

УДК 622.245.7

**Д. В. РИМЧУК, В. В. ПОНОМАРЕНКО****ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕЧІЇ ВОДОПІЩАНОЇ СУМІШІ У ГІДРОПІСКОСТРУМІННОМУ ПЕРФОРАТОРІ**

Гідропіскоструминна перфорація знаходить все більш широке застосування при освоєнні, ремонті та інтенсифікації нафтових та газових свердловин. У статті представлено принципи роботи та переваги роботи методу гідропіскоструминної перфорації. Багато вчених займаються важливим питанням підвищення ефективності гідропіскоструминних технологій в нафтогазовій промисловості. Авторами запропоновано використання чисельного експерименту для дослідження та вдосконалення робочого процесу гідропіскоструминного перфоратора. За допомогою відкритої інтегрованої платформи *OpenFOAM*, котра досить добре зарекомендувала себе при розрахунку багатозфазних сумішей, проведено чисельне дослідження просторової в'язкої течії водопіщаної суміші в гідропіскоструминному перфораторі. В роботі представлено результати тривимірного розрахунку течії за допомогою двопараметричної моделі турбулентності Мерцера  $k-\omega SST$  та моделі, котра описує рух водопіщаної суміші. Проведено аналіз структури потоку і втрат енергії в ньому. Подальше порівняння чисельних й експериментальних даних дає змогу стверджувати про правильність вибору моделі течії та її використання в майбутніх дослідженнях при вдосконаленні чи модифікації окремих елементів гідропіскоструминних перфораторів. Визначено основні перспективні напрямки дослідження робочого процесу гідропіскоструминного перфоратора при його роботі на трьохфазних рідинах та при різній установці кута насадки.

**Ключові слова:** гідропіскоструминний перфоратор, проточна частина, просторова течія, водопіщана суміш, втрати енергії, модель турбулентності.

**Д. В. РИМЧУК, В. В. ПОНОМАРЕНКО****ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ВОДОПЕСЧАНОЙ СМЕСИ В ГИДРОПЕСКОСТРУЙНОМ ПЕРФОРАТОРЕ**

Гидропескоструйная перфорация находит все более широкое применение при освоении, ремонте и интенсификации нефтяных и газовых скважин. В статье представлено принципы работы и преимущества работы метода гидропескоструйной перфорации. Многие ученые занимаются важным вопросом повышения эффективности гидропескоструйных технологий в нефтегазовой промышленности. Авторами предложено использование численного эксперимента для исследования и совершенствования рабочего процесса гидропескоструйного перфоратора. С помощью открытой интегрированной платформы *OpenFOAM*, которая достаточно хорошо зарекомендовала себя при расчете многофазных смесей, проведения численного исследования пространственной вязкого течения водопесчаной смеси в гидропескоструйном перфораторе. В работе представлены результаты трехмерного расчета течения с помощью двухпараметрической модели турбулентности Мерцера  $k-\omega SST$  и модели, которая описывает движение водопесчаной смеси. Проведен анализ структуры потока и потерь энергии и нем. Дальнейшее сравнение многочисленных и экспериментальных данных позволяет утверждать о правильности выбора модели течения и ее использования в будущих исследованиях при совершенствовании или модификации отдельных элементов гидропескоструйных перфораторов. Определены основные перспективные направления исследования рабочего процесса гидропескоструйного перфоратора при его работе на трехфазных жидкостях и при разной установке угла насадки.

**Ключевые слова:** гидропескоструйный перфоратор, проточная часть, пространственное течение, водопесчаная смесь, потери энергии, модель турбулентности.

**D. V. RYMCHUK, V. V. PONOMARENKO****INVESTIGATION OF THE FLOW OF A WATER-SAND MIXTURE IN A HYDRO-SANDBLAST PERFORATOR**

Hydro-sandblast perforation is becoming increasingly widespread in the development, repair and intensification of oil and gas wells. The article describes the principles of work and advantages of the method of hydropercussion impulse perforation. Many scientists are involved with the important issue of increasing the efficiency of hydro-electric blasting technology in the oil and gas industry. The authors suggested using a numerical experiment to investigate and improve the working process of a hydropercussion impeller. With the help of the open integrated platform *OpenFOAM*, which proved itself quite well in the calculation of multiphase mixtures, a numerical study of the spatial viscous flow of a flood mix in a hydro-electric blast punch was conducted. The paper presents the results of a three-dimensional flow calculation using the two-parameter Meretz turbulence model  $k-\omega SST$  and a model describing the motion of the water-flowing mixture. An analysis of the structure of flow and energy losses and it is carried out. Further comparison of numerical and experimental data makes it possible to assert about the correctness of the choice of a flow model and its use in future research in the improvement or modification of individual elements of hydro-electric blasting punches. The basic prospective directions of the study of the working process of the hydro-sandblast hole during its work on three-phase liquids and with different mounting of the attachment angle are determined.

**Keywords:** hydro-sandblast perforator, flow section, spatial flow, water sand mixture, energy losses, turbulence model.

**Вступ.** Метод гідропіскоструминної перфорації (ГПП) досліджують та застосовують з 1960-х років. Суть цього методу полягає в створенні отворів або прорізів в обсадній колоні і каналів або щілин (горизонтальних, вертикальних та похилих) в цементному камені і породі пласта за допомогою нагнітання під високим тиском рідини з абразивним матеріалом (кварцевим піском) у насосно-компресорні труби, знизу яких кріпиться перфоратор з насадками.

На виході з насадок утворюється струмінь рідини з піском, який рухається з великою швидкістю і за рахунок кінетичної енергії руйнує експлуатаційну колону, цементне кільце за нею та пласт-колектор, без інших порушень цілісності обсадних труб і цементного каменю за колоною, утворюючи в пласті тупиковий канал.

**Огляд літературних джерел.** Механізм ГПП перфорації свердловини детально розглянуто в

© Д. В. Римчук, В. В. Пономаренко 2018

*Bulletin of National Technical University "KhPI".**Series: Hydraulic machines and hydrounits, № 46 (1322) 2018*

роботах [1, 2, 3].

Отвори, щілини, канали, утворені при перфорації є елементами конструкції свердловини і визначають її гідродинамічну досконалість за якістю розкриття пластів. Перфорація характеризується щільністю, довжиною та якістю проперфорованих каналів. Під час перфорування утворюються канали в експлуатаційній колоні, цементному кільці і, частково, у породі, через які пластові флюїди проникають у свердловину.

Щільність отворів при ГПП і профіль каналу, що створюється, визначають в залежності від геолого-експлуатаційної характеристики продуктивних пластів. Монолітні, однорідні за проникністю продуктивні пласти розкривають точковими каналами. При цьому щільність складає 2–4 отвори на 1 м товщі. В перешарованих колекторах перфорують кожен із продуктивних пропластків [1].

Щільні, абразивостійкі, слабо проникні колектори (типу пісчаник, вапняк, доломіт) ефективно розкривати вертикальними щілинами. Максимальних охват пласта розкриттям забезпечують щілини, розташовані в шахматному порядку.

Перфораційні канали можуть бути горизонтальними, похилими чи у формі щілин. Канали, утворені в породах міцністю на стискування 20–150 МПа, мають довжину 100–400 мм і поверхню фільтрації 200–500 см<sup>2</sup>. Оскільки поверхня фільтрації таких каналів у десятки разів більша за поверхню каналів, які утворюються при кумулятивній перфорації, то ГПП доцільно використовувати при вторинному розкритті тріщинуватих колекторів.

ГПП характеризується найбільшою технологічною ефективністю і найвищою досконалістю свердловини за характером розкриття пласта порівняно з іншими видами перфорації. Перевага ГПП над іншими способами перфорації (кульової, торпедної, кумулятивної) полягає в:

- можливості регулювати довжину і кут нахилу перфораційного отвору;
- цементне кільце не руйнується і зберігає свою міцність;
- краї утворених отворів в колоні рівні та гладкі;
- прилади, які використовуються при ГПП прості та надійні в роботі; їх можна використовувати в свердловинах практично любого діаметра;
- після ГПП можна проводити будь-які методи інтенсифікації не піднімаючи інструменту на поверхню;
- довжина перфораційних каналів значно більша ніж при інших видах перфорації і може досягати до 500–700 мм при площі фільтрації каналів більшій у 20–30 разів;
- при ГПП не ущільнюється порода в кінці перфораційного каналу.

Цей метод дозволяє проводити різання горизонтальних та вертикальних щілин в колоні і пласті, що важливо при проведенні направленою гідравлічного розриву пласта і особливо при частому

перешаруванні тонких пропластків в продуктивному пласті.

Глибина і швидкість утворення каналів в цементі залежать від енергії струменя, абразивостійкості породи, що розкривається, діаметра створюваних отворів в обсадній колоні і каверн в цементному камені і породі пласта. Відомо, що чим більший перепад тиску, котрий створюється при прокачуванні робочої рідини через насадку, тим вища швидкість і кінетична енергія струменя на виході.

Тому для отримання глибоких каналів в продуктивному пласті доцільно створювати максимально можливий перепад тиску в насадці, а, отже, і максимально можливий тиск закачування рідини насосними агрегатами [2].

**Мета досліджень.** Чисельне моделювання потоку водопіщаної суміші в гідропіскоструминному перфораторі, прогнозування та аналіз характеристик режимів роботи є актуальним завданням, рішення якої дозволить підвищити надійність і ефективність та вдосконалити комплекс обладнання для проведення гідропіскоструминної перфорації.

**Постановка задачі.** Розглядається течія водопіщаної суміші в частині секції гідропіскоструминного перфоратора. Робоча рідина – вода та дрібнозернистий пісок. Досліджувана область представлена на рис. 1.

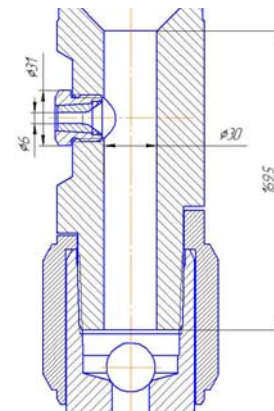


Рис. 1. Досліджувана область перфоратора

Чисельне моделювання проводиться з допомогою відкритої інтегрованої платформи *OpenFOAM* [4, 5] за такими ключовими етапами: створення твердотільної моделі, що імітує розрахункову область проточної частини перфоратора; побудова розрахункової сітки; задання математичної моделі і граничних умов; виконання розрахунку; візуалізація та аналіз результатів розрахунку. Одним з найважливіших параметрів, який враховується при постановці завдання, є вибір моделі турбулентності.

Фізичні властивості середовища в процесі розрахунку не змінюються. Вплив температури не враховується. Для виконання чисельного експерименту за допомогою сучасних програмних продуктів, необхідно обґрунтувати вибір математичної моделі, розрахункової сітки, параметрів турбулентності, граничних умов, а також вирішувача

для розрахунків багатофазних течій в програмному комплексі *OpenFOAM*.

**Математична модель течії водопіщаної суміші у гідропіскоструминному перфораторі.** В програмному комплексі *OpenFOAM* моделювання водопіщаної суміші в гідропіскоструминному перфораторі виконано на основі чисельного інтегрування рівнянь нерозривності та Нав'є-Стокса, осереднених по Рейнольдсу [6]:

$$\begin{cases} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j) = 0; \\ \frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i' u_j') = \\ = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] + f_i, \end{cases}$$

Для врахування турбулентних ефектів застосовується диференціальна двопараметрична модель турбулентності *SST* Ментера [7].

Модель Ментера записується шляхом суперпозиції моделей  $k$ - $\varepsilon$  та  $k$ - $\omega$ , заснованої на тому, що моделі типу  $k$ - $\varepsilon$  краще описують властивості вільних зсувних течій, в моделі  $k$ - $\omega$  мають перевагу при моделюванні пристінних течій. Плавний перехід від  $k$ - $\omega$  моделі в пристінній області до  $k$ - $\varepsilon$  моделі віддалік від твердих стінок забезпечується введенням вагової емпіричної функції  $F_1$ .

Друга важлива деталь моделі полягає у зміні стандартного зв'язку між  $k$ ,  $\omega$  та турбулентною в'язкістю. Модифікація цього зв'язку полягає у введенні переходу до формули Бредшоу в пристінній області. Згідно пропозиції Бредшоу напруження здвигу в приграничному шарі пропорційне енергії турбулентних пульсацій.

*Рівняння SST моделі.*

Транспортні рівняння:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j k)}{\partial x_j} &= \\ &= P - \beta^* \rho \omega k + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ (\mu + \sigma_k \mu_t) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right], \\ \frac{\partial(\rho \omega)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j \omega)}{\partial x_j} &= \frac{\gamma}{\nu_t} P - \beta \rho \omega^2 + \\ &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ (\mu + \sigma_\omega \mu_t) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + 2(1 - F_1) \frac{\rho \sigma_{\omega 2}}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \end{aligned}$$

*Визначення змінних.*

В члені генерації турбулентної енергії введено обмежувач:

$$P = \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j},$$

$$\text{де } \tau_{ij} = \mu_t \left( 2S_{ij} - \frac{2}{3} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \delta_{ij} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij},$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right).$$

Вираз для вихрової в'язкості з урахування гіпотези Бредшоу:

$$\mu_t = \frac{\rho a_1 k}{\max(a_1 \omega, \Omega F_2)}.$$

Вагова функція та її аргумент:

$$F_1 = \tanh(\arg_1^4),$$

$$\text{де } \arg_1 = \min \left[ \max \left( \frac{\sqrt{k}}{\beta^* \omega d}, \frac{500\nu}{d^2 \omega} \right), \frac{4\rho \sigma_{\omega 2} k}{CD_{k\omega} d^2} \right],$$

де додатна частина перехресних дифузійних членів в рівнянні переносу  $\omega$ :

$$CD_{k\omega} = \max \left( 2\rho \sigma_{\omega 2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j}, 10^{-20} \right).$$

Функція переключення  $F_2$  визначається подібно  $F_1$ .

$$F_2 = \tanh(\arg_2^2),$$

$$\text{де } \arg_2 = \max \left( 2 \frac{\sqrt{k}}{\beta^* \omega d}, \frac{500\nu}{d^2 \omega} \right).$$

Константи в рівняннях переносу записуються шляхом суперпозиції констант для моделі  $k$ - $\omega$ , моделі (*Wilcox*) та констант стандартної  $k$ - $\varepsilon$  моделі.

Константи:

$$\phi = F_1 \phi_1 + (1 - F_1) \phi_2,$$

$$\phi = \{\sigma_k, \sigma_\omega, \gamma, \beta\}.$$

Набір констант для пристінного шару *SST* моделі:

$$\sigma_{k1} = 0,85, \quad \sigma_{\omega 1} = 0,5, \quad \beta_1 = 0,075, \quad \gamma = \frac{\beta_1}{\beta^*} - \frac{\sigma_{\omega 1} k^2}{\sqrt{\beta^*}}.$$

Набір констант для вільних здвигових шарів:

$$\sigma_{k2} = 1,0, \quad \sigma_{\omega 2} = 0,856, \quad \beta_2 = 0,0828,$$

$$\gamma = \frac{\beta_2}{\beta^*} - \frac{\sigma_{\omega 2} k^2}{\sqrt{\beta^*}}.$$

Інші константи, що використовуються в моделі:

$$\beta^* = 0,09, \quad k = 0,41, \quad a_1 = 0,31.$$

Для розрахунку потоку рідини і траєкторій руху твердих частинок двофазної течії рідина-мехчастинок в гідропіскоструминному перфораторі була використана дискретна модель (*Discrete Phase Model, DPM*). Дана модель дозволяє описувати суцільну (несучу) фазу і дискретну. При цьому дискретна фаза описується в лагранжевій постановці, а суцільна - в ейлеровій. Дисперсна і суцільна фази пов'язані між собою через джерельні члени в рівняннях: джерела маси або концентрації компонентів для врахування масообміну; джерела імпульсу для врахування сил

міжфазної взаємодії. Основні рівняння даної моделі описані в [8].

Дискретизація досліджуваної області виконана за допомогою неструктурованою сітки з тетрагональними комірками. Число комірок для області з однією насадкою 1,4 млн (рис. 2).

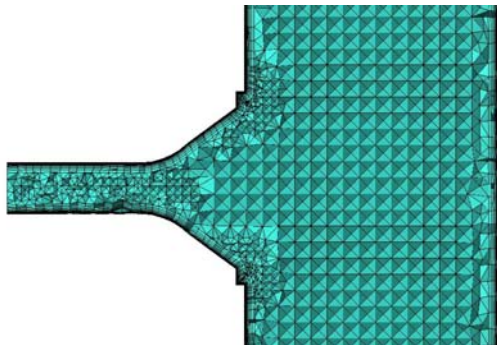


Рис. 2. Розрахункова сітка в області насадки

Граничні умови, котрі задавались при чисельному моделюванні:

- на вході в розрахункову область – вектор швидкості потоку суміші, який відповідає режимній витраті;
- на стінці – умова прилипання (швидкість дорівнює нулю);
- на виході з насадки – статичний тиск, котрий дорівнює 0.

В роботі проведено чисельне дослідження 9 режимів роботи гідропіскоструминного перфоратора з однією насадкою діаметром 6 мм при випробуваннях (табл. 1).

Таблиця 1 – Залежність витрати водопіщаної суміші від перепаду тиску на насадці діаметром 6 мм

$Q$ , л/с	$\Delta P$ , МПа
0	0
2,5	5
3,6	10
4,3	15
5	20
5,6	25
6,1	30
6,65	35
7,1	40

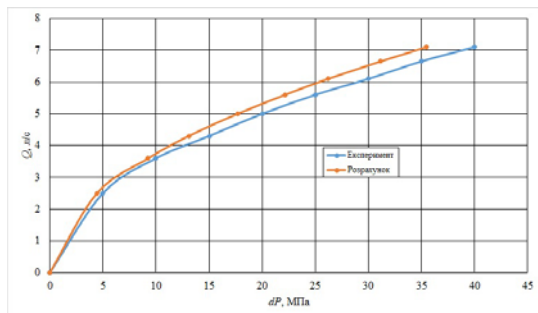


Рис. 3. Порівняння експериментальних даних та результатів чисельного експерименту (перепад тиску на насадці)

Результати тривимірного розрахунку течії водопіщаної течії у гідропіскоструминному перфораторі (рис. 3) та адекватна збіжність з експериментальними даними [9] говорять про правильність вибору розрахункової області, якість розрахункової сітки, моделі турбулентності та моделі течії двофазної рідини.

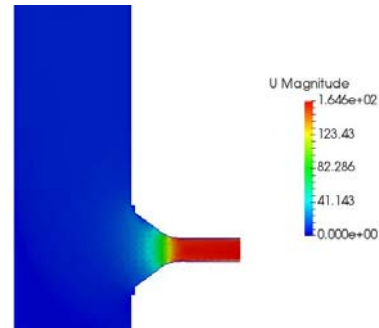


Рис. 4. Розподіл поля швидкостей по середній площині проточної частини гідропіскоструминного перфоратора через насадку

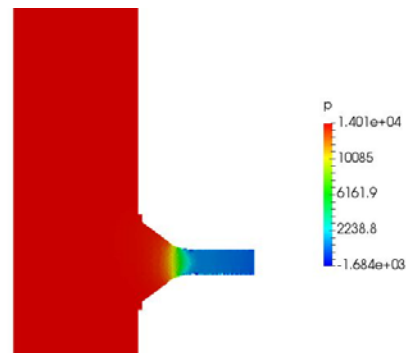


Рис. 5. Розподіл поля статичного по середній площині проточної частини гідропіскоструминного перфоратора через насадку

Візуалізація течії у проточній частині гідропіскоструминного перфоратора (рис. 4, рис. 5) показує значне зростання швидкості водопіщаної суміші у насадці з різким зменшенням тиску в ній. Це пояснюється значними гідравлічними втратами, а саме одночасними місцевими опорами – різким звуженням каналу та різким поворотом на 90°.

Подальшим актуальним напрямом даних досліджень являється зміна кута установки насадки. Таким чином з'являється можливість зменшити гідравлічні втрати тиску в зоні повороту з порожнини при переході рідини в насадку.

Також в даний час розглядаються питання про використання трьохфазних сумішей, котрі складаються з води, піску та азоту. Результатом роботи гідропіскоструминного перфоратора стане підвищення ефективності за рахунок зменшення гідравлічних втрат шляхом зменшення сумарної густини водоазотопіщаної суміші. Але дане рішення не доцільно застосовувати при перфорації колон на великих глибинах (3500 – 5000 м).

**Висновки.** Виконано чисельне дослідження течії водопіщаної суміші в гідропіскоструминному перфораторі. Дані чисельного експерименту досить

якісно узгоджуються з експериментальними даними [9] про що свідчить абсолютна похибка (не більше 8–10 %).

Дана збіжність експериментальних та розрахункових даних дає змогу стверджувати про доцільність подальших досліджень.

Перспективним напрямом являється визначення оптимального кута насадки гідропіскоструминного перфоратора, при якому зберігається максимальна ефективність його роботи, а саме перфорування колон, та зменшуються гідравлічні втрати тиску рідини, а також використання мультифазних рідин (вода-пісок-азот) з метою зменшення сумарної густини суміші.

#### Список літератури

1. Римчук Д. В. Удосконалення гідропіскоструминних технологій та інструменту для капітального ремонту свердловин. *Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ": сб. науч. тр. Серія: Гідравлічні машини та гідроагрегати*. Харків: НТУ «ХП». 2016. № 41 (1213). С. 88–92.
2. Катеринчук П. О., Римчук Д. В., Цибулько С. В., Шудрик О. Л. *Освоєння, інтенсифікація та ремонт свердловин*. Харків: Пром-Арт, 2018. 608 с.
3. Иванов С. И. *Интенсификация притока нефти и газа к скважинам*. Москва: Недра-Бизнесцентр, 2006. 565 с.
4. Shudryk A. L. Using open software application packages for simulation of viscous incompressible fluid. *Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ": сб. науч. тр. Серія: Гідравлічні машини та гідроагрегати*. Харків: НТУ «ХП». 2016. No 20 (1192). pp. 90–93.
5. Семин Д. А., Роговой А. С., Левашов А. М. Верификация расчетов течений в вихрекамерных устройствах. *Вісник НТУУ «КПІ». Сер.: Машинобудування*. Київ: НТУУ «КПІ». 2016. № 2 (77). С. 71–78.
6. Durmagambetov A. A. Navier-Stokes Equations-Millennium Prize Problems. *Natural Science. Scientific Research an Academic Publisher*. 2015. vol. 7, No. 2, pp. 88–99.
7. Menter F. R. Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications. *AIAA J.* 1994. T. 32, № 8. pp. 1598–1605.
8. Литвиненко К. В. *Прогнозирование технического состояния УЭЦН в условиях интенсивного выноса мехпримесей: автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук: спец. 05.02.13. «Машины и агрегаты»*. Уфа, 2016. 24 с.
9. *Інструкція по проведенню гідропіскоструминної перфорації. СТП 320.30019775.003-2004: 2004*. Київ: ДК Укргазвидобування, 2004. 52 с.

#### References (transliterated)

1. Rymchuk D. V. Udoskonalennya gidropiskostrumynnykh tekhnologiy ta instrumentu dlya kapital'nogo remontu sverdlvovyn [Improvement of hydrosand blasting technologies and tools for major repairs of wells]. *Vestnik Nats. tekhn. un-ta "KhPI": sb. nauch. tr. Seriya: Gidravlichni mashini ta gidroagregati* [Bulletin of the National Technical University "KhPI": a collection of scientific papers. Series: Hydraulic machines and hydraulic units]. Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2016. No. 41(1213), pp. 88–92.
2. Katerynchuk P. O., Rymchuk D. V., Tsybulko S. V., Shudryk O. L. *Osvoyennia, intensyfikatsiya ta remont sverdlvovyn* [Development, intensification and repair of wells]. Kharkiv, Prom-Art Publ., 2018. 608 p.
3. Ivanov C. I. *Intensifikatsiya pritoka nefiti s gaza k skvazhinam* [Intensification of oil and gas inflow to wells.]. Moscow, Nedra-Biznestsentr Publ., 2006. 565 p.
4. Shudryk O. L. Using open software application packages for simulation of viscous incompressible fluid. *Vestnik Nats. tekhn. un-ta "KhPI": sb. nauch. tr. Seriya: Gidravlichni mashini ta gidroagregati* [Bulletin of the National Technical University "KhPI": a collection of scientific papers. Series: Hydraulic machines and hydraulic units]. Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2016. No 20 (1192). pp. 90–93.
5. Semin D. A., Rogovoy A. S., Levashov A. M. Verifikatsiya raschetov techeniy v vikhrekamernykh ustroystvakh [Verification of flow in the vortex chamber devices]. *Visnyk NTUU "KPI" Seriya: Mashynobedevannia* [Bulletin of the NTUU "KPI": a collection of scientific papers. Series: Mechanical engineering]. Kiev, NTUU "KPI" Publ., 2016. No 2(77). pp. 71–78.
6. Durmagambetov A. A. Navier-Stokes Equations-Millennium Prize Problems. *Natural Science. Scientific Research an Academic Publisher*. 2015. vol. 7, No. 2, pp. 88–99.
7. Menter F. R. Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications. *AIAA J.* 1994. vol. 32, No. 8, pp. 1598–1605.
8. Litvinenko K. V. *Prognozirovaniye tekhnicheskogo sostoyaniya UETsN v usloviyakh intensivnogo vynosa mekhprimesei: avtoref. dys. kand. tekhn. nauk: spets.05.02.13 «Machines ta agregatis»* [Prediction of the technical condition of the ESP in the conditions of intensive removal of mechanical impurities Abstract of a thesis candidate eng. sci. diss. (Ph. D.) 05.02.13 «Machines and units»]. Ufa, 2016. 24 p.
9. *Instruktsiya po provedenniu gidropiskostrumynnoyi oerforatsiyi STP 320.30019775.003-2004: 2004* [Instruction according to the perforation of the permeable perforation. STP 320.30019775.003-2004]. Kiev, DK Ukrgazvydobovannia Publ., 2004. p. 52.

Поступила (received) 15.09.2018

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

**Римчук Данило Васильович (Рымчук Данило Васильевич, Rymchuk Danylo Vasyliovych)** – 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: vita.vynnyk@gmail.com.

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