

УДК 622.24+621.694.2

DOI 10.31471/1993-9981-2020-1(44)-16-23

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СВЕРДЛОВИННОГО СТРУМИННОГО НАСОСА

*Є. І. Крижанівський, Д. О. Паневник**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, 76019, м.Івано-Франківськ, вул.Карпатська, 15; тел.(0342) 727101; e-mail: den.panevnik@gmail.com

На основі аналізу існуючих критеріїв гідравлічної подібності розглянуті правила перенесення результатів лабораторних досліджень струминних насосів на умови їх експлуатації в свердловині. Геометрична подібність проточної частини струминного насоса визначається діаметрами робочої насадки, камери змішування та дифузора, довжинами камери змішування та дифузора та відстанню між робочою насадкою та камерою змішування. Кінематична подібність змішуваних потоків визначається співвідношенням швидкостей або витрат інжектованого та робочого потоків, а динамічна – відносним напором у вигляді співвідношення тисків змішаного, інжектованого та робочого потоків. Для характеризувати подібності режимів руху та фізичних властивостей потоків в проточній частині струминного насоса може використовуватись число Рейнольдса для робочої, інжектованої та змішаної течій. Функціональний зв'язок між величинами, що характеризують процес змішування потоків, може бути представлений у вигляді залежності, між складеними з них критеріями подібності. Рівність будь-яких двох відповідних критеріїв подібності складених з основних параметрів і початкових граничних умов є достатньою ознакою подібності двох систем. Запропоновано узагальнений критерій Ейлера для моделювання робочого процесу свердловинного струминного насоса, який забезпечує взаємозв'язок між геометричними, кінематичними та динамічними безрозмірними комплексами. Зважаючи на конструктивні особливості ежекційних систем узагальнений критерій представлений у вигляді співвідношення критеріїв Ейлера змішаного та робочого потоків, числові значення якого не відрізняються від величини відносного напору струминного насоса. В результаті проведених досліджень встановлено значення безрозмірних комплексів, що визначають умови перенесення результатів експериментальних досліджень моделі струминного насоса на реальну конструкцію свердловинної ежекційної системи.

Ключові слова: свердловинний струминний насос, гідравлічне моделювання, критерії подібності, ежекційна система, модельні і натурні об'єкти.

На основе анализа существующих критериев гидравлического подобия рассмотрены правила переноса результатов лабораторных исследований струйных насосов на условия их эксплуатации в скважине. Геометрическое подобие проточной части струйного насоса определяется диаметрами рабочей насадки, камеры смешивания и диффузора, длинами камеры смешивания и диффузора и расстоянием между рабочей насадкой и камерой смешивания. Кинематическое подобие смешиваемых потоков определяется соотношением скоростей или расходов инжестированного и рабочего потоков, а динамическое - относительным напором в виде соотношения давлений смешанного, инжестированного и рабочего потоков. Для характеристики сходства режимов движения и физических свойств потоков в проточной части струйного насоса может использоваться число Рейнольдса для рабочего, инжестированного и смешанного течения. Функциональная связь между величинами, характеризующими процесс смешивания потоков может быть представлена в виде зависимости между сложными из них критериями подобия. Равенство любых двух соответствующих критериев подобия, составленных из основных параметров и начальных граничных условий является достаточным признаком сходства двух систем. Предложенный обобщенный критерий Эйлера для моделирования рабочего процесса скважинного струйного насоса, который обеспечивает взаимосвязь между геометрическими, кинематическими и динамическими безразмерными комплексами. Учитывая конструктивные особенности ежекционных систем, обобщенный критерий представлен в виде соотношения критериев Эйлера смешанного и рабочего потоков, числовые значения которого не отличаются от величины относительного напора струйного насоса. В результате проведенных исследований установлены значения безразмерных комплексов, определяющих условия переноса результатов экспериментальных исследований модели струйного насоса на реальную конструкцию скважинной ежекционной системы.

Ключевые слова: скважинный струйный насос, гидравлическое моделирование, критерии подобия, ежекционная система, модельные и натурные объекты.

On the basis of the analysis of the existing criteria of hydraulic similarity, the rules of transferring the results of laboratory tests of jet pumps to the conditions of their operation in the well are considered. The geometric similarity of the flow part of the jet pump is determined by the diameters of the working nozzle, the mixing chamber and the diffuser, the lengths of the mixing chamber and the diffuser, and the distance between the working nozzle and the mixing chamber. The kinematic similarity of mixed flows is determined by the ratio of the speeds or costs of the injected and the workflows, and the dynamic one by the relative pressure in the form of the pressure ratio of the mixed, injected and workflows. To characterize the similarity of motion modes and physical properties of flows in the flowing portion of a jet pump, a Reynolds number for working, injected, and mixed flows can be used. The functional relationship between the quantities that characterize the process of mixing threads can be represented as a relationship between the similarity criteria that are made of them. The equality of any two relevant similarity criteria made up of the basic parameters and initial boundary conditions is a sufficient sign of the similarity of the two systems. A generalized Eulerian criterion is proposed for modeling a wellbore jet pump workflow that provides a relationship between geometric, kinematic, and dynamic dimensionless complexes. Due to the structural features of the ejection systems, the generalized criterion is presented in the form of a ratio of Euler criteria of mixed and working flows, the numerical values of which do not differ from the magnitude of the relative pressure of the jet pump. As a result of the conducted researches, the values of dimensionless complexes are determined, which determine the conditions for transferring the results of experimental studies of the jet pump model to the real design of the well ejection system.

Keywords: downhole jet pump, hydraulic modeling, similarity criteria, ejection system, model and full scale objects.

Вступ

Зниження запасів вуглеводнів зумовлює необхідність удосконалення технологій розробки нафтогазових родовищ. Одним з нетрадиційних методів підвищення ефективності нафтогазовидобутку є застосування свердловинних струминних насосів, які сьогодні застосовують при бурінні [1], експлуатації [2] та ремонті [3] свердловин. Значною перевагою нафтогазових ежекційних технологій є можливість застосування свердловинних струминних насосів в складних гірничо-геологічних умовах, коли традиційні методи розробки покладів вуглеводнів є недостатньо ефективними. Обсяги використання нафтогазових ежекційних технологій зростають внаслідок поширення їх на розробку покладів нетрадиційних вуглеводнів та можливість продовжити тривалість експлуатації виснажених родовищ. Незважаючи на відсутність рухомих частин та просту конструкцію свердловинний струминний насос є складною гідромеханічною системою, гідравлічні зв'язки елементів якої моделюються за допомогою переважної більшості відомих на сьогоднішній день законів гідродинаміки. Складні гідромеханічні системи не піддаються точному розрахунку і при проектуванні для якісної і кількісної оцінки явищ та процесів потребують використання результатів модельних досліджень. Реальні умови роботи

свердловинного струминного насоса відрізняються від лабораторних, у зв'язку з чим необхідно встановити правила перенесення отриманих на моделі результатів на умови роботи ежекційної системи в свердловині.

Аналіз сучасних досліджень і публікацій

Під час моделювання робочого процесу свердловинного струминного насоса приймаються критерії гідравлічної подібності у вигляді співвідношення площ перерізів змішаного та інжектваного потоків [4], змішаного та робочого потоків [5], діаметрів камери змішування та робочої насадки [6], їх взаємної орієнтації [7]. В роботі [8] показана залежність характеристик ежекційної системи від довжини камери змішування струминного насоса, що стало підставою введення критерію подібності у вигляді відносної довжини ділянки відновлювання швидкостей. Приведені в роботах [4] – [8] безрозмірні співвідношення визначають геометричну подібність проточної частини струминного насоса. Кінематична подібність змішуваних потоків визначається співвідношенням швидкостей або витрат інжектваного та робочого потоків [9], а динамічна – відносним напором у вигляді співвідношення тисків змішаного, інжектваного та робочого потоків [10]. Зважаючи на конструктивні особливості ежекційної системи залежність відносного напору від співвідношення витрат

інжектів та робочого потоків (від коефіцієнта інжекції) визначає напірну характеристику струминного насоса. Сукупність критеріальних параметрів доповнюється коефіцієнтами гідравлічного опору окремих елементів проточної частини струминного насоса та коефіцієнтами швидкостей в характерних перерізах ежекційної системи. В процесі експериментального та теоретичного дослідження робочого процесу струминного насоса, зазвичай, визначається його напірна характеристика.

Виділення частини невирішеної проблеми

Найбільш поширена методика визначення теоретичної напірної характеристики струминного насоса враховує величину його основного геометричного параметра, який визначається співвідношенням площ перерізів камери змішування та робочої насадки [11], [12]. Інші геометричні параметри, які визначають конструкцію проточної частини струминного насоса, при цьому не враховуються. Незважаючи на численність критеріїв подібності, які описують робочий процес струминного насоса, на сьогоднішній день не встановлено взаємозв'язку між безрозмірними комплексами, що характеризують конструкторські та режимні параметри свердловинних ежекційних систем. Значна кількість прийнятих різними авторами критеріїв подібності ускладнює застосування досвіду експлуатації струминних насосів при проектуванні їх конструкції та прогнозуванні режиму роботи. Теорія гідравлічного моделювання не містить універсального критерію подібності робочого процесу струминного насоса, який міг би з високою вірогідністю використовуватись для ежекційних систем різної конструкції та призначення. Недостатній рівень обґрунтування методів перенесення результатів моделювання робочого процесу струминного насоса на реальні конструкції свердловинних ежекційних систем обмежує ефективність їх застосування.

Мета досліджень

Мета роботи – аналіз критеріїв подібності режимів роботи та вдосконалення методів гідравлічного моделювання робочого процесу свердловинного струминного насоса.

Висвітлення основного матеріалу

Основними етапами моделювання робочого процесу струминного насоса є:

- побудова моделі насоса у вигляді образу об'єкта;
- дослідження побудованої моделі і об'єктивності;
- екстраполяція отриманої інформації на реальний об'єкт;
- практична перевірка екстраполяції.

Під час моделювання робочого процесу виникають складності наступного характеру [13]:

- 1) відомі не всі визначальні параметри процесу змішування потоків;
- 2) серед визначальних параметрів можна виділити такі, вплив яких на процес змішування є значний і такі, що впливають досить мало;
- 3) практично неможливо підібрати параметри реального насоса таким чином, щоб визначальні критерії моделі і натури були рівні;
- 4) при наявності змінних параметрів або анізотропії неможливо задовольнити додатковим умовам подібності.

Тому при моделюванні доводиться використовувати ті параметри, які відомі, чи виключати з розгляду параметри, вплив яких є незначним, нехтувати необхідністю рівності деяких критеріїв, користуватись середніми значеннями змінних величин. Тому подібність між моделями і побудованою на її основі натурою є наближеною. Намагання зберегти постійність окремих критеріальних параметрів може викликати появу додаткових похибок досліджень, зумовлених, наприклад, масштабним ефектом. Це призводить до необхідності моделювати процес зміни стану системи і, зокрема, законів, що встановлюють поведінку її елементів. При дослідженні роботи струминного насоса доцільно моделювати фізичні процеси, яким підпорядковується поведінка бурового розчину під час його руху в елементах проточної частини пристрою. Вдосконалення методів фізичного моделювання цих процесів дозволяє наблизити результати досліджень моделі струминного насоса до реальних показників його роботи.

Існує думка, що необхідна подібність процесу у потоці в'язкої рідини має місце лише у випадку дотримання геометричної, кінематичної і динамічної подібності.

Геометрична подібність полягає у збереженні форми при зміні розмірів лінії, плоскої фігури чи тримірного тіла (рисунок 1). Для вирішення суто геометричних завдань достатньо мати тільки одну основну одиницю – довжину. Під час моделювання необхідно також намагатись зберегти геометричну подібність

шорсткості поверхонь проточної частини насоса. Для вирішення завдань кінематики характерними поняттями є швидкість і прискорення, для побудови яких необхідні дві основні одиниці фізичних величин – довжина і час. В динаміці до понять часу приєднують ще поняття сили і маси.

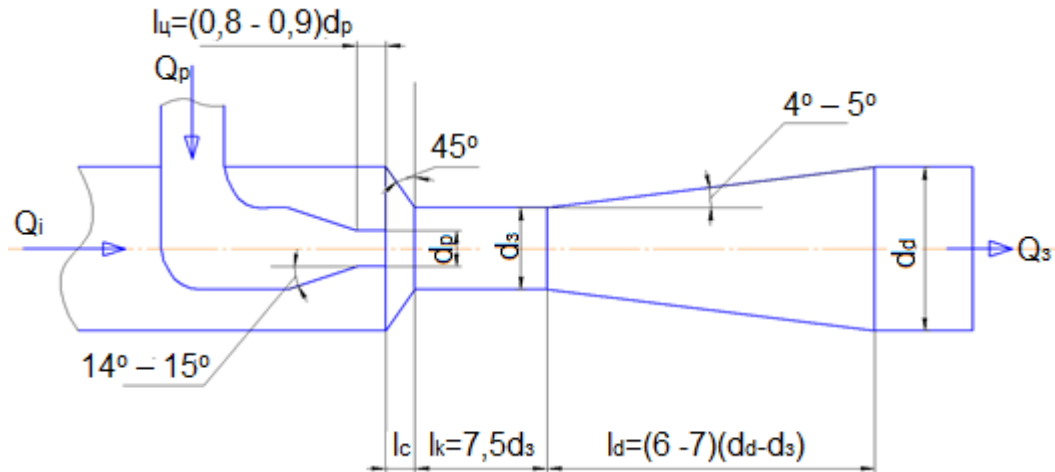


Рисунок 1 – Геометричні розміри проточної частини струминного насоса:

Q_3, Q_p, Q_i – витрати змішаного, робочого та інжектованого потоку, d_p, d_3, d_d – діаметри робочої насадки, камери змішування та дифузора, l_c, l_k, l_d – довжини циліндричної частини робочої насадки, камери змішування та дифузора, l_c – відстань між робочою насадкою та камерою змішування

Динамічна подібність може мати місце тільки при наявності кінематичної і геометричної подібності. Складність гідравлічного моделювання знайшла своє відображення, зокрема, у вигляді критеріальних параметрів, які визначають умови подібності модельних та натурних зразків свердловинного струминного насоса.

Розглянемо величину відносної площі або конструктивний параметр, що визначає геометричну подібність струминного насоса. В роботі [4] геометричний параметр струминного насоса визначений як відношення площ перерізів камери змішування f_3 та потоку підсмоктуваної рідини f_i біля зрізу сопла

$$K = \frac{f_3}{f_i}$$

Безрозмірний геометричний параметр визначають також [5] як відношення площ перерізів камери змішування f_3 та робочої насадки f_p струминного насоса. Сазонов Ю. А.

за основний критерій геометричної подібності пропонує приймати відношення площі перерізу камери змішування f_3 до площі стисненого перерізу f_c робочого струменя $K = \frac{f_3}{f_c}$.

Спрощений варіант визначення геометричного параметра передбачає розрахунок співвідношення діаметрів камери змішування d_3 та вихідного перерізу d_p робочого сопла

$$K = \frac{d_3}{d_p} \quad [6].$$

Як додаткові критерії геометричної подібності використовують також відносну відстань між камерою змішування та робочою насадкою $\bar{l}_p = \frac{l_c}{d_3}$ [7] та відносну довжину

$$\bar{l}_3 = \frac{l_k}{d_3} \quad [13].$$

Рівність співвідношень основних геометричних розмірів є недостатньою для подібності робочого

процесу моделі та оригіналу досліджуваного об'єкта [14]. Це пов'язано з наявністю різних величин витрати робочого та інжектваного потоків, відмінних режимів руху рідини та різних співвідношень тисків в характерних перерізах струминного насоса.

Кінематична подібність струминних насосів визначається величиною коефіцієнта інжекції, тобто співвідношенням витрати інжектваного та робочого потоків. Рівність коефіцієнтів інжекції, однак, не забезпечує однакових режимів руху потоків та співвідношень тисків в характерних перерізах струминного насоса.

Відмінності у визначенні критерію динамічної подібності – числа Рейнольдса – пояснюються особливостями конструкції гідравлічної системи струминного насоса, а саме – наявністю ліній робочого, змішаного та інжектваного потоків. Враховуючи конструкцію гідравлічної системи окремі автори, таким чином, розрізняють число Рейнольдса для робочого R_{ep} , змішаного R_{e3} та інжектваного R_{ei} [15], [16] потоків

$$\begin{aligned} R_{ep} &= \frac{V_p d_p}{\nu}, \\ R_{e3} &= \frac{V_3 d_3}{\nu}, \\ R_{ei} &= \frac{V_i (d_3 - d_i)}{\nu}, \end{aligned} \quad (1)$$

де V_p , V_3 , V_i - швидкість робочого, змішаного та інжектваного потоків на вході у камеру змішування;
 ν - коефіцієнт кінематичної в'язкості робочої рідини.

Для визначення числа Рейнольдса робочого потоку використовується також наступна формула

$$R_{ep} = \frac{d_p}{\nu} \sqrt{\frac{2(P_p - P_i)}{\rho}}, \quad (2)$$

де P_p , P_i - тиски відповідно робочого та інжектваного потоків;

ρ - густина робочої рідини.

Відомо що при моделюванні гідравлічних систем, втрати тиску для яких визначаються лінійним тертям, збереження критерію Рейнольдса означає автоматично рівність втрат тиску між характерними перерізами потоків. В

гідравлічній системі струминного насоса, однак мають місце додаткові втрати тиску в зосереджених гідравлічних опорах, а також гідравлічні втрати пов'язані із змішуванням потоків. Це призводить до необхідності залучення при моделюванні робочого процесу струминного насоса додаткового критерію динамічної подібності ежекційних систем.

Фізичне моделювання спирається на фізичні закономірності процесу і на відміну від, наприклад, геометричного моделювання має справу не тільки з лінійними величинами, а з цілим комплексом фізичних величин. Функціональний зв'язок між величинами, що характеризують процес змішування потоків може бути представлений у вигляді залежності між складеними з них критеріями подібності. Рівність будь-яких двох відповідних критеріїв подібності складених з основних параметрів і початкових граничних умов є достатньою умовою подібності двох систем.

Згідно сучасних уявлень робочий процес струминного насоса здійснюється під дією сил тертя та тиску. Наявність сил тиску викликає надходження низьконапірного інжектваного потоку в приймальну камеру струминного насоса, а сили тертя сприяють передачі енергії від робочого потоку інжектваному та їх змішуванню. Характер сил, які в окремих гідромеханічних системах є переважаючими порівняно з іншими визначає вигляд часткових критеріїв гідравлічної подібності. Зокрема, якщо основна роль належить силам тертя, для моделювання процесів руху рідини застосовують критерій Рейнольдса R_e . Переважаюча дія сил тиску передбачає використання критерію Ейлера E_u . Критерій Ейлера E_u для моделювання робочого процесу струминного насоса до цього часу не використовувався.

Відмінність у визначенні критерію Ейлера E_u для гідравлічної системи струминного насоса порівняно з напірним трубопроводом полягає у наявності в складі ежекційної системи трьох гідравлічних ліній. Враховуючи загальноприйнятий метод визначення різниці тисків у характерних перерізах струминного насоса доцільно розглядати критерії Ейлера відповідно для змішаного E_{u3} та робочого E_{up} потоків

$$E_{уз} = \frac{\Delta P_3}{\frac{\rho V_i^2}{2}} = \frac{P_3 - P_i}{\frac{\rho V_i^2}{2}}; \quad (3)$$

$$E_{ур} = \frac{\Delta P_p}{\frac{\rho V_i^2}{2}} = \frac{P_p - P_i}{\frac{\rho V_i^2}{2}}, \quad (4)$$

де ΔP_3 , ΔP_p - враховуючи прийняту в теорії ежекційних систем термінологію відповідно напір, що створюється струминним насосом та його наявний напір.

Враховуючи різні значення швидкостей руху змішаного, робочого та інжектваного потоків значення швидкісного напору визначено для всмоктувальної лінії струминного насоса. Проводячи аналогію з послідовністю визначення відносного напору струминного насоса доцільним є застосування співвідношення двох отриманих величин. У такому випадку мова може йти про визначення узагальненого критерію Ейлера E_u^*

$$E_u^* = \frac{E_{уз}}{E_{ур}} = \frac{P_3 - P_i}{P_p - P_i}, \quad (5)$$

числові значення якого не відрізняються від значень відносного напору $E_u^* = h$.

Визначимо значення безрозмірних критеріальних параметрів моделі струминного насоса, що використовувалась при проведенні експериментальних досліджень [17].

Для діаметрів робочої насадки d_p : 16 мм; 18 мм; 22,5 мм та діаметра камери змішування $d_3 = 40$ мм геометричний параметр струминного насоса (який визначався як співвідношення площ $K_{сн} = \frac{f_3}{f_p}$) становить відповідно 6,25; 4,94

та 3,16. Розглянутий діапазон зміни геометричного параметра включає, таким чином, конструкцію струминного насоса, що забезпечує його роботу в зоні максимальних значень ККД, яка відповідає величині $K_{сн} = 4,0$. Додатковий критерій геометричної подібності характеризує відстань між робочою насадкою та камерою змішування струминного насоса l_p . У відносній формі цей параметр визначається співвідношенням відстані до камери змішування l_c та діаметра робочої насадки d_p .

Експериментальні дослідження моделі струминного насоса проводились для шести фіксованих значень відстані до камери змішування l_c : 16,5 мм; 21,5 мм; 26,5 мм; 31,5 мм; 36,5 мм; 41,5 мм. У відносній формі параметр $\bar{l}_p = \frac{l_c}{d_p}$ приймає значення в діапазоні

від 0,733 до 2,594. Оптимальним, як відомо, вважають значення відносної відстані $\bar{l}_p = 1,5$, яке входить у розглянутий діапазон зміни його параметра.

Критерій кінематичної подібності, який для струминного насоса приймається у вигляді коефіцієнта інжекції, визначається як співвідношення витрат інжектваного Q_i та робочого Q_p потоків $i = \frac{Q_i}{Q_p}$. В процесі

дослідження моделі струминного насоса з вищезгаданими геометричними параметрами коефіцієнт інжекції змінювався в діапазоні від $i=0$ до $i=1,1$. Приведений діапазон зміни коефіцієнта інжекції включає його величину, що відповідає максимальному значенню ККД струминного насоса, яка становить $i = 1,0$.

Визначимо величини критеріїв динамічної подібності. Критерій Рейнольдса визначимо для змішаного потоку струминного насоса, який додатково враховує значення двох інших критеріїв Рейнольдса – для робочого та інжектваного потоків. Враховуючи, що витрата потоку в камері змішування діаметром 40 мм змінювалась в межах від 8,6 л/с до 17,36 л/с для води отримаємо зміну значень числа Рейнольдса в діапазоні $0,27 \times 10^6 - 0,55 \times 10^6$. Узагальнений критерій Ейлера приймає граничні значення для нульових коефіцієнтів інжекції струминного насоса. За результатами проведених досліджень максимальне значення критерію Ейлера складає $E_u^* = 0,353$.

Підсумовуючи проведений аналіз запишемо значення безрозмірних комплексів, що визначають умови перенесення результатів експериментальних досліджень моделі струминного насоса на його використання в свердловині:

– відносна площа струминного насоса $K_{сн}$:
 3,16 – 6,25;

- відносна відстань між робочою насадкою та камерою змішування \bar{l}_p : 0,733-2,594;
- число Рейнольдса змішаного потоку R_{e3} : (0,27-0,55)10⁶;
- узагальнений критерій Ейлера E_u^* : 0-0,353.

Дотримання при експлуатації реальної конструкції струминного насоса вищезгаданих значень критеріїв дозволяє з достатньою ймовірністю використовувати результати експериментальних досліджень.

Висновок

В процесі гідравлічного моделювання робочого процесу ежекційної системи визначена величина критеріїв подібності, які встановлюють умови перенесення результатів експериментальних досліджень моделі струминного насоса на його реальну конструкцію. Існуючий перелік безрозмірних комплексів, що визначають подібність робочих процесів струминних насосів, вперше доповнено узагальненим критерієм Ейлера. Дотримання при експлуатації реальної конструкції струминного насоса вищезгаданих значень критеріїв дозволяє з достатньою ймовірністю використовувати результати експериментальних досліджень.

Завданням наступних досліджень є промислова перевірка запропонованого критерію подібності та визначення вірогідності його використання для гідравлічного моделювання робочого процесу свердловинної ежекційної системи.

Список використаних джерел

1. Zhu H.-Y., Liu Q.-Y. Pressure drawdown mechanism and design principle of jet pump bit. *Scientia Iranica B*. 2015. No 22 (3). P.792-803.
2. Khelifa B., Fraser K., Pug T. Subsea hydraulic jet pump optimizes well development offshore Tunisia. *World Oil*. 2015. No 11. P.71-76.
3. Shaiek S., Anres S., Valdenaire T. Sand management in subsea produced water separation unit – review of technologies and tests. 12th Offshore Mediterranean Conference and Exhibition, Ravenna, Italy, March 25–27 2015. 13 p.
4. Дунчевский Г.М., Цабиев О.Н., Соломин В.С. Определение потерь в камере смешивания струйных насосов различного типа. *Известия*

вузов «Машиностроение». 1987. № 5. С. 29-32.

5. Фозао К.Ф. Методические рекомендации по проектированию параметров работы струйного насоса для интенсификации добычи нефти из фонтанных скважин. *Нефтепромысловое дело*. 2001. № 5. С. 25-29.

6. Кабдешева Ж.Е., Вербицкий В.С., Деньгаев А.В., Ламбин Д. Н. Исследование характеристик высоконапорного струйного аппарата при откачке струей жидкости газожидкостной смеси. *Нефтяное хозяйство*. 2003. №3. С.81-83.

7. Демьянова Л. А. Влияние расстояния от рабочего сопла до камеры смешивания на характеристики струйного аппарата при откачке газожидкостных смесей. *Нефтяное хозяйство*. 1998. № 9. С. 84- 85.

8. Подвидз Л.Г., Родимова А.М., Калачев В.В. Влияние длины камеры смешения на энергетические и кавитационные характеристики струйных насосов. *Известия вузов «Машиностроение»*. 1979. № 2. С. 66–69.

9. Подвидз Л.Г. Кавитационные свойства струйных насосов. *Вестник машиностроения*. 1978. № 3. С. 17–20.

10. Казак А.С., Росин И.И., Чичеров И.Г. Погружные безштанговые насосы в добыче нефти. М.: Недра, 1978. 232 с.

11. Лямаев Б.Ф. Гидроструйные насосы и установки. Л.: Машиностроение. 1988. 256 с.

12. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты. М.: Энергоатомиздат, 1989. 352 с.

13. Онисько О.Р. Фізичне моделювання інженерних процесів. Івано- Франківськ: Факел, 2001. 39 с.

14. Мочернюк Д.Ю., Лівак І.Д., Костишин В.С., Концур І.Ф. Основи моделювання. Івано-Франківськ: Факел, 2003. 216 с.

15. Кабдешева Ж.Е. Подбор рациональной геометрии проточной части высоконапорного струйного аппарата при откачке однородной жидкости. *Нефтепромысловое дело*. 2003. № 1. С.30-34.

16. Демьянова Л.А. Расчет характеристики высоконапорного струйного аппарата, работающего в оптимальном режиме. *Нефтепромысловое дело*. 2001. № 2. С. 20-29.

17. Крыжановский Е.И., Паневник Д.А. Экспериментальное исследование скважинного

струйного насоса. *Nauka I Studia. Nowoczesne Technologie Informacyjne* (Przemysl, Poland). 2019. No 5 (194). P. 30-40.

References

1. Zhu H.-Y., Liu Q.-Y. Pressure drawdown mechanism and design principle of jet pump bit. *Scientia Iranica B*. 2015. No 22 (3). P.792-803.

2. Khelifa B., Fraser K., Pug T. Subsea hydraulic jet pump optimizes well development offshore Tunisia. *World Oil*. 2015. No 11. P.71-76.

3. Shaiek S., Anres S., Valdenaire T. Sand management in subsea produced water separation unit – review of technologies and tests. 12th Offshore Mediterranean Conference and Exhibition, Ravenna, Italy, March 25–27 2015. 13 p.

4. Dunchevskiy G.M., Tsabiev O.N., Solomin V.S. Opredelenie poter v kamere smeshivaniya struynykh nasosov razlichnogo tipa. *Izvestiya vuzov «Mashinostroenie»*. 1987. No 5. P. 29-32. [in Russian]

5. Fozao K.F. Metodicheskie rekomendatsii po proektirovaniyu parametrov raboty struynogo nasosa dlya intensivatsii dobyichi nefi iz fontannykh skvazhin. *Neftepromyislovoe delo*. 2001. No 5. P. 25-29. [in Russian]

6. Kabdesheva Zh.E., Verbitskiy V.S., Dengaev A.V., Lambin D. N. Issledovanie harakteristik vyisokonapornogo struynogo apparata pri otkachke struey zhidkosti gazozhidkostnoy smesi. *Neftyanoe hozyaystvo*. 2003. No3. P. 81-83. [in Russian]

7. Demyanova L. A. Vliyanie rasstoyaniya ot rabocheho sopla do kameryi smeshivaniya na harakteristiki struynogo apparata pri otkachke gazozhidkostnykh smesey. *Neftyanoe hozyaystvo*. 1998. No 9. P. 84- 85. [in Russian]

8. Podvidz L.G., Rodimova A.M., Kalachev V.V. Vliyanie dliny kameryi smesheniya na

energeticheskie i kavitatsionnyie harakteristiki struynykh nasosov. *Izvestiya vuzov «Mashinostroenie»*. 1979. No 2. P. 66–69. [in Russian]

9. Podvidz L.G. Kavitatsionnyie svoystva struynykh nasosov. *Vestnik mashinostroeniya*. 1978. No 3. P. 17–20. [in Russian]

10. Kazak A.S., Rosin I.I., Chicherov I.G. Pogruznyie bezshtangovyie nasosyi v dobyiche nefi. M.: Nedra, 1978. 232 p. [in Russian]

11. Lyamaev B.F. Gidrostruynnyie nasosyi i ustanovki. L.: Mashinostroenie. 1988. 256 p. [in Russian]

12. Sokolov E.Ya., Zinger N.M. Struynnyie apparaty. M.: Energoatomizdat, 1989. 352 p. [in Russian]

13. Onysko O.R. Fizychni modeliuvannia inzhenernykh protsesiv. Ivano- Frankivsk: Fakel, 2001. 39 p. [in Ukrainian]

14. Mocherniuk D.Iu., Livak I.D., Kostyshyn V.S., Kontsur I.F. Osnovy modeliuvannia. Ivano- Frankivsk: Fakel, 2003. 216 p. [in Ukrainian]

15. Kabdesheva Zh.E. Podbor ratsionalnoy geometrii protochnoy chasti vyisokonapornogo struynogo apparata pri otkachke odnorodnoy zhidkosti. *Neftepromyislovoe delo*. 2003. No 1. P. 30-34. [in Russian]

16. Demyanova L.A. Raschet harakteristiki vyisokonapornogo struynogo apparata, rabotayushego v optimalnom rezhime. *Neftepromyislovoe delo*. 2001. No2. P. 20-29. [in Russian]

17. Kryzhanivskiy E.I., Panevnik D.A. Eksperimentalnoe issledovanie skvazhinnoho struynogo nasosa. *Nauka I Studia. Nowoczesne Technologie Informacyjne* (Przemysl, Poland). 2019. No 5 (194). P. 30-40.