

**Д. В. РИМЧУК, В. В. ПОНОМАРЕНКО**

### **ТЕХНОЛОГІЯ ГІДРОПІСКОСТРУМІННОЇ ПЕРФОРАЦІЇ У СВЕРДЛОВИНАХ З АНОМАЛЬНО ВИСОКИМИ ПЛАСТОВИМИ ТИСКАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ГНУЧКИХ НАСОСНО-КОМПРЕСОРНИХ ТРУБ**

Сфери застосування колтюбінга, або колони гнучких труб досить різноманітні. При підземному ремонті свердловин здійснюються поточний та капітальний ремонт, вплив на пласт і привісійну зону. Використання колони гнучких труб внесло позитивні зміни в практику буріння нафтових і газових свердловин особливо при їхньому закінчуванні, а також робіт з гідропескоструйної перфوراції. Запропоновано технологію гідропескоструйної перфوراції у свердловинах з аномально високими пластовими тисками з використанням гнучких насосно-компресорних труб з депресією та репресією на пласт, що допоможе ознайомити спеціалістів нафтогазової промисловості з прогресивною технологією вторинного розкриття продуктивних горизонтів. Розроблено схеми обв'язки гирла свердловини та технологічного обладнання при проведенні гідропескоструйної перфорації з використанням гнучких насосно-компресорних труб у свердловинах з аномально високими пластовими тисками та детально описано їх принцип роботи. Запропоновані схеми рекомендовано використовувати як типові при проведенні робіт з гідропескоструйної перфорації з депресією та репресією на продуктивний горизонт. Зроблено висновки щодо доцільності проведення робіт за технологією, описаною в статті, з метою запобігання кольмататії та розбухання породи привісійної зони продуктивного пласта при попаданні рідини-пісконосія в процесі перфорації.

**Ключові слова:** вторинне розкриття пласта, гідропескоструйна перфорація, аномально високий пластовий тиск, гнучкі насосно-компресорні труби, технологічні схеми, обв'язка гирла свердловини, депресія та репресія на пласт.

**Д. В. РИМЧУК, В. В. ПОНОМАРЕНКО**

### **ТЕХНОЛОГИЯ ГИДРОПЕСКОСТРУЙНОЙ ПЕРФОРАЦИИ В СКВАЖИНАХ С АНОМАЛЬНО ВИСОКИМИ ПЛАСТОВИМИ ДАВЛЕНИЯМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИБКИХ НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫХ ТРУБ**

Сферы применения колтюбінга, или колонны гибких труб достаточно разнообразны. При подземном ремонте скважин осуществляют текущий и капитальный ремонт, влияние на пласт и привісійную зону. Использование колонны гибких труб внесло положительные изменения в практику бурения нефтяных и газовых скважин особенно при их оканчивании, а также работ по гидropескоструйной перфорации. Предложена технология гидropескоструйной перфорации в скважинах с аномально высокими пластовыми давлениями с использованием гибких насосно-компресорных труб с депрессией и репресией на пласт, которая поможет ознакомить специалистов нефтегазовой промышленности с прогрессивной технологией вторичного вскрытия продуктивных горизонтов. Разработаны схемы обвязки устья скважины и технологического оборудования при проведении гидropескоструйной перфорации с использованием гибких насосно-компресорных труб в скважинах с аномально высокими пластовыми давлениями и детально описан их принцип работы. Предложенные схемы рекомендовано использовать как типовые при проведении работ по гидropескоструйной перфорации с депрессией и репресией на продуктивный горизонт. Сделаны выводы относительно целесообразности проведения работ по технологии, описанной в статье, с целью предотвращения кольматации и разбухания породы призабойной зоны продуктивного пласта при попадании жидкости-песконосителя в процессе перфорации.

**Ключевые слова:** вторичное вскрытие пласта, гидropескоструйная перфорация, аномально высокое пластовое давление, гибкие насосно-компресорные трубы, технологические схемы, обвязка устья скважины, депрессия и репресия на пласт.

**D. RYMCHUK, V. PONOMARENKO**

### **THE TECHNOLOGY OF HYDRO-SAND BLASTING PERFORATION IN WELLS WITH ABNORMALLY HIGH RESERVOIR PRESSURE USING COILED TUBING**

Areas of application of coil tubing or columns of flexible pipes are quite diverse. During the underground repair of wells carry out current and major repairs, impact on the reservoir and margin zone. The use of the flexible pipe column has made a positive change in the practice of drilling oil and gas wells, especially at their completion, as well as works on hydropower perforation. The article suggests the technology of hydro sandblasting perforation in wells with abnormally high formation pressures with the use of coiled tubing with pressure drawdown and overbalance, which will help to familiarize oil and gas industry specialists with the advanced technology of stimulated completion of productive horizons. Schemes of wellhead equipment and process equipment for hydro sandblasting perforation using coiled tubing in wells with abnormally high reservoir pressures have been developed and their operating principles have been described in detail. The proposed schemes are recommended to be used as typical for hydro sandblasting perforation with pressure drawdown and overbalance of the productive horizon. Conclusions are made concerning expediency of carrying out works on the technology described in the article with the purpose of prevention of sealing and swelling of the bottomhole zone rock in case of ingress of the sand-carrier fluid during the process of perforation.

**Keywords:** secondary drilling in, hydro sandblasting perforation, abnormally high reservoir pressure, coiled tubing, process diagrams, wellhead equipment, pressure drawdown and overbalance.

#### **Постановка проблеми у загальному вигляді.**

Для приросту видобутку нафти та газу буряться глибокі та надглибокі свердловини, в яких розкриваються продуктивні горизонти з аномально високими пластовими тисками (АВПТ). Заключною стадією будівництва свердловин є вторинне розкриття продуктивних пластів, що здійснюється шляхом

кумулятивної, кульової, торпедної або гідропескоструйної перфорації (ГПП).

У даний час на вітчизняних та закордонних родовищах для вторинного розкриття продуктивних пластів здебільшого використовується кумулятивна перфорація. Вона як і кульова та торпедна перфорація має ряд суттєвих недоліків, а саме:

- в зоні перфорації відбувається ущільнення породи та зміна її фізичних властивостей;  
 - цементний камінь за обсадною колоною розтріскується, а в колоні утворюються тріщини;  
 - незначна глибина каналів, що утворюються;  
 - створюються несприятливі умови для подальшої експлуатації свердловини.

Тому існує проблема проведення якісного вторинного розкриття продуктивних горизонтів, котре може забезпечити лише ГПП.

**Аналіз основних досягнень і літератури.** У світовій та вітчизняній практиці відсутній досвід проведення гідропіскоструминної перфорації у свердловинах з АВПТ з використанням гнучких насосно-компресорних труб (ГНКТ). Описані технологія та схеми у роботах [1–9] мають ряд технологічних та конструктивних обмежень і не можуть бути використані у свердловинах з АВПТ: відсутність комплексу обладнання для створення протитиску при перфорації з депресією на пласт, відсутність додаткового маніфольда для запобігання абразивного розмиву гирлового обладнання, відсутність ліній для скидання загазованої рідини на факельний амбар, ручне управління штуцерами, маніфольд не може виконувати функцію з створення протитиску в затрубному просторі і його безпечному регулюванню, ненадійність герметизатора для забезпечення герметизації на гирлі свердловини при тисках більше 21 МПа.

**Формулювання завдань досліджень та мета статті.** Метою статті є розробка технології гідропіскоструминної перфорації та схем обв'язки гирлового і технологічного обладнання у свердловинах з аномально високими пластовими тисками з використанням гнучких насосно-компресорних труб. Завдання дослідження – ознайомлення спеціалістів нафтогазової промисловості з прогресивною технологією вторинного розкриття продуктивних горизонтів.

**Виклад основного матеріалу досліджень.** Гідропіскоструминна перфорація у свердловинах з АВПТ з використанням ГНКТ може здійснюватися як з депресією, так і з репресією на пласт. При роботі з репресією на пласт вибійний тиск запобігає виходу пластового флюїду у ствол свердловини. Вибійний тиск  $P_v$  при цьому складається з тиску, що створюється стовпом водопіщаної суміші та протитиску на регульованих дреселях, і розраховується за формулами:

$$P_v = P_p + \Delta P_d, \quad (1)$$

де  $P_p$  – тиск стовпа водопіщаної суміші, МПа;  
 $\Delta P_d$  – протитиск, створений регульованим дреселем, МПа, або

$$P_v = \alpha \cdot P_{пл}, \quad (2)$$

де  $P_{пл}$  – пластовий тиск, МПа;  
 $\alpha$  – коефіцієнт безпеки у відповідності до [10, 11],

приймається рівним:

а) від 10 % до 15 % – для свердловин глибиною до 1200 м (інтервалів від 0 м до 1200 м), але не більше 1,5 МПа;

б) від 5 % до 10 % – для свердловин глибиною до 2500 м (інтервалів від 1200 м до 2500 м), але не більше 2,5 МПа;

в) від 4 % до 7 % – для свердловин глибиною понад 2500 м (інтервалів від 2500 м і до проектної глибини), але не більше 3,5 МПа.

Враховуючи, що:

$$P_p = \rho g H, \quad (3)$$

де  $\rho$  – густина водопіщаної суміші, кг/м<sup>3</sup>;  
 $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  
 $H$  – глибина перфорації, м.

Визначаємо протитиск, що необхідно створити на дреселі:

$$\alpha P_{пл} = \rho g H + \Delta P_d, \quad (4)$$

$$\Delta P_d = \alpha P_{пл} - \rho g H. \quad (5)$$

Враховуючи, що формула (2) складена для технологічних операцій [12–15], що відбуваються в свердловині і приводять до зміни висоти стовпа промивальної рідини в зв'язку зі спуско-підіймальними операціями, а в процесі ГПП відсутні спуско-підіймальні операції, при яких змінюється об'єм рідини в свердловині, можна прийняти  $\alpha = 1,02$  для свердловин глибиною до 3000 м і  $\alpha = 1,015$  для свердловин глибиною понад 3000 м (інтервалів від 3000 м і до проектної глибини).

З метою запобігання кольматації та розбухання породи привибійної зони продуктивного пласта при попаданні рідини-пісконосія в процесі перфорації, роботи слід проводити з депресією на пласт, тобто при постійному перевищенні пластового тиску над вибійним, і як наслідок – з постійним поступанням пластового флюїду в ствол свердловини. При цьому протитиск на дреселі пропонується розраховувати за формулою:

$$P_d = \beta \cdot P_{пл} - \rho g H, \quad (6)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт допустимого пониження тиску, що приймається рівним:  $\beta = 0,95–0,98$ .

Для проведення гідропіскоструминної перфорації пропонується схема обв'язки гирла свердловини при ГПП у свердловинах з АВПТ з використанням ГНКТ та схему розміщення і обв'язки технологічного обладнання.

Схема обв'язки гирла свердловини при ГПП з використанням ГНКТ у свердловинах з АВПТ (рис. 1) складається з гнучких насосно-компресорних труб 1, інжектора 2, ущільнювача 3, додаткового маніфольда 4, що під'єднаний до блока превентивів 5, хрестовини ялинки фонтанної арматури 6, хрестовини трубної головки фонтанної арматури 7, колонної обв'язки 8,

викидних ліній з трубного та затрубного простору свердловини в факельний амбар 9 та 10, вузлів глушіння свердловини 11 і 12, блока дроселювання 15, в який входять допоміжний та основний пульти управління гідроприводними засувками 13 і 14, пульти управління лівим та правим дроселями з дистанційним управлінням 16 та 19, лівий та правий дроселі регульовані з дистанційним управлінням 17 і 20, засувки гідроприводні з дистанційним управлінням 18, 21, 22, 23, 24.

Під'єднаний до блока превенторів додатковий маніфольд з блоком дроселювання з дроселями з дистанційним управлінням перешкоджає розмиву горлового обладнання під час циркуляції рідини при ГПП та забезпечує дистанційне регулювання протитиску при перфорації з депресією на пласт.

Схема працює наступними чином: гнучкі насосно-компресорні труби 1 спускаються у свердловину за допомогою інжектора 2, герметизація затрубного простору здійснюється ущільнювачем 3. Після чого, піщано-рідинна суміш подається по ГНКТ до гідропіскоструминного перфоратора. Виходячи через сопла гідропіскоструминного перфоратора, суміш прорізає отвори в експлуатаційній колоні, цементному камені за нею та породі пласта. При цьому в суміш попадає флюїд свердловини, так як гідростатичний тиск менше пластового, і загалом рідина ГПП піднімається по затрубному простору між ГНКТ та ГКТ до горла свердловини і поступає через додатковий маніфольд 4, що під'єднаний до блока превенторів 5, в блок дроселювання 15. В блоці

дроселювання флюїд поступає через правий дросель 20 при відкритих засувках 21 та 23 на викид. Регулювання протитиску здійснюється за допомогою дистанційного управління 19 правим регулюючим дроселем. При розмиванні елементів дроселювання на правому дроселі 20 циркуляція рідини з протитиском проводиться через лівий дросель 17. При цьому засувки 18 і 24 відкриваються, а засувки 21 і 23 закриваються, ізолюючи правий дросель від високого тиску. Величина протитиску регулюється за допомогою дистанційного управління 16 лівим регулюючим дроселем. Засувка 22 служить для прямого скидання флюїду в факельний амбар. Управління засувками здійснюється за допомогою допоміжного та основного пульти управління 13 та 14. У випадку виникнення аварійної ситуації свердловина глушиться закачуванням рідини в трубний або затрубний (між НКТ та експлуатаційною колоною) простору свердловини через викидні лінії 9 та 10, за допомогою насосних агрегатів, що під'єднані до вузлів глушіння 11 і 12.

При відсутності під'єданого до блока превенторів додаткового маніфольда, циркуляція піщано-рідинної суміші відбувалась би через викидні лінії 9 та 10, чим викликала б розмив горлового обладнання, а зокрема хрестовини ялинки фонтанної арматури 6, і були б відсутні технічні засоби для створення протитиску при гідропіскоструминній перфорації з депресією на пласт.

Схема розміщення та обв'язки технологічного обладнання показана на рис. 2.

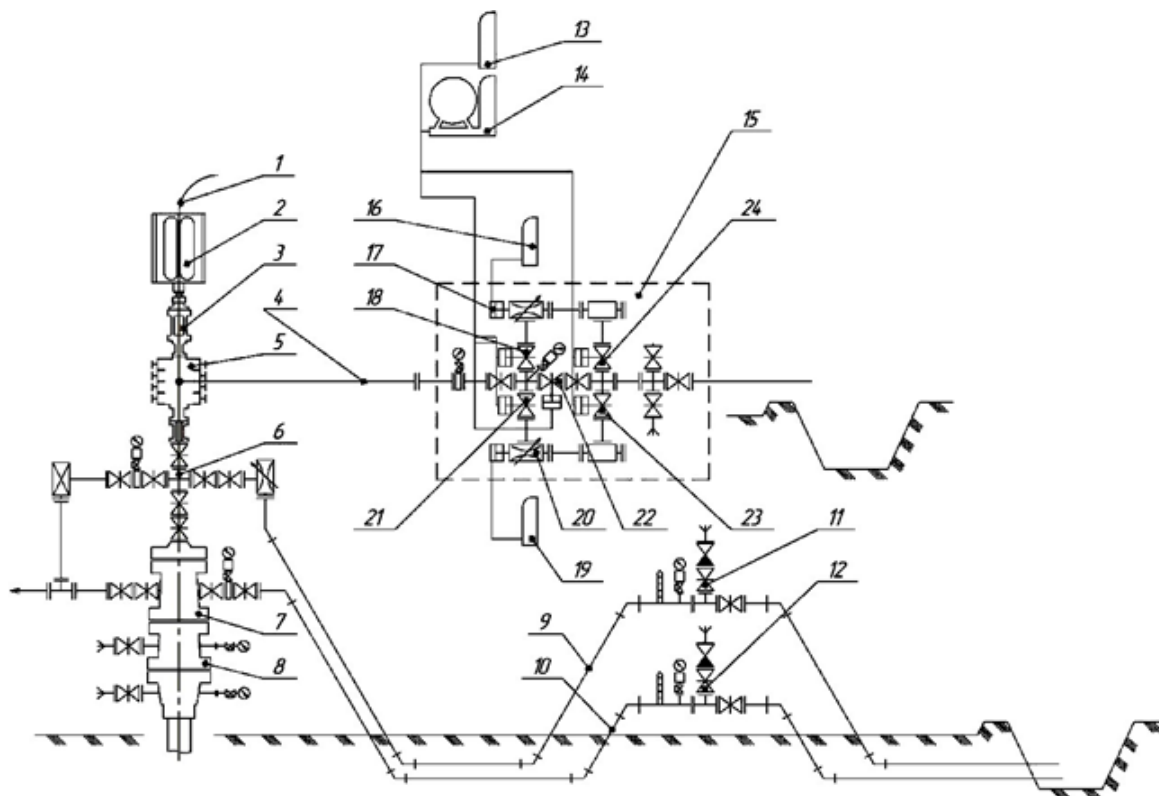


Рис. 1. Схема обв'язки горла свердловини при ГПП з використанням ГНКТ у свердловинах з АВПТ

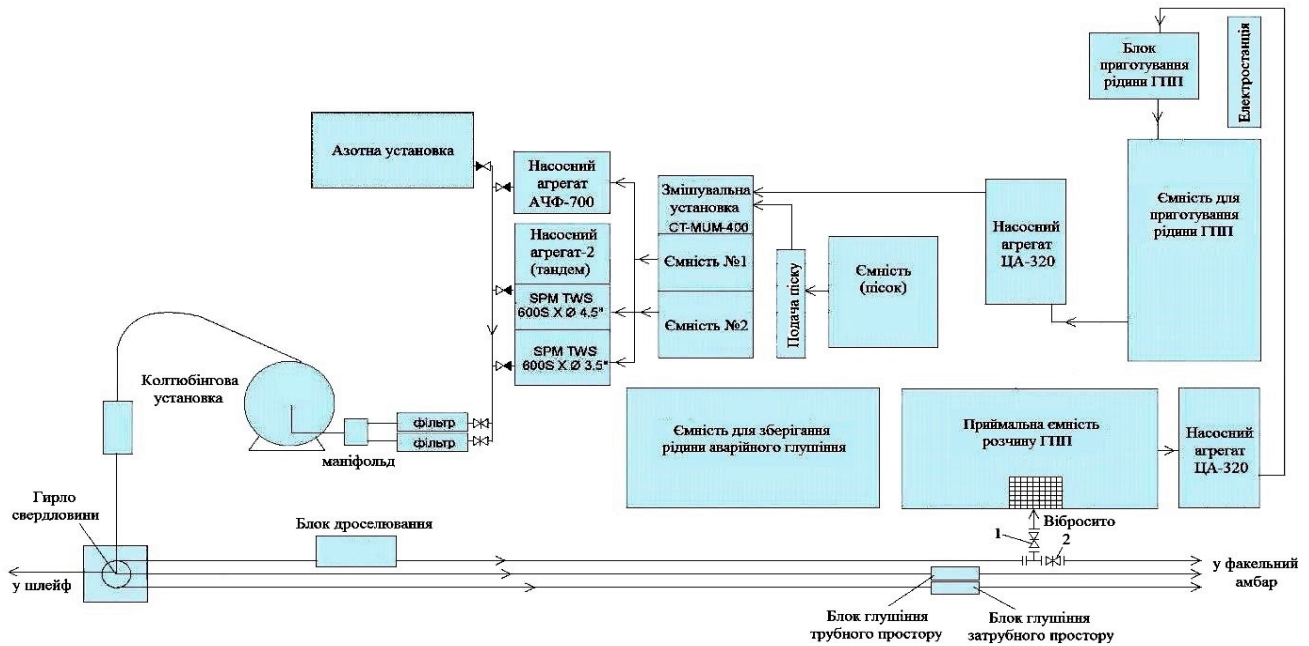


Рис. 2. Схема розміщення та об'язки технологічного обладнання

Технологія приготування та подачі піщиано-рідинної суміші ГПП відбувається наступним чином: до кольтюбінгової установки (КУ), змонтованої на гірлі свердловини зі спущеними у свердловину ГНКТ, під'єднані через фільтри три насосні агрегати високого тиску, два з яких безперервно забезпечують технологічний процес, а один резервний, та азотна установка через зворотні клапани. До насосних агрегатів подається піщиано-рідинна суміш ГПП з однієї з ємностей змішувача. У змішувач подається пісок з ємності для піску та за допомогою насосного агрегату ЦА-320 подається рідина з блоку приготування через ємність для приготованої рідини ГПП. Рідина у блок приготування подається насосним агрегатом ЦА-320, який з'єднаний з прийнятною ємністю розчину ГПП, який постійно циркулює. На ємності знаходиться вібрисито, яке очищає розчин від вибуреної породи.

При проведенні ГПП з репресією на пласт засувка 2 закривається і відпрацьований розчин через засувку 1 потрапляє на вібрисито. При роботі з депресією на пласт засувка 2 відкривається і загазований розчин йде на факельний амбар.

При виникненні аварійних ситуацій проводиться глушіння свердловини агрегатами високого тиску з використанням рідини аварійного глушіння з ємності для її зберігання. При цьому агрегати приєднані до блоку глушіння трубного або затрубного простору.

Електростанція служить для забезпечення електроенергією допоміжного обладнання та освітлення робочої площадки.

**Висновки.** 1. Гідропіскоструминна перфорація для свердловин з АВПТ з використанням ГНКТ може здійснюватися як з депресією, так і з репресією на пласт.

2. З метою запобігання кольматації та розбухання породи привибійної зони продуктивного пласта при

попаданні рідини-піщианої суміші, роботи доцільно проводити за описаною технологією.

3. Запропонована технологія та схеми об'язки гірла свердловини та технологічного обладнання забезпечують проведення ГПП у свердловинах з АВПТ з використанням ГНКТ.

4. Запропоновані схеми можуть використовуватись як типові схеми при проведенні робіт з ГПП у свердловинах з АВПТ.

#### Список літератури

1. Яремійчук Р. С., Возний В. Р. *Освоєння та дослідження свердловин*. Львів: Оріяна-Нова, 1994. 440 с.
2. Chernyshov S. E., Galkin S. V., Krisin N. I., Turbakov M. S., Riabokon E. P. Efficiency Improvement of Abrasive Jet Perforation. *SPE Annual Caspian Technical Conference & Exhibition (4-6 November 2015, Baku)*. Baku: Society of Petroleum Engineers. P. 177375-MS.
3. Катеринчук П. О., Римчук Д. В., Цибулько С. В., Шудрик О. Л. *Освоєння, інтенсифікація та ремонт свердловин*. Харків: Пром-Арт, 2018. 608 с.
4. Мислюк М. А., Рибчич І. Й. *Буріння свердловин: довідник. Том 4: Завершення свердловин*. Київ: Інтерпрес ЛТД, 2012. 608 с.
5. Бойко В. С. *Підземний ремонт свердловин*. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2009. 587 с.
6. *СТП 320.30019775.003-2004:2004. Інструкція по проведенню гідропіскоструминної перфорації*. Київ: ДК Укргазвидобування, 2004. 52 с.
7. Кондрат М. І., Щепанський М. І. Дослідження особливостей проведення гідропіскоструминної перфорації свердловин на виснажених газових і газоконденсатних родовищах. *Науковий вісник ІФНТУНГ*. 2016. № 2 (41). С. 31-38.
8. Бабаян Э. В., Черненко А. В. *Инженерные расчеты при бурении*. Москва: Инфра-Инженерия, 2016. 439 с.
9. *НПАОП 11.1-1.01-08. Правила безпеки в нафтогазодобувній промисловості України*. Київ: Мінекономрозвитку України, 2008. 118 с.
10. Булатов А. И., Долгов С. В. *Спутник буровика: книга 2*. Москва: Недра, 2006. 528 с.
11. *Опыт гидроскоструминной перфорации*. Сер.: *Нефтепромысловое дело*. Москва: ЦНИИТЭнефтегаз, 1964г. 137с.

12. Козодой А. К. Определение параметров гидромониторных затопленных струй. *Известия вузов «Нефть и газ»*. 1959. № 6. С. 103–108.
13. Мислюк М. А., Рыбчик І. Й., Яремійчук Р. С. *Буріння свердловин. Т. 3. Вертикальне та скероване буріння*. Київ: Інтерпрес ЛТД. 2004. 295 с.
14. Качмар Ю. Д. Рациональне планування ГПП: технологія і економіка. *Нафтова і газова промисловість*. 1992. № 3. С. 32–35.
15. Яремійчук Р. С., Качмар Ю. Д. *Вскрытие продуктивных горизонтов и освоение скважин*. Ленинград: Высшая школа, 1982. 149 с.
16. Абрамович Г. Н. *Теория турбулентных струй*. Москва: Физматгиз, 1960. 715 с.
17. Сулейманов А. Б., Карапетов К. А., Яшин А. С. Практические расчеты при текущем и капитальном ремонте скважин. Москва: Недра, 1984. 224 с.
18. Экономидес М., Олайн Р., Валько П. Унифицированный дизайн гидроразрыва пласта. Москва: ПетроАльянс Сервисис Компани Лимитед, 2004. 194 с.
19. Римчук Д. В., Пономаренко В. В., Шудрик О. Л. *Обладнання для буріння свердловин і видобутку нафти та газу: навч. посіб.* Харків: ХНАДУ, 2019. 252 с.
20. Булатов А. И., Макаренко П. П., Будников В. Ф., Басарыгин Ю. М. *Теория и практика заканчивания скважин. Т. 5*. Москва: Недра, 1998. 375 с.
- provedennya hidropiskostrumynnoyi perforatsiyi sverдловyn na vysnazhenykh hazovykh i hazokondensatnykh rodovyshchakh [Investigation of the features of hydro-sandblast perforation of wells at depleted gas and gas condensate fields]. *Naukovyy visnyk IFNTUNH*. 2016, no. 2 (41), pp. 31–38.
8. Babayan E. V., Chernenko A. V. *Inzhenernye raschety pri burenii* [Engineering calculations during drilling]. Moscow, Infra-Inzheneriya Publ., 2016. 439 p.
9. *NPAOP 11.1-1.01-08. Pravyla bezpeky v naftohazodobuvnyy promyslovosti Ukrainy* [State Normative Act on Labor Protection 11.1-1.01-08. Safety rules in the oil and gas industry of Ukraine]. Kyiv, Ministry of Economic Development and Trade of Ukraine Publ., 2008. 118 p.
10. Bulatov A. I., Dolgov S. V. *Sputnik burovika: kniga 2* [Sputnik of the driller: Book 2]. Moscow, Nedra Publ., 2006. 528 p.
11. *Opyt gidropeskostruynoy perforatsii. Seriya: Neftepromyslovoe delo* [Experience in sandblasting. Series: Oilfield business]. Moscow, TsNIITEftegaz Publ., 1964. 137 p.
12. Kozodoy A. K. Opredelenie parametrov gidromonitornykh zatoplennykh struy [Determination of the parameters of jet flooded jets]. *Izvestiya vuzov "Neft' i gaz"*. 1959, no. 6, pp. 103–108.
13. Myslyuk M. A., Rybchych I. Y., Yaremichuk R. S. *Burinnya sverдловyn. T. 3. Vertykal'ne ta skerovane burinnya* [Drilling of wells. Vol. 3. Vertical and directional drilling]. Kyiv, Interpres LTD Publ., 2004. 295 p.
14. Kachmar Yu. D. Ratsional'ne planuvannya HPP: tekhnolohiya i ekonomika [Rational Planning of the CCI: Technology and Economics]. *Naftova i hazova promyslovist'*. 1992, no. 3, pp. 32–35.
15. Yaremichuk R. S., Kachmar Yu. D. *Vskrytie produktivnykh gorizontov i osvoenie skvazhin* [Opening of productive horizons and well development]. Leningrad, Vysshaya shkola Publ., 1982. 149 p.
16. Abramovich G. N. *Teoriya turbulennykh struy* [Theory of turbulent jets]. Moscow, Fizmatgiz Publ., 1960. 715 p.
17. Suleymanov A. B., Karapetov K. A., Yashin A. S. *Prakticheskie raschety pri tekushchem i kapital'nom remonte skvazhin* [Practical calculations for the current and overhaul of wells]. Moscow, Nedra Publ., 1984. 224 p.
18. Ekonomides M., Olayni R., Val'ko P. *Unifitsirovanny dizayn gidrorazryva plasta* [Unified fracturing design]. Moscow, PetroAl'yans Servisis Kompani Limited Publ., 2004. 194 p.
19. Rymchuk D. V., Ponomarenko V. V., Shudryk O. L. *Obladnannya dlya burinnya sverдловyn i vydobutku nafty ta hazu: navch. posib.* [Obkladnannya for the drilling of drill holes and a bundle of naphtha and gas]. Kharkiv, KhNADU Publ., 2019. 252 p.
20. Bulatov A. I., Makarenko P. P., Budnikov V. F., Basarygin Yu. M. *Teoriya i praktika zakanchivaniya skvazhin. T. 5* [Theory and practice of well completion. Vol. 5]. Moscow, Nedra Publ., 1998. 375 p.

## References (transliterated)

Надійшла (received) 25.09.2019

## Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Римчук Данило Васильович (Рымчук Данило Васильевич, Rymchuk Danylo)** – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Видобуток нафти, газу та конденсату»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1750-9140>; e-mail: [oru\\_likvo@ukr.net](mailto:oru_likvo@ukr.net)

**Пономаренко Віта Василівна (Пonomаренко Вита Васильевна, Ponomarenko Vita)** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри «Видобуток нафти, газу та конденсату»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0760-4195>; e-mail: [vita.vynnyk@gmail.com](mailto:vita.vynnyk@gmail.com)