КОНТРОЛЬ ТА РЕГУЛЮВАННЯ РЕЖИМУ РОБОТИ СВЕРДЛОВИННОГО СТРУМИННОГО НАСОСА

Д. О. Паневник, О. В. Паневник*

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 727101,
e-mail: o.v.panevnik@gmail.com

Неперервний контроль та дистанційне регулювання режиму роботи свердловинного струминного насоса дозволяє підвищити ефективність гідроструминного способу експлуатації нафтових свердловин. На основі аналізу робочого процесу ежекційної системи встановлено взаємозв'язок між густиною і витратою змішаного потоку та режимними параметрами свердловинного нафтового струминного насоса у вигляді нелінійних залежностей, які дають змогу здійснювати дистанційний контроль за величиною витрати потоку у привибійному контурі циркуляції. В процесі моделювання гідравлічних зв'язків між елементами ежекційної системи побудовано бінарну діаграму у вигляді двох суміщених квадрантів, яка відображає встановлені закономірності між параметрами змішаного потоку на виході з свердловини та режимом роботи струминного насоса. Запропоновано спосіб дистанційного регулювання режиму роботи свердловинної ежекційної системи шляхом зміни витрати робочого потоку, який спрямовується в свердловину наземним насосним агрегатом та зміною геометричних розмірів деталей проточної частини струминного насоса. Регулювання режиму роботи свердловинного струминного насоса реалізується шляхом зміни положення робочої точки насосної установки. В процесі регулювання режиму роботи струминного насоса зміною робочої витрати отримано серію характеристик гідравлічної системи, які визначають координати робочої точки насосної установки. Регулювання режиму роботи ежекційної системи зміною геометричних розмірів елементів проточної частини струминного насоса передбачає побудову серії його власних характеристик за незмінної характеристики його гідравлічної системи. Заміна деталей проточної частини струминного насоса здійснюється гідравлічним способом і не потребує проведення в свердловині спуско-підіймальних операцій. Наведено графічну інтерпретацію запропонованих методів регулювання режиму роботи свердловинної ежекційної системи у вигляді побудованих в єдиній системі координат суміщених характеристик струминного насоса та його гідравлічної системи.

Ключові слова: свердловинний струминний насос, ежекційна система, система циркуляції свердловини, привибійний контур циркуляції, коефіцієнт ежекції.

Непрерывный контроль и дистанционное регулирование режимом работы скважинного струйного насоса позволяет увеличить эффективность гидроструйного способа эксплуатации нефтяных скважин. По результатам анализа рабочего процесса эжекционной системы установлена взаимосвязь между плотностью, расходом смешанного потока и режимными параметрами скважинного нефтяного струйного насоса в виде нелинейных зависимостей, которые позволяют осуществлять дистанционный контроль величины расхода потока в призабойном контуре циркуляции. В процессе моделирования гидравлических связей между элементами эжекционной системы построена бинарная диаграмма в виде двух совмещенных квадрантов, отображающая полученные закономерности между параметрами смешанного потока на выходе из скважины и режимом работы струйного насоса. Предложен способ дистанционного регулирования режима работы скважинной эжекционной системы путем изменения расхода рабочего потока, направляемого в скважину наземным насосным агрегатом, и изменением геометрических размеров деталей проточной части струйного насоса. Регулирование режима работы скважинного струйного насоса осуществляется путем изменения положения рабочей точки насосной установки. В процессе регулирования режима работы струйного насоса изменением рабочего расхода получена серия характеристик гидравлической системы, которые определяют координаты рабочей точки насосной установки. Регулирование режима работы эжекционной системы путем изменения геометрических размеров элементов проточной части струйного насоса предусматривает построение серии его собственных характеристик при неизменной характеристике его гидравлической системы. Замена деталей проточной части струйного насоса осуществляется гидравлическим способом и не требует спуско-подъемных операций в скважине. Приведена графическая интерпретация предложенных методов регулирования режима работы скважинной эжекционной системы в виде построенных в единой системе координат совмещенных характеристик струйного насоса и его гидравлической системы.

Ключевые слова: скважинный струйный насос, эжекционная система, система циркуляции скважины, призабойный контур циркуляции, коэффициент эжекции.

Permanent monitoring and remote control of the operation mode of the hydraulic jet pump allows increasing the efficiency of the hydrojet mode of oil wells operation. Based on the analysis of the workflow of the ejection system, the authors reveal the relation between the density and flow rate of the mixed flow and the operating parameters of the oil hydraulic jet pump in the form of nonlinear dependencies, which make it possible to carry out remote control over the flow rate in the bottomhole circulation circuit. In the process of modeling the hydraulic relations between the elements of the ejection system, a binary diagram is constructed. This binary diagram is created in the form of two combined quadrants and presents the obtained regularities between the parameters of the mixed flow at the well outlet and the operation mode of the jet pump. The authors present the method of remote control over the operation mode of a well ejection system by means of varying the flow-rate of power fluid directed to the well by a ground pump unit and by means of changing the dimensions of the components of the flowing part of the jet pump. The regulation of the operation mode of the hydraulic jet pump occurs by changing the position of the operating point of the pumping unit. In the process of regulating the operation mode of the jet pump by changing the operating flow rate, the authors obtain a series of characteristics of the hydraulic system which determine the coordinates of the operating point of the pumping unit. Adjusting the operation mode of the ejection system by changing the dimensions of the components of the flowing part of the jet pump involves creating a series of its own characteristics with constant characteristics of its hydraulic system. The replacement of the components of the flowing part of the jet pump is carried out in a hydraulic way and does not require round-trip operations in the well. The authors present the graphical interpretation of the proposed methods of regulating the operation mode of the well ejection system in the form of combined characteristics of the jet pump and its hydraulic system built in the single system of coordinates.

Keywords: hydraulic jet pump, ejection system, system of well circulation, bottomhole circulation circuit, ejection coefficient.

Вступ

Застосування свердловинних струминних насосів дозволяє суттєво покращити ефективність розробки покладів вуглеводнів та підвищити енергетичну безпеку України. Можливість використання в складних умовах, проста і маловартісна конструкція, здатність працювати за наявності в продукції свердловини значного вмісту газу, води і піску зумовили використання струминних насосів при реалізації більшості виробничих процесів будівництва, експлуатації та ремонту нафтових і газових свердловин [1], [2]. Визначальною перевагою використання свердловинних струминних насосів є можливість забезпечення рентабельності нафтогазовидобутку на пізній стадії експлуатації покладів вуглеводнів. Розробка родовищ нафти і газу супроводжується ускладненням гірничо-геологічних умов розміщення та видобування покладів вуглеводнів. Невпинне зростання обсягів світового споживання енергоносіїв зумовлює необхідність видобування важкодоступних та нетрадиційних вуглеводнів. Зважаючи на постійне збільшення частки вуглеводнів у світовому балансі енергоспоживання, актуальним завданням є удосконалення нетрадиційних технологій їх видобутку, здатних підвищити ефективність експлуатації виснажених та молодоступних покладів нафти і газу.

Аналіз сучасних досліджень і публікацій

Розміщення струминного насоса на вибої свердловини забезпечує безкавітаційний режим його експлуатації. При цьому, однак, порівняно із поверхневим струминним насосом, усклад-

нюється контроль та регулювання режиму його роботи, внаслідок чого зменшується ефективність використання гідроструминного способу нафтовидобутку. За характером контролю можна виділити [3],[4] прямий та непрямий спосіб визначення характеристик струминного насоса. Прямий спосіб може бути охарактеризований, як метод визначення прямих параметрів роботи струминного насоса, на основі яких в подальшому розраховуються його безрозмірні відносні характеристики. До прямих параметрів можна віднести тиск інжектowanego потоку та витрату робочого, змішаного та інжектowanego потоків. Непрямий метод контролю передбачає попередню фіксацію окремих проміжних показників, які в подальшому дозволяють визначити прямі параметри роботи насоса. Непрямі методи контролю параметрів передбачають визначення тиску потоку на вході в свердловину та густину потоку, що виходить з свердловини.

Для визначення тиску інжектowanego потоку в камеру змішування може вмонтовуватись тензометричний давач [5], а сам струминний апарат разом з давачем з'єднують з наземною каротажною станцією. Процес зміни тисків фіксують фотореєстратором або самописцем каротажної станції, а тиск інжектowanego потоку може визначатись за допомогою діаграм, отриманих при використанні глибинних манометрів. Контроль параметрів може здійснюватись також за допомогою підвішеного на кабелі геофізичного приладу. Фізичні параметри інжектowanego потоку можуть визначатись з використанням вибійних випромінювачів [6] та електронних перетворювачів із кабелем дистанцій-

ного зв'язку. Витрата змішаного потоку визначається об'ємним способом за зміною рівня рідини в резервуарі, яка надходить з свердловини. При визначенні витрати робочого потоку використовують витратомір. Наближено витрата робочого потоку може визначатись також, якщо відомі діаметр, довжина і частота ходів плунжерів наземного насосного агрегата та паспортна величина коефіцієнта подачі. В роботі [7] детально описано спосіб контролю режиму роботи свердловинного струминного насоса за величиною тиску, що створює наземний поверхневий агрегат при спрямуванні робочого потоку в свердловину.

Виділення частини невирішеної проблеми

Наведена в роботі [4] методика визначення режиму роботи струминного насоса передбачає використання ежекційної системи із зосередженим гідравлічним опором у вигляді промислових насадок долота і не може застосовуватись для оцінки параметрів експлуатації нафтового насоса. Застосування для контролю режиму роботи струминного насоса тензодавачів [5] та вибійних випромінювачів [6] передбачає використання електричного кабелю, наявність якого ускладнює процес експлуатації та технічного обслуговування свердловини. Спосіб контролю режиму роботи свердловинного струминного насоса за величиною тиску, що створює наземний поверхневий агрегат [7], не забезпечує визначення характеристик ежекційної системи за густиною змішаного потоку. Наявні технології використання нафтового струминного насоса не дозволяють здійснювати дистанційне регулювання режиму його роботи.

Мета досліджень

Метою досліджень, результати яких наведені в даній роботі, є удосконалення методу контролю режиму роботи нафтової свердловинної ежекційної системи з гідравлічними опорами у вигляді лінійних ділянок круглого і кільцевого перерізів та обґрунтування технології дистанційного регулювання характеристик струминного насоса.

Висвітлення основного матеріалу

Перспективність контролю характеристик струминного насоса за густиною змішаного потоку ґрунтується на простоті його застосування. Крім того, забезпечується достатня точність вимірів: незалежно від типу пристроїв для визначення густини (гравітаційні, поплавкові, радіоактивні або гідростатичні) основна похибка вимірів не перевищує 2 %.

Густину змішаного потоку, який виходить із свердловини, можна визначити з використанням очевидних співвідношень

$$\rho_z = \frac{m_p + m_i}{V_p} = \frac{\rho_p V_p + \rho_i V_i}{V_z}, \quad (1)$$

де m_p , m_i – маса робочого та інжектованого потоків;

V_z , V_p , V_i – об'єм змішаного, робочого та інжектованого потоків;

ρ_z , ρ_p , ρ_i – густина змішаного, робочого та інжектованого потоків.

Враховуючи співвідношення між витратою Q , об'ємом V та часом t

$$V_p = Q_p t; \quad V_i = Q_i t; \quad V_z = Q_z t, \quad (2)$$

запишемо

$$\rho_z = \frac{\rho_p Q_p t + \rho_i Q_i t}{Q_z t} = \frac{\rho_p Q_p + \rho_i Q_i}{Q_z}. \quad (3)$$

Отриманий вираз можна спростити, використовуючи поняття коефіцієнта інжекції струминного насоса:

$$Q_i = Q_p i; \quad Q_z = Q_p + Q_i = Q_p (1 + i). \quad (4)$$

Тоді для густини змішаного потоку отримаємо формулу

$$\rho_z = \frac{\rho_p + \rho_i i}{1 + i}. \quad (5)$$

Отримане рівняння відповідає фізичному змісту процесу змішування потоку. Дійсно, у випадку, коли $\rho_p = \rho_i$ густина змішаного потоку набуває значення $\rho_z = \rho_p = \rho_i$. У випадку, коли підсмоктування інжектованого потоку відсутнє, тобто, $i = 0$ густина змішаного потоку набуває значення $\rho_z = \rho_p$. Розв'язанням останнього рівняння відносно величини коефіцієнта інжекції отримуємо формулу, яка обґрунтовує даний спосіб контролю режиму роботи струминного насоса

$$i = \frac{\rho_z - \rho_p}{\rho_i - \rho_z}. \quad (6)$$

Слід зазначити, що даний метод контролю режиму роботи струминного насоса може використовуватись для ежекційних систем з відокремленими лініями змішаного та інжектованого потоків.

Визначимо вигляд рівняння, яке дозволяє реалізувати технологію контролю характеристик струминного насоса за витратою змішаного потоку. Враховуючи співвідношення між величиною коефіцієнта інжекції i та витратами ро-

Рисунок 1 – Контроль характеристик струминного насоса за витратою змішаного потоку Q_3 , густиною змішаного потоку ρ_3 та тиском робочого потоку P_{ex}

бочого Q_p та змішаного Q_3 потоків $Q_3 = Q_p(1+i)$ запишемо

$$i = \frac{Q_3}{Q_p} - 1. \quad (7)$$

Витрати Q_3 , Q_p визначаються за допомогою витратомірів або мірних резервуарів. Залежність $i = f(Q_3)$ є лінійною і дозволяє визначити коефіцієнт інжекції та відносний напір струминного насоса.

Щоб побудувати діаграму для здійснення контролю режиму роботи струминного насоса за густиною змішаного потоку, скористаємось рівнянням (5). Для проведення розрахунків застосуємо наступні значення складових рівняння (5): $\rho_p = 1000 \text{ кг/м}^3$ (технічна вода); $\rho_i = 780 \text{ кг/м}^3$. Тоді розрахункова формула набуває вигляду

$$\rho_3 = \frac{1000 + 780i}{1+i}. \quad (8)$$

Густину змішаного потоку визначаємо для коефіцієнта інжекції, який змінюється в діапазоні від $i = 0$ до $i = 0,6$ з кроком $\Delta i = 0,1$.

Співвідношення між густиною змішаного потоку та величиною коефіцієнта інжекції має вигляд (рис. 1) гіперболічної залежності, яка асимптотично наближається до горизонтальної прямої, що визначає густину інжектованого потоку. Показана на рисунку 1 графічна залеж-

ність стосується випадку використання для робочої рідини - технічної води ($\rho_p = 1000 \text{ кг/м}^3$). Якщо для робочої рідини використовують нафту з тією ж густиною, що і густина інжектованого потоку $\rho_p = \rho_i$, залежність $\rho_3 = f(i)$ має вигляд горизонталі, яка відповідає густині інжектованої рідини ρ_i . В цьому випадку густина змішаного потоку відповідає густині інжектованої рідини, тож даний спосіб контролю характеристик струминного насоса використовуватись не може. На графіку відображено випадок визначення режимних параметрів струминного насоса, якщо густина змішаного потоку становить $\rho_3 = 876,7 \text{ кг/м}^3$. Тоді коефіцієнти інжекції і відносний напір становлять відповідно $i_e = 0,243$; $h_e = 0,442$.

Для побудови діаграми, яка дозволяє здійснювати контроль режиму роботи струминного насоса за величиною витрати змішаного потоку, використано формулу (7). На рисунку 1 наведено послідовність визначення режимних параметрів струминного насоса за попередньо отриманими величинами. Точки A, A' характеризують режим роботи струминного насоса за попередньо визначеною витратою змішаного потоку Q_3 . Витраті змішаного потоку $Q_3 = 0,00187 \text{ м}^3/\text{с}$ відповідає коефіцієнт інжекції $i_A = 0,187$ та відносний напір $h_A = 0,467$.

1 – 0,001215 м³/с; 2 – 0,001296 м³/с; 3 – 0,001447 м³/с; 4 – 0,00162 м³/с; 5 – 0,001829 м³/с;

H – власна характеристика струминного насоса;

A₁ ... A₅ – положення робочих точок насосної установки

Рисунок 2 – Визначення положення робочої точки для різних значень витрати робочого потоку

На рисунку 1 наведено також діаграму для контролю режиму роботи струминного насоса за величиною тиску робочого потоку на вході в свердловину. Обґрунтування даного методу контролю параметрів ежекційної системи наведено в роботі [7]. Величина вхідного тиску на діаграмі $P_{вх}=0,478$ МПа відповідає значенню коефіцієнта інжекції $i_c=0,48$ та відносному напору струминного насоса $h_c=0,358$ (точки C, C').

Зважаючи на конструкцію ежекційної системи, розглядаємо два способи регулювання режиму роботи струминного насоса: зміною величини робочої витрати та основного геометричного параметра. Регулювання режиму роботи струминного насоса зміною величини робочої витрати не потребує виконання спуско-підймальних операцій і підймання ежекційної системи на поверхню. Зміна режимних параметрів здійснюється дистанційно шляхом регулювання подачі поверхневого насосного агрегата.

Регулювання режиму роботи ежекційної системи визначається переміщенням робочої точки насосної установки по напірній характеристиці струминного насоса (рис. 2). Кожній робочій точці насосної установки відповідає окрема характеристика гідравлічної системи, яка отримується шляхом фіксованої зміни величини робочої витрати струминного насоса. Рівняння власної характеристики струминного

насоса (крива H на рисунку 2) визначається із використанням закону збереження кількості руху рідини в камері змішування струминного насоса [8], а рівняння гідравлічної характеристики (криві 1 – 5 на рисунку 2) – із застосуванням співвідношення тисків в характерних перерізах ежекційної системи

$$h = \frac{P_3 - P_i}{P_p - P_i}, \quad (9)$$

де P_3 , P_i , P_p – значення тисків відповідно змішаного, інжектowanego та робочого потоків.

Для аналізу впливу робочої витрати на характеристику ежекційної системи використовуємо такі стандартизовані значення подачі триплунжерного насоса фірми Кове: $Q_{p1}=105$ м³/доб. (1,215 л/с); $Q_{p2}=112$ м³/доб. (1,296 л/с); $Q_{p3}=125$ м³/доб. (1,447 л/с); $Q_{p4}=140$ м³/доб. (1,62 л/с); $Q_{p5}=158$ м³/доб. (1,829 л/с). Наведені значення витрат робочого потоку підставляємо в рівняння характеристики гідравлічної системи і будуємо серію кривих в координатах $h-i$ (рис. 2). Зростання витрати робочого потоку зміщує робочу точку насосної установки в напрямку збільшення напорів (рис. 2).

Координати положень робочої точки насосної установки можуть бути представлені у вигляді залежностей напору $h=f(Q_p)$, коефіціє-

а) залежність напору h , коефіцієнта інжекції i та ККД η струминного насоса від витрати робочого потоку; б) залежність дебіту свердловини від витрати робочого потоку

Рисунок 3 – Регулювання режиму роботи насосної установки зміною робочої витрати

ента інжекції $i = f(Q_p)$ та ККД $\eta = f(Q_p)$, від витрати робочого потоку (рис. 3, а).

Для розрахунку ККД використано рівняння, яке зв'язує відносні режимні параметри струминного насоса $\eta = hi/(1-h)$. Враховуючи загальноприйняте визначення коефіцієнта інжекції, розраховано також дебіт свердловини $Q_i = Q_p i$ (рис. 3 б).

Аналіз отриманих характеристик вказує на прямопропорційний вплив витрати робочого потоку на величину коефіцієнта інжекції, ККД та дебіт свердловини та оберненопропорційний вплив на відносний напір струминного насоса.

Зміна геометричного параметра струминного насоса передбачає заміну деталей його проточної частини, тому даний спосіб регулювання режиму роботи ежекційної системи зумовлює використання канатної техніки або проведення спуско-підймальних операцій. Нове покоління свердловинних струминних насосів, однак, допускає заміну його елементів гідравлічним способом без підймання колони труб. Даний спосіб регулювання передбачає отримання нового положення робочої точки насосної установки шляхом зміни напірної характеристики струминного насоса.

Кожній напірній характеристиці струминного насоса відповідає окрема робоча точка насосної установки.

Серію кривих, які відповідають напірним характеристикам струминного насоса, отримуємо шляхом підстановки в рівняння власної характеристики струминного насоса [8] фіксованих значень геометричного параметра $K_{сн}$.

Зміна геометричного параметра викликає переміщення робочої точки насосної установки (точки $A_1 \dots A_5$) за характеристикою гідравлічної системи струминного насоса.

Висновки

1. Значна відстань між струминним насосом та оператором ускладнює контроль та регулювання режиму його роботи, внаслідок чого зменшується ефективність використання свердловинної ежекційної системи.

2. Встановлено взаємозв'язок між густиною і витратою змішаного потоку та режимними параметрами свердловинного нафтового струминного насоса у вигляді нелінійних залежностей, які дають змогу здійснювати дистанційний контроль за величиною витрати потоку у привибійному контурі циркуляції. В процесі моделювання гідравлічних зв'язків між елемен-

1 – $K_{ch}=2,0$; 2 – $K_{ch}=2,25$; 3 – $K_{ch}=2,5$; 4 – $K_{ch}=2,75$; 5 – $K_{ch}=3,0$

Рисунок 4 – Регулювання режиму роботи струминного насоса шляхом зміни основного геометричного параметра K_{ch}

тами ежекційної системи побудовано бінарну діаграму у вигляді двох суміщених квадрантів, яка відображає встановлені закономірності між параметрами змішаного потоку на виході зі свердловини та режимом роботи струминного насоса.

3. Запропоновано дистанційні способи регулювання режиму роботи свердловинної ежекційної системи шляхом зміни витрати робочого потоку, який спрямовується в свердловину наземним насосним агрегатом, та зміною геометричних розмірів деталей проточної частини струминного насоса.

Комплексне використання методів контролю та регулювання режиму роботи насосної установки дозволяє підвищити ефективність процесу нафтовилучення.

Завдання подальших досліджень полягає в експериментальній апробації та автоматизації запропонованих методів контролю та регулювання режиму роботи нафтового струминного насоса.

Література

1. Паневник А.В., Концур И.Ф., Паневник Д.А. Определение эксплуатационных параметров наддольной эжекторной компоновки. *Нефтяное хозяйство*. 2018. № 3. С. 70-73.

2. Kryzhanivskiy Ye.I., Panevnyk D.O. The study on the flows kinematics in the jet pump's mixing chamber. *Науковий вісник НГУ*. 2019. №1. С. 62-68.

3. Мищенко И.Т., Миронов С.Д. Определение необходимого давления перед соплом струйного насоса при его работе в скважине. *Нефтепромышленное дело*. 1978. № 12. С. 18-21.

4. Паневник О.В. Контроль та регулювання режиму роботи свердловинних струминних насосів. Івано-Франківськ: Нова Зоря, 2007. 140 с.

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

6. Бочаров Г.В., Бахищев В.Ю., Кульпин Л.Г., Шановский Я.В. Интерпретация переходных процессов при освоении скважин эжекторными установками для оценки параметров системы пласт-скважина. *Нефтепромышленное дело*. 2002. № 8. С. 14-17.

7. Паневник О.В., Концур И.Ф., Паневник Д.О. Обґрунтування методу контролю характеристик свердловинного струминного насоса. *Нафтогазова галузь України*. 2018. № 1. С. 24-26.

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

References

1. Panevnik A.V., Koncur I.F., Panevnik D.A. Opredelenie ekspluatatsionnyh parametrov naddolotnoj ezhektornoj komponovki. *Neftyanoe hozyajstvo*. 2018. No 3. P. 70-73. [in Russian].
2. Kryzhanivskiy Ye.I., Panevnyk D.O. The study on the flows kinematics in the jet pump's mixing chamber. *Naukovij visnik NGU*. 2019. No 1. P. 62-68.
3. Mishenko I.T., Mironov S.D. Opredelenie neobhodimogo davleniya pered soplom strujnogo nasosa pri ego rabote v skvazhine. *Neftepromyslovoe delo*. 1978. No 12. P. 18-21. [in Russian].
4. Panevnik O.V. Kontrol ta reguluvannya rezhimu roboti sverdlovinnih struminnih nasosiv. Ivano-Frankivsk: Nova Zorya, 2007. 140 p. [in Ukrainian].
5. Khelifa B., Fraser K., Pug T. Subsea hydraulic jet pump optimizes well development offshore Tunisia. *World Oil*. 2015. No 11. P. 71-76. [in Russian].
6. Bocharov G.V., Bahishev V.Yu., Kulpin L.G., Shanovskij Ya.V. Interpretaciya perehodnyh processov pri osvoenii skvazhin ezhektornymi ustanovkami dlya ocenki parametrov sistemy plast-skvazhina. *Neftepromyslovoe delo*. 2002. No 8. P. 14-17. [in Russian].
7. Panevnik O.V., Koncur I.F., Panevnik D.O. Obgruntuvannya metodu kontrolyu karakteristik sverdlovinnogo struminnogo nasosa. *Naftogazova galuz Ukraini*. 2018. No 1. P. 24-26. [in Ukrainian].
8. Sokolov E.Ya. Zinger N.M. Strujnye apparaty. M.: Energoatomizdat, 1989. 352 p. [in Russian].