9 до стінок ніші у ґрунті 11 шляхом його утрамбовування, утворюючи при цьому, таким чином, вузький колодезь.

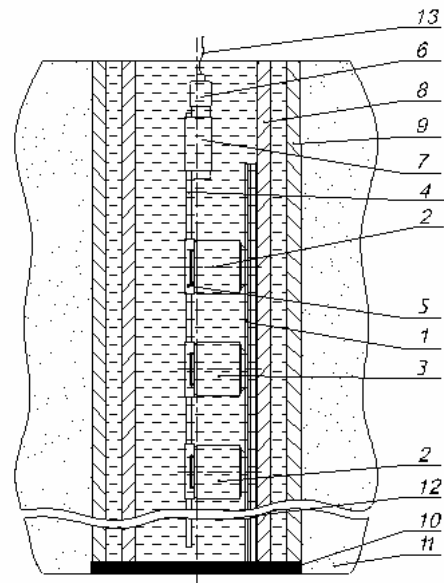


Рисунок 2 – Схема дослідження міцносних властивостей БСМКП: 1 – відрізок стрічки БСМКП, 2 – "штатні" КЗ, 3 – "нештатний" КЗ, 4 – детонуючий шнур, 5 – защіпка, 6 – вибуховий патрон (електродетонатор), 7 – стрічка ПЕ з липучим шаром (ізоляційна стрічка), 8 – відрізок обсадної труби або НКТ, 9 – відрізок обсадної труби, 10 – бандаж, 11 – ґрунт, 12 – вода, 13 – електричний провід

Всередині відрізку труби 9 розміщується відрізок обсадної труби або НКТ 8 (зовнішнім діаметром 89 мм та товщиною стінки 9–11 мм), куди опускається збірка елементів перфоратора – стрічка 1 із закріпленими КЗ 2, 3 та засобами ініціювання з наступною фіксацією за допомогою дерев'яних клинів (на рис. 2 не показано) у необхідному положенні. Воно визначається одним з двох варіантів ймовірного розміщення БСМКП у свердловині.

Згідно з першим варіантом відрізок стрічки 1 із КЗ 2, 3 знаходиться на стінці труби 8 так, що вісь симетрії КЗ направлено по нормалі до стінки труби (заряди БСМКП "стоять" на трубі), як показано на рис. 2, що є найоптимальнішим варіантом розташування у свердловині з огляду на умови для забезпечення найбільшої пробивної здатності.

Згідно з другим варіантом вісь КЗ направлено по хорді поперечного кола труби (заряди БСМКП "лежать" на трубі).

Після цього колодезь (порожнини труб 8, 9) заповнюється водою 12. При цьому елементи перфоратора повинні бути занурені у воду настільки, аби відбита вибухова хвиля суттєво не впливала на результати експерименту (занурення у експериментах здійснювалося на 30 см).

До вибухового патрону (електродетонатору) 6 приєднується електричний провід 13 та здійснюється його ініціювання від підривної машинки КІМ–3А.

Після відстрілу відрізок стрічки 1 вилучався із відрізку труби 8 на поверхню, проводиться його огляд з визначенням деформації.

Результатом дослідження міцносних властивостей стрічки перфоратора є висновок про можливість її застосування в конструкціях перфораторів, відсутність при цьому заклинювань під час ймовірного фугасного спрацьовування КЗ, та,

відповідно, унеможливлення виникнення аварійних ситуацій у свердловині під час реалізації технологій свердловинних ПВР.

Варто наголосити, що така схема випробувань (з двома трубами) забезпечує подібний до свердловинних умов характер розповсюдження і відбиття ударно-вибухових хвиль та їхній вплив на конструктивні елементи, зокрема, стрічку перфоратора.

У разі відсутності труби 8, як показали результати проведених раніше вибухових експериментів, після спрацювання КЗ 2, 3 спостерігалися значні розриви або розколювання труби 9 з одночасним вигином стрічки 1, що не дозволяло зробити однозначний висновок про деформацію стрічки, оскільки деформації в такому випадку були порівняно більшими, аніж із використанням додаткової внутрішньої труби.

Значні деформації та порушення цілісності стрічки 1, особливо під час фугасного спрацювання різних КЗ 3 із ВР вагою більше 15 г, спостерігалися також і під час застосування схеми випробувань, згідно з якою стрічка (відрізок) 1 із КЗ 2, 3 встановлювалася на мішень зі сталевих пластин, розташовану на дні викопаної в ґрунті та заповненої водою горизонтальної ніші.

Як показали результати експериментів із використанням КЗ ЗГ2-42, ЗКМ-38, цілісність стрічки (матеріал – полоса Ст45 завтовшки 3 мм, відстань між різьбовими отворами – 50 мм) гарантовано забезпечується лише за умови її щільного прилягання до опорної поверхні (перший варіант розташування). Натомість, для потужніших КЗ ЗКМ-У-54 розрив стрічки інколи спостерігався в обох варіантах розташування.

Оскільки центр мас БСМКП ПБ2-42Н та ПКМ-38 об'єктивно знаходиться ближче до стрічки, аніж у ПКМ-54, то, зрозуміло, що у свердловині після виходу з НКТ остання конструкція БСМКП частіше знаходиться у другому варіанті розташування, а отже для неї ймовірність значних деформаційних змін стрічки є найбільшою.

Зважаючи на те, що профіль стрічки для досліджуваних БСМКП є уніфікованим, було вдосконалено конструкцію стрічки з метою зменшення її деформації та забезпечення цілісності під час фугасного спрацювання КЗ ЗКМ-У-54, які мають більшу вагу вибухової речовини, а отже, відповідно, спричиняють більше фугасне навантаження. Зрозуміло, що за позитивного результату належні міцнісні властивості стрічки забезпечувалися би і для менш потужних за вмістом вибухової речовини БСМКП (КЗ) – ПБ2-42Н (ЗГ2-42) та ПКМ-38 (ЗКМ-38).

Для цього було досліджено стрічки чотирьох варіантів конструкції, які відрізнялися розташуванням розвантажувальних отворів та ослаблень (неглибоких ненаскрізних канавок) між ними (рис. 3).

Результати дослідження, що проводилося за першим варіантом розташування БСМКП стрічок із чотирма варіантами розташування локалізаторів вибуху (отворів та ослаблень між ними), наведено на рис. 4:

– *перший* варіант – стрічка ціла, наявні її локальні осьові розриви між отворами до сусідніх різьбових отворів під КЗ; габаритний розмір стрічки

після деформації у місці фугасного вибуху становить 47 мм;

– *другий* варіант – стрічка ціла, наявні її локальні осьові розриви між отворами по контуру ослаблень до сусідніх різьбових отворів під КЗ; габаритний розмір стрічки після деформації у місці фугасного вибуху становить 47 мм;

– *третій* варіант – стрічку розірвано у місці фугасного вибуху КЗ, наявні її локальні осьові розриви між отворами по контуру ослаблень до сусідніх різьбових отворів під КЗ; габаритний розмір стрічки після деформації у місці фугасного вибуху становить 53 мм;

– *четвертий* варіант – стрічку розірвано у місці фугасного вибуху КЗ, наявні її незначні локальні осьові розриви між отворами по контуру ослаблень до сусідніх різьбових отворів під КЗ; габаритний розмір стрічки після деформації у місці фугасного вибуху становить 46 мм.

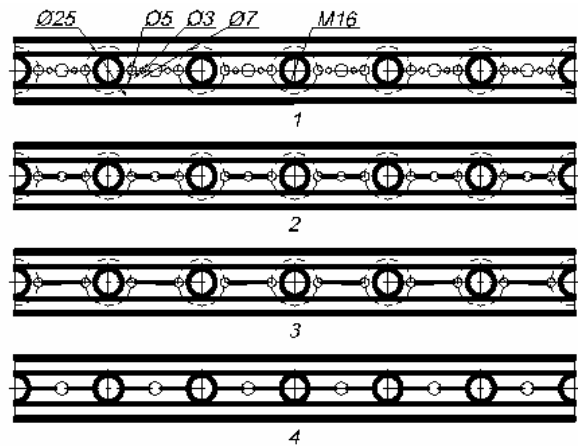


Рисунок 3 – Варіанти розташування на стрічці БСМКП розвантажувальних отворів та ослаблень між ними

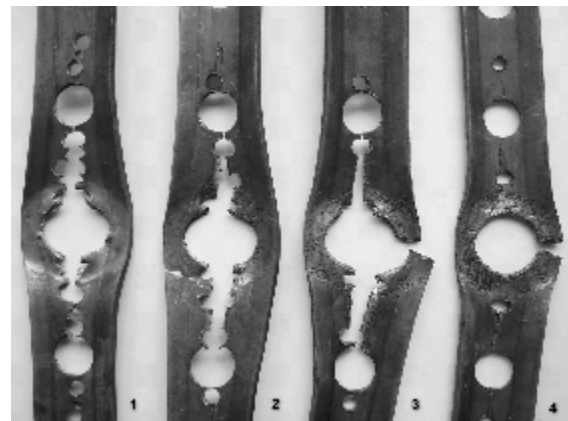


Рисунок 4 – Стрічки БСМКП після фугасного спрацювання КЗ ЗКМ-У-54

Як показали отримані результати, не було отримано позитивного результату щодо забезпечення міцності та необхідної цілісності під час фугасного вибуху стрічок варіантів 3, 4. Отож, їхнє використання за таких умов є неприйнятним.

Натомість, для конструкцій стрічок варіантів 1, 2 було отримано позитивний результат – стрічки залишилися цілими, розрив відбувся в осьовому напрямку між

отворами. Деформація 47 мм є припустимою та не призведе до заклинювання БСМКП під час фугасного спрацьовування КЗ у свердловині.

Однак, дослідження, що були проведені за другим варіантом розташування БСМКП, коли вісь КЗ було направлено під кутом 45° до опорної поверхні, показали, що за цих умов цілісність стрічок, навіть для варіантів 1, 2, також порушується.

Загальним підсумком проведених досліджень став висновок про неприйнятність використання таких стрічок у конструкції БСМКП ПКМ–54.

Зважаючи на отримані результати, для зменшення деформації, а, головне, з метою забезпечення цілісності стрічки в місці можливого фугасного вибуху, для БСМКП ПКМ–54 було вирішено піти найбільш раціональним, на наш погляд, шляхом – було збільшено товщину стрічки до 4 мм, а відстань між КЗ – із 50 до 75 мм, тобто зменшено щільність перфорації.

Необхідність уніфікації виготовлення конструктивних елементів з метою зменшення їхньої собівартості, в підсумку, стало причиною використання в конструкціях БСМКП ПКМ–38, ПБ2–42Н стрічок, що також мають товщину 4 мм.

Однак у цьому випадку з метою забезпечення незмінності поперечного діаметру БСМКП довелося зменшити висоту відповідних КЗ, що, певним чином, зменшило їхню пробивну здатність. Так, наприклад, зменшення кришки КЗ ЗКМ–38 на 1 мм призвело до зменшення глибини пробиття у середньому на 4–5 %, як показали стендові дослідження, пробивної здатності з використанням сталевих (Ст3) та бетонних мішеней.

**ВИСНОВКИ.** Зважаючи на отримані результати дослідження міцносних властивостей стрічок свердловинних БСМКП, можна стверджувати про наступне:

– забезпечення міцносних властивостей уніфікованих прямолинійних стрічок свердловинних БСМКП за умов фугасного вибухового навантаження, завдяки вдосконаленню конструкції стрічок шляхом їхнього виконання з розвантажувальними отворами та ослабленнями для різних за потужністю вибухового (фугасного) впливу КЗ без застосування заходів із

раціонального розміщення БСМКП відносно стінки свердловини, є малоімовірним;

– з метою зменшення негативного впливу фугасного вибухового навантаження на стрічку БСМКП необхідно забезпечити умови його оптимального розміщення у свердловині, а саме, щільне прилягання стрічки до стінки свердловини з розташуванням осей КЗ по нормалі до стінки свердловини, що можливо забезпечити, наприклад, завдяки використанню серійних магнітних децентраторів або БСМКП зі зміщеним центром мас;

– під час проектування та використання БСМКП доцільно створювати умови для зменшення ймовірності розгерметизації КЗ з наступним фугасним спрацьовуванням під час транспортування до інтервалу перфорації шляхом встановлення на стрічках БСМКП децентраторів спеціальної конструкції у вигляді пружного стержня з пружинною основою, як було запропоновано у [2], що й було реалізовано під час вдосконалення конструкцій вітчизняних БСМКП ПБ2–42Н, ПКМ–38, ПКМ–54.

*Автори дякують директору С.В. Гошовському, зав. відділу ГТІТ Ю.І. Войтенку (УкрДГРІ), заст. директора В.П. Бугайцю, начальнику відділу ВТК В.Г. Симорозу, головному технологу М.І. Боримчуку (Науково-інженерний центр "Матеріалообробка вибухом" ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України) за допомогу, надану під час організації та проведення вибухових експериментів.*

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Причини ускладнень при використанні перфораторних систем і безпека прострілювально-вибухових робіт у свердловинах/ Ю.І. Войтенко, О.Г. Драчук, Д.Д. Глагола // Матеріали 8-ї Міжнародної науково-практичної конференції "Нафта і газ України–2004", 29 вересня – 1 жовтня 2004 р., м. Судак. – К.: УНГА, 2004. – С. 387–388.

2. Пат. 38487 Україна, МПК E21B43/117. Кумулятивний свердловинний перфоратор / Войтенко Ю.І.; Гошовський С.В., Драчук О.Г.; заявник та патентовласник Український державний геологорозвідувальний інститут. – № 200810136; заявл. 06.08.2008; опубл. 12.01.2009, Бюл. № 1.

#### RESEARCH OF STRENGTH PROPERTIES OF WELL SMALL-SIZED CAPSULE-TYPE JET PERFORATOR STRIPS AT THE SHAPED CHARGES CRATERING EXPLOSION

O. Drachuk, L. Melnik, R. Zubkov, R. Timah  
SE "Naukanaftogaz"

vul. Kyivska 8, Vyshneve, 08132, Kyevo-Svyatoshynskiy reg, Kyivska obl., Ukraine. E-mail: drachuk@naukanaftogaz.kiev.ua

The strength properties of different designs of small-sized capsule-type jet perforator strips under the cratering explosion of domestic shaped charges were experimentally studied. The experimental scheme and explosive research results are provided for the various optional positions of the well perforator. It is shown that actions for rational arrangement of the perforators in a well are necessary otherwise ensuring of integrity of their strips during the cratering explosion is improbable. Ways for providing of tapes of strips of small-sized capsule-type jet perforator strength properties and reduction of probability of their shaped charges cratering explosion are offered.

**Key words:** small-sized capsule-type jet perforator, strip, shaped charge, cratering explosion, strength.

#### REFERENCES

1. Voytenko Yu.I., Drachuk O.G., Glagola D.D. Reasons of complications by use of perforating system and safety of wells shooting // *Oil and gas of Ukraine: materials of 8th international scientific and practical conference " Oil and gas of Ukraine – 2004"*, 29 september – 1 october 2004, Sudak. – K.: UOGA, 2004. – PP. 387–388. [in Ukrainian]

2. Pat. 38487 Ukraine, IPC E21B43/117. *Well jet perforator* / Voytenko Yu.I., Hoshovskyi S.V., Drachuk O.G.; applicant Ukrainian State Geological Survey Institute. – № 200810136; prior. № 06.08.2008; publ. 12.01.2009, Bull. № 1. [in Ukrainian]

Стаття надійшла 07.08.2012.

Рекомендовано до друку  
д.т.н., проф. Драгобецьким В.В.