

МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ ГІДРОПІСКОСТРУМИННОЇ ПЕРФОРАЦІЇ ЧЕРЕЗ ДЕКІЛЬКА КОЛОН

Ю. Д. Качмар

Науково-дослідний і проектний інститут ВАТ "Укрнафта";
м. Івано-Франківськ, Південний бульвар ім. Пушкіна, 2;
тел. +380 (342) 77-61-40, 77-61-49; e-mail: grp@ndpi.ukrnafta.com

Проводиться розрахунок довжини каналу, що утворився внаслідок дії струменя рідини з піском у пласті за декількома зацементованими колонами. Колони, цементні кільця та порода пласта розглядаються як послідовно розміщені перегородки заданої товщини з притаманною їм початковою швидкістю руйнування матеріалу. Середня осьова швидкість струменя в кожній перегородці визначається з урахуванням її віддаленості від насадки та товщини. Наводиться приклад розрахунку параметрів перфорації, виконаної у свердловині.

Ключові слова: гідропіскоструминна перфорація, свердловина, колона.

Вторинне розкриття пласта гідропіскоструминною перфорацією (ГПП) забезпечує створення каналів значно більших розмірів порівняно з іншими способами перфорації. Під час проведення ГПП канали, утворені внаслідок дії кінетичної енергії сформованим у насадках струменем рідини з піском (пульпою), проходять через колону, цементне кільце і після цього заглиблюються в породу. Однак, методу розрахунку довжини каналу, що проходить через декілька колон з цементними кільцями навколо них ще не існує.

На базі праць Г. Н. Абрамовича, Р. В. Брауна і Дж. Лопера та своїх досліджень С. В. Фалькович і В. П. Гончаров запропонували [1] формулу для розрахунку довжини каналу ГПП, що виробляється в пласті через одну обсадну колону осесиметричною затопленою струминою рідини з піском у вигляді:

$$l = d_o C \left[(u_o / u_{on}) f_o(t) - 1 \right], \quad (1)$$

де l – довжина каналу, виробленого за час різання t , м; d_o – діаметр насадки, м; C – константа умов перфорації; u_o – швидкість витікання пульпи з насадки, м/с; u_{on} – початкова швидкість різання (руйнування) породи (металу, цементу), м/с; $f_o(t)$ – функція часу, що характеризує розвиток каналу в залежності від умов його вироблення.

Нагадаємо, що вироблення каналу в породі починається тоді, коли осьова швидкість струменя на дні каналу більша за початкову швидкість різання, а закінчується, коли вона знизиться до величини початкової швидкості різання.

Похибка розрахункової довжини каналів за формулою (1) порівня-

но з їх довжиною, визначеною за результатами стендових випробувань, становить не більше 12 %, тому розрахунки довжини каналу є досить надійними [2, 3, 4].

Слід зазначити, що у сучасній нафтопромисловій практиці існує потреба в проведенні вторинного розкриття пластів через дві-три обсадні колони, що зустрічається під час переходу з нижніх продуктивних пластів до верхніх. Наприклад, якщо перша колона з товщиною стінки 12 мм, товщина цементного кільця 27 мм, друга з товщиною стінки 11 мм, товщина цементного кільця 35 мм, то наявність другої колони суттєво вплине на зменшення довжини каналу.

Слід нагадати, що умови вироблення каналу через одну і дві колони суттєво відрізняються, здебільшого тим, що під час вироблення отвору перша колона перебуває на початковій ділянці струмини $\Delta l_0 = 2-4 d_0$, де швидкість останньої – u_0 , а з переходом в основну ділянку струмини її швидкість інтенсивно знижується, тобто $u_x < u_0$.

За даними Р. В. Брауна, Дж. Лопера одержаними під час стендових випробувань і доповненими С. В. Фальковичем, В. П. Гончаровим [1] початкова швидкість руйнування сталі $u_{оп} = 25$ м/с, цементу та пісковиків – $u_{оп} = 7,5$ м/с при міцності на стиск $\sigma_{ст} = 50$ МПа, пісковиків – $u_{оп} = 5,0-6,0$ м/с при $\sigma_{ст} = 20...30$ МПа, вапняків – $u_{оп} = 10$ м/с при $\sigma_{ст} = 100$ МПа.

Як бачимо, якщо значення $u_{оп}$ цементу та породи відрізняються не набагато, то для металевих труб і породи – суттєво. Вплив різниці значень початкової швидкості різання різних матеріалів на довжину і час вироблення каналу слід очікувати тоді, коли струмінь зустрічає другу колону, різання якої відбувається вже на його основній ділянці там, де швидкість струменя – u_x в точці зустрічі з матеріалом труби значно менша від початкової. Наприклад, орієнтовно, швидкість його на віддалі $l/d_0 = 10$ може дорівнювати $u_x = 0,5 u_0$, а для $l/d_0 = 20$ вже $u_x = 0,3 u_0$ (далі буде наведено приклад розрахунку швидкості струменя для свердловини 1-Любіннянська). Тому, якщо формула (1) добре прогнозує розвиток каналу в умовах одноколонної конструкції свердловини, то для прогнозування його розвитку в умовах двоколонної задача ще потребує вирішення.

Для одержання такого розв'язання формула (1), виражена відносно функції часу, з урахуванням того, що осьова швидкість струменя u_0 в точці x зіткнення з перегородкою (колоною, цементним кільцем чи породою) зменшиться до u_x , матиме вигляд:

$$f_o(t) = (u_{он} / u_x) \cdot (1 + \Delta l_x / d_o \cdot C), \quad (2)$$

де Δl_x – частина каналу, вироблена за час, що дорівнює Δt_x .

Нами запропоновано [3, 4, 5] залежність функції часу розвитку каналу невільною затопленою струминою за тиску, більшому за критичний

$$f_o(t) = \Delta t_x / (6,5 + \Delta t_x). \quad (3)$$

Прирівнявши вирази (6) і (7) і розв'язавши їх відносно часу різання знайдемо величину Δt , потрібну для вироблення частини каналу Δl_x

крізь матеріал із заданою величиною початкової швидкості різання

$$\Delta t_x = 6,5 \cdot W_x / (1 - W_x), \quad (4)$$

де

$$W_x = (u_{on} / u_x) \cdot (1 + \Delta l_x / d_o \cdot C). \quad (5)$$

Розрахунки за формулою (4) справедливі за умови $W_x > 1$, в іншому випадку відрізок часу $\Delta t < 0$, що свідчить про зупинку розвитку каналу по довжині, тоді як розширення поперечного перерізу може продовжуватися.

Для визначення зміни осьової швидкості струменя по довжині каналу використаємо результати досліджень ГПП для визначення коефіцієнта структури затопленого струменя води з піском – a_{cm} . Коефіцієнт структури струменя визначається як тангенс кута розширення його зовнішньої границі. Автором [5] побудовано графік залежності a_{cm} від числа Рейнольдса (Re_{cm}), визначеного під час руху води з додаванням 42 кг/м³ піску в порожнині гідропіскоструминного апарату (ГПА), за яким нами знайдено такий зв'язок

$$a_{cm} = 0,05 + 0,003 \cdot 10^{-4} \cdot Re_{cm}. \quad (6)$$

Для розрахунку безрозмірної осьової швидкості затопленого струменя в залежності від коефіцієнта якості струменя і безрозмірної віддалі від насадки використаємо емпіричну формулу, запропоновану Є. Б. Соловкіним [6]:

$$u_x / u_o = 0,35 / (a_{cm} \cdot l_x / d_o)^{0,67}, \quad (7)$$

де u_x – швидкість струменя за насадкою, на основній ділянці струменя.

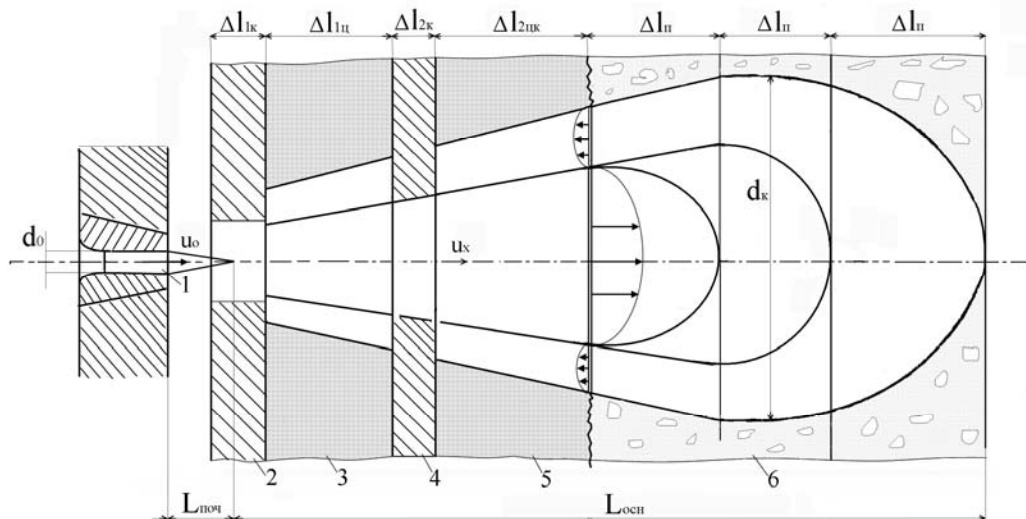


Рис. 1. Схема різання каналу ГПП через дві колони (на прикладі свердловини 1-Любіжнянська)

1 – насадка, 2 – перша колона, 3 – перше цементне кільце, 4 – друга колона, 5 – друге цементне кільце, 6 – порода пласта

Тож, узагальнюючи викладене, рекомендуємо таку методику розрахунку часу різання перегоронок на різній віддалі від насадок, для проектування довжини каналу ГПП через декілька колон, як описано на прикладі проектування двох колон у свердловині 1-Любіннянська (рис.1):

– побудувати схему поперечного перерізу свердловини в зоні перфорації, вказавши на ній безрозмірні (як відношення $\Delta l_x/d_0$) розміри колон і цементних кілець навколо них, а далі – ділянки породи пласта. Вибрати ГПА, вказавши зовнішній і внутрішній діаметри поперечного перерізу його корпусу;

– побудувати розрахункову табл. 1, вказавши на ній розміри колон і цементних кілець навколо них (лінійні і безрозмірні), а далі – задані ділянки породи пласта довжиною Δl_x ;

– вибрати рідину із заданою густиною і в'язкістю та кварцовий пісок, вказавши його фракційний склад, густину і концентрацію в рідині;

– задати або визначити з урахуванням умов перфорації значення $u_{0п}$, u_0 , C , d_0 ;

– розрахувати число Рейнольдса в порожнині ГПА (за методикою Ю. В. Желтова [3, 4]);

– розрахувати $a_{см}$ за формулою (6), відношення u_x/u_0 за формулою (7), за яким визначити значення u_x при відомому u_0 ;

– розрахувати W_x за формулою (5) і час Δt_x різання чергової перегородки Δl_x за формулою (4);

– після перерізання всіх перегородок (колон і цементних кілець) розрахувати поступове заглиблення каналів у породу, нарощуючи довжину каналу ділянками Δl_x в пласті;

– знайти суми Δl_x і Δt_x , які відповідають збільшенню глибини каналу зі зростанням часу різання і вибрати їх величини як проектні для плану робіт.

Описана схема розрахунку прийнятна і для більшої кількості колон та породою різної міцності на стиск. Застосування запропонованої методики розрахунку вироблення каналу перевірено на прикладі ГПП свердловини 1-Любіннянська.

За описаною методикою проведено розрахунок режимів ГПП. Різання каналів проводиться через ГПА з внутрішнім діаметром 160 мм і зовнішнім – 200 мм, оснащеним двома насадками діаметром 6,0 мм, спрямованими в протилежні боки. ГПП проводиться водою густиною 1000 кг/м^3 , з додаванням 0,1 % КМЦ за концентрації піску 40 кг/м^3 , тому густина такої суміші – 1030 кг/м^3 . Початкова швидкість різання металу труб $u_{0п} = 25 \text{ м/с}$, цементу і пісковиків $u_{0п} = 7,5 \text{ м/с}$ при $\sigma_{ст} = 50 \text{ МПа}$, перепад тиску на насадках $\Delta P = 27,5 \text{ МПа}$, початкова швидкість струмини на виході з насадки $u_0 = 202 \text{ м/с}$, витрата рідини $q_p = 0,0114 \text{ м}^3/\text{с}$; $C = 1,5$ для незаякореного ГПА. Число Рейнольдса під час руху рідини з піском $Re = 6,2 \cdot 10^4$, для якого $a_{см} = 0,07$.

Зауважимо, що під час розрахунку u_x/u_0 за формулою (7) на основній ділянці струменя замість l_x прийнято $l_x + \frac{1}{2} \Delta l_x$ для визначення середньої швидкості струменя в матеріалі перегородки товщиною Δl_x .

Далі розраховано збільшення довжини каналу, для чого визначено W_x , час різання Δt_x чергової перегородки Δl_x (колони, цементного кільця, породи).

Результати розрахунків, проведених згідно з описаною методикою, наведено в табл. 1, згідно з якими для прийнятих параметрів за 55 хв різання довжина каналу у двоколонній конструкції свердловини становить 175 мм.

Цікаво, що розрахована за пропонованою методикою і для тих самих умов різання довжина каналу в свердловині з одноколонною конструкцією становить 195 мм за 60 хв різання, а за формулою (1) за 60 хв – 207 мм. Виявлені різниці розрахунків довжини каналу пояснюються наявністю іншої колони (з більшою опірністю різанню), а також врахуванням властивостей матеріалів всіх перегородок за пропонованою методикою. Різниці розрахунків будуть зростати за наявності більших відмінностей між властивостями металу, породи і цементу.

Табл. 1. Розрахунок вироблення каналу через дві колони

Об'єкт (тип перегородки)	Розмір перегородки		Відношення u_x / u_0	Осьова швидкість u_x , м/с	W_x	Час різання, Δt_x , хв	Повна довж. каналу, мм	Перфорований матеріал
	Δl , мм	$\Delta l / d_o^*$						
–	10	2	1	202	0	0	0	Відстань між ГПА і колоною
Перша колона	12	2	0,91	184	0,32	3,2	12	Метал 12мм
Перший цемент	27	5; 2+5/2=4,5	0,76	154	0,25	1,6	39	Цемент 27мм
Друга колона	11	2; 7+1=8	0,51	103	0,62	10	50	Метал 11 мм
Другий цемент	35	6; 9+3=12	0,39	79	0,49	7	85	Цемент 35 мм
Всього	85	15				22	85	
1 ділянка породи	30	5; 15+2,5=17,5	0,30 6	62	0,52	7	30	Порода 30 мм
Всього		20				29**	115	
2 ділянка породи	30	5; 20+2,5=22,5	0,26	52	0,63	11	30	Порода 30 мм
Всього		25				40	145	
3 ділянка породи	30	5; 25+2,5=27,5	0,22 6	46	0,70	15	30	Порода 30 мм
Всього		30				55	175	
4 ділянка породи	30	5; 30+2,5=32,5	0,20 2	40	0,81	28	30	Порода 30 мм
Всього		35				83	205	

Примітка. *) Цифра перша – розмір перегородки, друга – віддаль до середини перегородки від початку каналу у безрозмірному вигляді;

**) час різання, достатній для вибраної довжини каналу.

Аналізуючи дані таблиці 1 вибрано режими ГПП через дві колони 245 x 324 мм. На глибині 885 м прорізано чотири канали в двох положеннях перфоратора, протягом 30 хв при $\Delta P = 28$ МПа і 30 хв $\Delta P = 30$ МПа для переміщення насадок вниз на 2,0-2,2 см внаслідок видовження НКТ, щоб зменшити опори зворотного потоку струменя з каналу щоб сприяти зростанню довжини каналу приблизно на 30%.

Після промивання свердловину випробували на приймальність водою з витратою 0,2-0,3 м³/хв за тиску на усті 14 МПа. Коефіцієнт приймальності становив 20-30 м³/(д·МПа). Під час ГПП відібрано проби уламків цементу і світло-сірих пісковиків, темно-сірих і чорних уламків аргілітів, що виносилися зі свердловини – приблизно по одній літрі шламу після кожного різання.

Установлено цементний міст із 5,2 м³ цементного розчину, з якого 2,2 м³ запомповано в заклонний простір. Міст розбурено до 865 м і обпресовано тиском 15 МПа.

Для відновлення зв'язку з вигодським пластом 06.11.2008 р. проведено сім різань ГПП в інтервалі 850,5-844,5 м при $\Delta P=28-32$ МПа (на усті 30–35 МПа). Після промивання свердловину випробували на приймальність, яка становила 0,4 м³/хв за тиску на усті 12 МПа. Коефіцієнт приймальності вигодських відкладів дорівнює 48 м³/(д·МПа), що значно більше ніж у непродуктивній зоні. Отже, зв'язок з пластом через дві колони та заклонним простором встановлено, тому вважаємо це підтвердженням наявності каналу, виробленого через дві обсадні колони, з розрахованою довжиною 115-145 мм, в тому числі у пласті – 30-60 мм.

Таким чином, вперше вирішено задачу розрахунку довжини каналів ГПП через дві колони, достовірність розв'язків перевірено на практиці, тому розроблену методику рекомендовано для застосування.

Література

1. Фалькович С.В. О механизме вскрытия пластов абразивной гидропескоструйной перфорации/ С.В Фалькович, Г.П. Севастьянов, Л. В. Акатов // Промысловая геология: Тр.НВНИИГГ. – Саратов: Изво Саратов.университета, 1969. – Вып.12. – С. 213-230.
2. Качмар Ю.Д. Повышение качества проектирования гидропескоструйной перфорации / Ю.Д. Качмар // Нефтяное хозяйство.– 1982. – №10. – С. 39-40.
3. Яремійчук Р.С. Освоєння свердловин / Р.С. Яремійчук, Ю.Д. Качмар. – Львів: Світ, 1997.– 256 с.
4. Інтенсифікація припливу вуглеводнів у свердловину. В 2-х кн. / Ю.Д. Качмар, В.М. Світлицький, Б.Б. Синюк, Р.С. Яремійчук. В 2-х кн. – Львів: Центр-Європи, 2004. – Кн.1. – 351 с.
5. Соловкін Е.Б. О динамике затопленной осесимметричной струи жидкости, несущей абразивный материал / Е.Б. Соловкін // Науч.-техн. сборник по добыче нефти. – М.: Недра, 1967. – Вып. 31. – С. 115-120.

*Стаття постуила в редакційну колегію 02.07.2009 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., професором Яремійчуком Р.С.*

**TECHNIQUE OF DESIGN HYDRO-SAND-STREAM PERFORATION
THROUGH SEVERAL COLUMNS****Yu. D. Kachmar***Scientific-research and design institute of JSC "Ukrnafta";**Ivano-Frankivsk, Pivdenny bulvar Pushkina, 2;**tel/fax +380 (342) 77 61 40, 77 61 49; e-mail: grp@ndpi.ukrnafta.com*

The problem of calculating of length channel which produced by jet fluid with sand in formation through several cemented columns is decided. Columns, cement rings and formation rock considered as consistently placed partitions of given thickness with their initial velocity of material destruction. Middle axial velocity of jet in each partition defined with due regard for distance from the nozzle and thickness. An example of calculating the parameters of carrying perforation of well are described.

Key words: *hydro-sand-stream perforation, well, column.*