

УДК: 621.67

О.В. Ратушний

Сумський державний університет

**МУЛЬТИФАЗНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИДОБУТКУ НАФТИ ТА НАСОСНЕ ОБЛАДНАННЯ
ДЛЯ НЕЇ**

«Директива ЄС щодо визначення вимог, що пред'являються до проектування виробів, які споживають електроенергію», висуває вимогу скорочення споживання енергії в Європі до 2020 р на 40%, її реалізація в області нафтовидобутку ґрунтується на новій світовій тенденції - переході на більш ефективну так звану «мультифазну» технологію видобутку нафти. Вона включає в себе не тільки принципово іншу схему видобутку і перекачування нафти, але і створення нових типів насосів, раціональний вибір привода, ефективне використання побічних продуктів видобутку нафти. Для України, що має розвинені насособудівну та нафтовидобувну галузі актуальною постає задача впровадження такої мультифазної технології та розробка відповідного насосного обладнання.

Ключові слова: геліко-осьовий насос, мультифазна суміш, однотрубна технологія видобутку нафти

А.В. Ратушний**МУЛЬТИФАЗНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ НЕФТИ И НАСОСНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ НЕЁ**

«Директива ЕС по определению требований, предъявляемых к проектированию изделий, потребляющих электроэнергию», выдвигает требование сокращения потребления энергии в Европе к 2020 г. на 40%. Ее реализация в области нефтедобычи основывается на новой мировой тенденции - переходе на более эффективную так называемую «мультифазную» технологию добычи нефти. Она включает в себя не только принципиально другую схему добычи и перекачки нефти, но и создание новых типов насосов, рациональный выбор привода, эффективное использование побочных продуктов добычи нефти. Для Украины, которая имеет развитые насосостроительную и нефтедобывающую отрасли стоит актуальная задача внедрения такой мультифазной технологии и разработка соответствующего насосного оборудования.

Ключевые слова: гелико-осевой насос, мультифазная смесь, однотрубная технология добычи нефти

A. Ratushnyi**MULTIPHASE TECHNOLOGY OF OIL PRODUCTION AND PUMPING EQUIPMENT**

The EU Directive on determining the requirements for the design of products consuming electricity", calls for a reduction of energy consumption in Europe by 2020 by 40%. Its implementation in the field of oil production is based on a new world trend - the transition to a more efficient so-called "multiphase" oil production technology. It includes not only a fundamentally different scheme of oil production and pumping, but also the creation of new types of pumps, the rational choice of the drive, the efficient use of by-products of oil production. For Ukraine, which has a developed pumping and oil producing industry, there is an urgent task of introducing such a multiphase technology and developing appropriate pumping equipment.

Keywords: helical-axial pump, multiphase mixture, single-tube oil production technology

Вступ. Нафтова суміш із свердловини являється мультифазним середовищем, що складається із нафти, пластової води, попутного газу та твердих включень (рис. 1). Тому процес видобутку такої суміші є проблемним, так як дійсні робочі умови на родовищі міняються з плином його життя і можуть не відповідати розрахунковим, прогнози про тиск і потік відрізняються великою мірою невизначеності [1].

В процесі експлуатації родовища дані про його продуктивність (витрата нафти, конденсату, води, газу, тиск, температура та ін.) будуть змінюватися. Ці зміни зв'язані в першу чергу з природнім виснаженням пласта. До того ж, на кожному конкретному родовищі в процесі видобутку часто виникають так звані середні по часу зміни, пов'язані з відхиленням від робочих умов експлуатації (пуск, зупинка, перевірка свердловин та ін.).

Тому галузі промисловості, які зв'язані з видобутком, переміщенням та переробкою газонасичених суспензій (нафтовидобувна та нафтопереробна), потребують створення спеціального насосного устаткування, здатного ефективно перекачувати продукти з високим рівнем газу в перекачуваній суміші. При цьому основними експлуатаційними вимогами до даного насосного устаткування є:

- а) граничний вміст газу в перекачуваній суміші;
- б) економічність;
- в) масогабаритні показники.

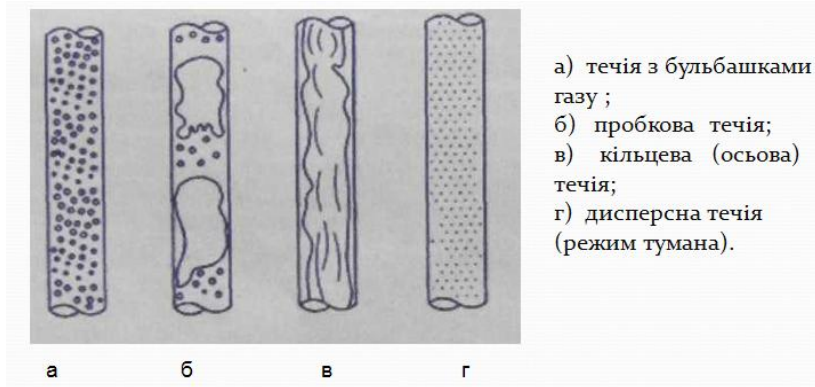


Рис. 1. Структура мультифазної суміші

Постановка проблеми. Технології видобутку нафти. Традиційною є схема облаштування нафтогазових родовищ, яка включає сепаратори першої ступені, на які від кушів свердловин поступає мультифазна суміш (нафта, пластова вода, тверді включення та попутний газ) [2]. Нафта із сепараторів перекачується відцентровими насосами на центральний пункт збору і підготовки нафти до транспортування, пластова вода виливається у природу, а попутний газ спалюється у факелах, що є небезпечно для атмосфери і не економічно для держави (рис. 2). Ця схема не є вигідною, тому що:

- а) газ, який би міг бути направлений на переробку до газопереробних заводів, спалюється;
- б) використовуються відцентрові насоси, які мають доволі велику масу та габарити; високу вартість обладнання, обслуговування і ремонту; низький наробіток на відмову; недостатній інтервал робочих характеристик;
- в) пластова вода, яка могла б бути закачана у свердловину для підтримки тиску або відфільтрована і використана у промисловості, виливається;
- г) необхідність наявності спеціального обладнання для поділу компонентів мультифазною середовища і перекачування їх до центрального пункту обробки по окремих трубопроводах.

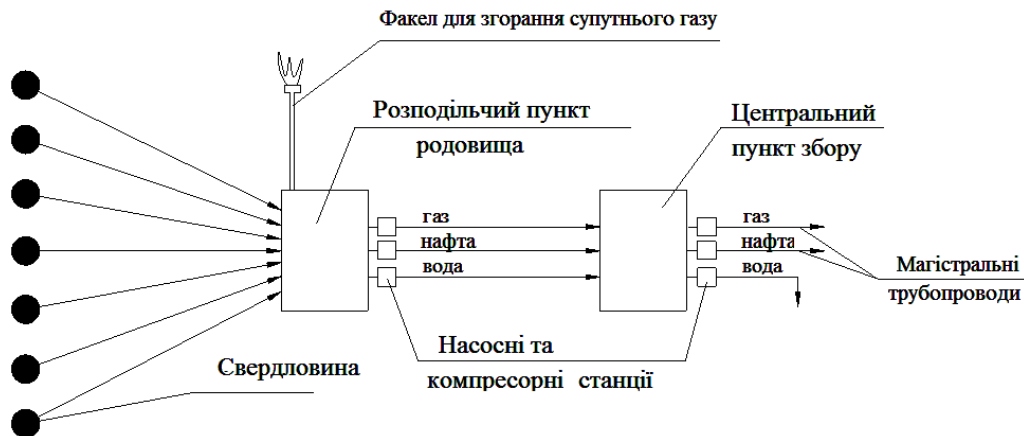


Рис. 2. Багатотрубна технологія видобутку нафти

В ЄС вже широко застосовуються мультифазні технології перекачування нафтогазової суміші (рис. 3), які дозволяють транспортувати її по одному трубопроводу від кушових майданчиків родовищ до центрального пункту збору, в якому вже відбуватиметься розділ суміші на складові (нафту, газ, воду). Серед переваг такої технології виділяють:

- а) значне скорочення кількості технологічного обладнання на родовищі (прокладка одного трубопроводу, відсутність компресорів, однофазних насосів, сепараторів, водовідділювачів, охолоджувачів);
- б) транспортування газорідної суміші по одному трубопроводу;
- в) основний економічний ефект застосування мультифазних насосів зв'язаний з перш за все з пониженням тиску на виході зі свердловини, що призводить до підвищення продуктивності;

- г) пониження впливу на довколишнє середовище, ефективне використання попутного газу, відсутність факела;
- д) ефективна розробка віддалених нафтових родовищ, на яких немає можливості обладнання родовища традиційним способом;
- е) установка мультифазних насосів на свердловинах, в яких застосовані занурювані насоси, підвищує термін експлуатації занурюваних насосів
- ж) підвищення безпеки;
- з) можливість перекачувати газові пробки;
- і) раціональне використання попутного газу та пластової води;
- к) рентабельна експлуатація віддалених та застарілих, виснажених родовищ, експлуатація яких не вигідна при використанні традиційної технології видобутку.

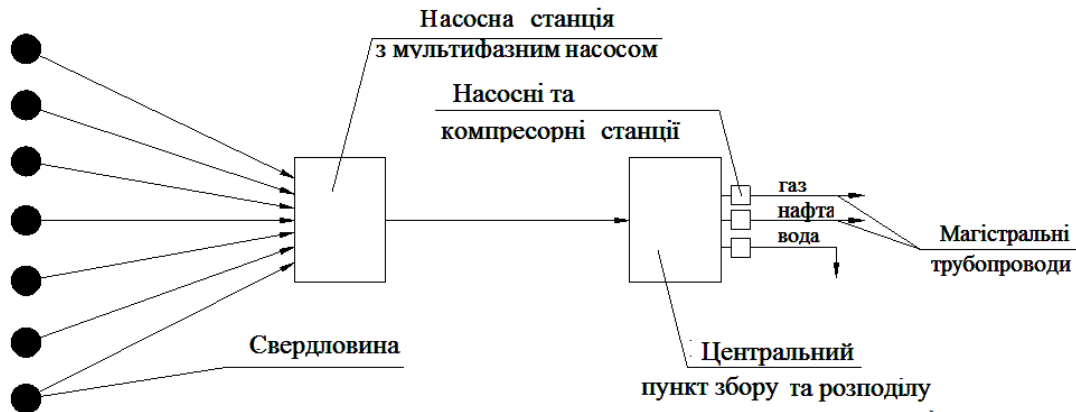


Рис. 3. Однострубна (мультифазна) технологія видобутку нафти

Як свідчить світова практика, однострубна (мультифазну) технологія видобутку нафти є найбільш економічно доцільною у порівнянні з поширеною багатотрубною технологією [3].

Мета та задачі дослідження. Таким чином можна сформулювати актуальну проблему сьогодення – дослідження перспектив впровадження мультифазної технології видобутку нафти та розробку ефективного насосного обладнання для неї. Для її вирішення необхідно:

- оцінити перспективи використання існуючого насосного обладнання для даної технології;
- на основі європейського досвіду запропонувати конструкцію насоса для мультифазної технології видобутку нафти, який може бути вироблений вітчизняною промисловістю.

Методологія дослідження. Застосовуються загальнонаукові методи – статистичний аналіз, гіпотетико-дедуктивний, індукції, аналогії, наукова інтерпретація [4].

Викладення основного матеріалу. Насоси для мультифазної технології видобутку нафти. Широкому впровадженню однострубною технології поки що заважає відсутність добре відпрацьованих і високоефективних насосів, які могли б при помірній ціні і достатній ресурсі роботи перекачувати багатфазну суміш при постійній зміні концентрації фаз (особливо газу - в окремих випадках від 0% до 100%), щільності суміші рсм, тиску на вході в насос і режимів роботи з масового або в об'ємній витраті Q .

На теперішній час для мультифазної технології використовуються три типи насосів (рис. 4):

- гвинтові;
- роторно-вихрові;
- геліко-осьові.

У галузі нафтовидобування широко використовуються гвинтові насоси (як правило, двогвинтові, без твердого контакту між поверхнями гвинтів) [5]. Головною особливістю цих насосів є об'ємний принцип робочого процесу із притаманними йому перевагами і недоліками, жорсткою напірною характеристикою, методами регулювання і підвищеною чутливістю до наявності твердих абразивних включень, а також підвищеною вартістю виготовлення і ремонту.

Параметри гвинтових насосів, що використовуються у галузі нафтовидобутку наведені у таблиці 1.



Рис. 4. Насоси для (мультифазної) технології видобутку нафти

Таблиця 1

| | | | |
|--------------------------|------------------------------|------------------------|-------------|
| Подача | 16 -320 м ³ /год. | Тиск на вході | 2,5 МПа |
| Напір | до 100 м | ККД | 50 – 60 % |
| Частота обертання | 500 – 1500 об./хв. | Вміст газу | до 90 % |
| Потужність | 37 – 400 кВт | Середній ресурс | 10 000 год. |

Роторно-вихрові насоси, згідно з окремими свідченнями [6], також здатні перекачувати мультифазну суміш. Але досвід їх експлуатації в умовах однострубною технології видобування нафти поки що недостатній і публікації досить обмежені. Принципово їх можна розглядати як проміжні насоси, що стоять між насосами об'ємного і лопатевого типу. Вони мають досить привабливі робочі характеристики, що створюють можливості для вирішення кардинальних проблем у галузі нафтовидобутку.

Конструкція РВН представляє собою тороїдальну робочу камеру, яка створена суцільнолитими ротором і статором, що виконані із зносостійкого матеріалу з плоско паралельними поверхнями контакту. Однією із головних властивостей роторно-вихрового насосу є його висока напірність. Головним недоліком роторно-вихрових насосів є їх не досить високий ККД (40-44%), хоча він і вищий, ніж у лопатевих насосів з такою ж низькою швидкохідністю.

Параметри гвинтових насосів, що використовуються у галузі нафтовидобутку наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

| | | | |
|--------------------------|----------------------------|------------------------|-------------|
| Подача | 5-100 м ³ /год. | Тиск на вході | 2,5 МПа |
| Напір | до 4500 м | ККД | 40 – 44 % |
| Частота обертання | 2910 об./хв. | Вміст газу | до 60 % |
| Потужність | 55 – 950 кВт | Середній ресурс | 20 000 год. |

Геліко-осьові насоси випускаються німецькою фірмою Sulzer Pumps [7]. В цих насосах кожна ступень складається з гвинтово-осьового робочого колеса і нерухомого направляючого апарату (рис. 5). Профіль відкритого робочого колеса спроектований так, щоб запобігти розділенню мультифазної суміші під час процесу стиснення. Проточна частина також спроектована так, щоб запобігти накопичення твердих включень в корпусі насоса.

Насос представляє собою горизонтальний (інколи вертикальний) багато секційний насос, в якому кожна ступінь (або компресійна камера – за термінологією авторів) складається із гвинтового осевого колеса, що обертається, і нерухомого направляючого апарату. При цьому невідомо, гвинтове осеве колесо є шнекового типу ($\beta_1 = \beta_2$) чи профільованого лопатевого типу ($\beta_1 < \beta_2$). Невідомі також і всі інші важливі геометричні співвідношення для таких робочих органів

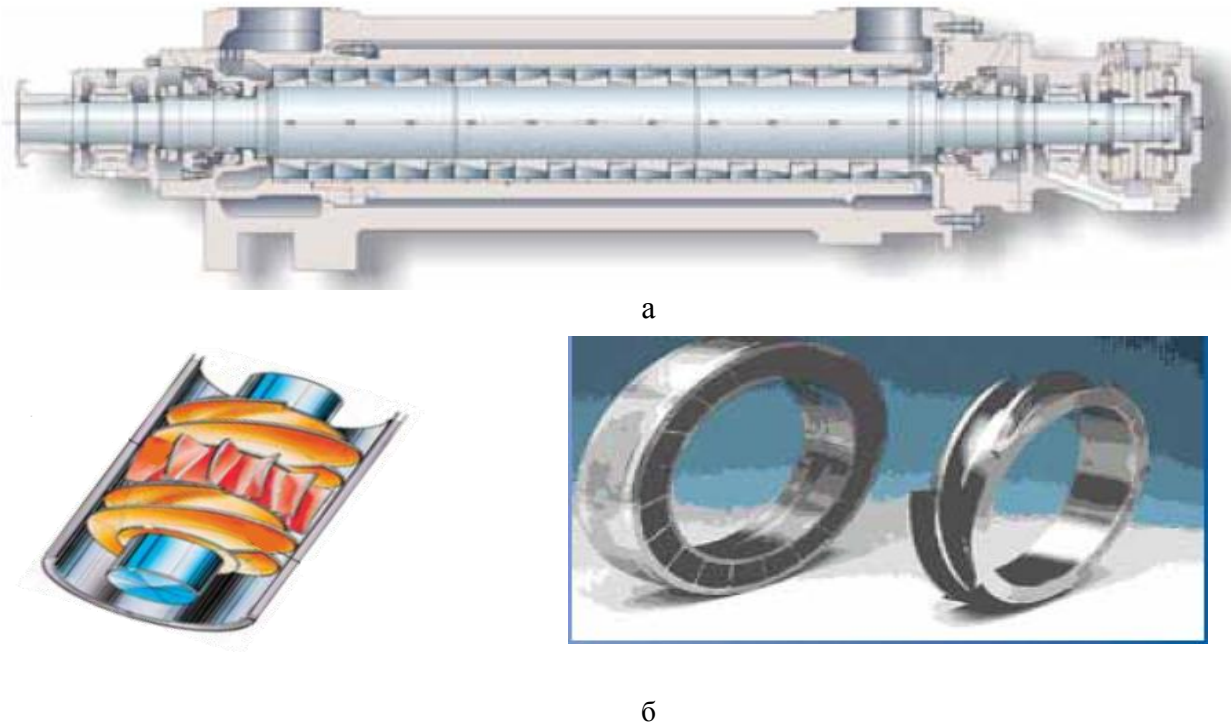


Рис. 5. Геліко-осьовий насос типу MPP фірми Sulzer Pumps (а) та його ступінь (б)

Практика зарубіжної експлуатації таких насосів переконливо показала їх наступні переваги:

- здатність працювати при будь-якій величині газової фракції від 0 до 100 %;
- гідравлічна гнучкість, тобто самоадаптація до змін течії;
- механічна простота і надійність (один вал, ротодинамічний принцип);
- компактність;
- значно менша чутливість до твердих часточок (осеве колесо відкритого типу, відсутність невеликих зазорів).

У таблиці 3 наведено параметри гвинтових насосів, що використовуються у галузі нафтовидобутку. Порівнюючи їх та дані таблиць параметрів попередніх насосів, можна зробити висновок, що по всім параметрам геліко-осьовий насос виграє у двогвинтового та роторно-вихрового насосів. Тому розробка та використання насосів такого типу для організації мультифазної технології видобутку нафти в Україні і для виходу на закордонний ринок, є задачею актуальною і економічно доцільною.

Таблиця 3

| | | | |
|--------------------------|-------------------------------|------------------------|-------------|
| Подача | 146-6600 м ³ /год. | Тиск на вході | 12,6 МПа |
| Напір | до 2000 м | ККД | 70 – 90 % |
| Частота обертання | До 9000 об./хв. | Вміст газу | до 100 % |
| Потужність | 400 – 6000 кВт | Середній ресурс | 28 000 год. |

Виходячи з актуальності використання мультифазної технології видобутку нафти на кафедрі Прикладної гідроаеромеханіки СумДУ почалися розробки насосу геліко-осьового типу.

Виходячи з обмеженої інформації відносно особливостей конструкції в першу чергу проточної частини геліко-осьових насосів, що вже випускаються у світі, при розробці насосу у СумДУ були використані загальні підходи до розрахунків робочого процесу лопатевої гідромашини [8,9], а також деякі рекомендації по проектуванню осерадіальних насосів [10], осевихрового [11] та шнеко-відцентрового ступенів [12,13].

Крім того, було прийнято рішення максимально використати як готові і відпрацьовані вузли кінцевих ущільнень, підшипникових вузлів і розвантаження осьових сил вітчизняного насосу ЦНС 630-1700. З метою підвищення ККД ступені і її напірності робоче колесо проектувалось не як шнекове, а з профільованими лопатями з $(\beta_1 \langle \beta_2)$, що передбачає виготовлення робочого колеса із ливарної заготовки, що при зазначених розмірах колеса можна вважати прийнятним.

В цілому ж насос, спроектований при таких підходах, слід розглядати як один із можливих варіантів, найбільш наближених до вітчизняних промислових можливостей. Були прийняті наступні розрахункові параметри насоса: $Q=600$ м³/год., $H=300$ м, $n=3000$ об./хв. Оцінка ККД насоса дозволила прийняти $\eta = 0,92$. Зазначемо, що ця величина знаходиться на рівні ККД насосів фірми Sulzer Pumps (за доступною інформацією, їх ККД дорівнює 85-93%).

На думку автора, необхідно зосередити увагу на принципах вибору приводного двигуна, а саме перспективах застосування газопоршневих двигунів. Згідно досвіду виробництва і експлуатації насосних агрегатів відомо, що для більшості насосів найпростішим, доцільним та економічно актуальним варіантом приводу є електродвигуни. Але для віддалених промислів необхідна особиста електростанція, так як потрібна для насосного агрегату потужність не може бути реалізована шляхом складання потужностей окремих джерел, а повинна бути забезпечена одним джерелом з необхідним енергетичним запасом. А це ускладнює і удорожчує вартість облаштування і експлуатації промислу.

Тому для вирішення даної проблеми доцільніше замінити електричний двигун на газопоршневий, для якого в якості пального використовується попутний газ, що в даному випадку є більш економічним, ефективним, сприятливим для навколишнього середовища і універсальним в використанні палива, ніж використання електроприводу.

В останній час все більш очевидні переваги і перспективи застосування газопоршневих двигунів. Актуальність цього напрямку обумовлена лібералізацією енергетичного ринку, високими витратами на підключення електродвигунів і кризою в експлуатації систем централізованого енергопостачання. В цих умовах реальним шляхом підвищення ефективності виробництва являється розвиток локальних автономних децентралізованих джерел виробництва на базі газопоршневих двигунів, незаперечними перевагами якого являються:

- використання попутного газу, який не потрібно ні сжижувати, ні висушувати, в якості палива

- високий ККД в діапазоні потужності до 3 МВт;
- пристосованість до роботи на частковому навантаженні;
- менш піддані впливу високої температури навколишнього середовища;
- повна незалежність від регіональних енергоносіїв, а отже, і від росту тарифів;
- надійність;
- відсутність затрат на побудову підвідних і розподільних систем.

- Порівняємо газопоршневий двигун з електричним. Як уже було зазначено вище, на сьогоднішній день електродвигуни являються найпоширенішими видами приводів насосів. До переваг електродвигунів відносяться:

- простота конструкції;
- малі габаритні розміри.
- До недоліків відносяться:
- необхідність побудови підвідних кабельних ліній електропостачання або побудови місцевої електростанції, якщо побудова підвідних кабельних ліній є недоцільною;

- висока вартість електроенергії;
- висока напруга;
- дорога система регулювання через частотний перетворювач;
- при великих потужностях (більше 300-400 кВт) проблемі з частотним перетворювачем;
- складності при експлуатації станції від декількох автономних джерел електропостачання, що не дозволяє використовувати приводи великих потужностей.

Таким чином:

вартість капітальних вкладень в газопоршневий двигун менша (з урахуванням побудови підвідних кабельних ліній електропостачання або місцевої електростанції);
вартість експлуатації на попутному газі на порядок дешевше, ніж на електриці;
експлуатація електродвигуна великої потужності робиться майже неможливою.
На рисунку 6 зображено схему проточної частини ступеню геліко-осьового насоса.

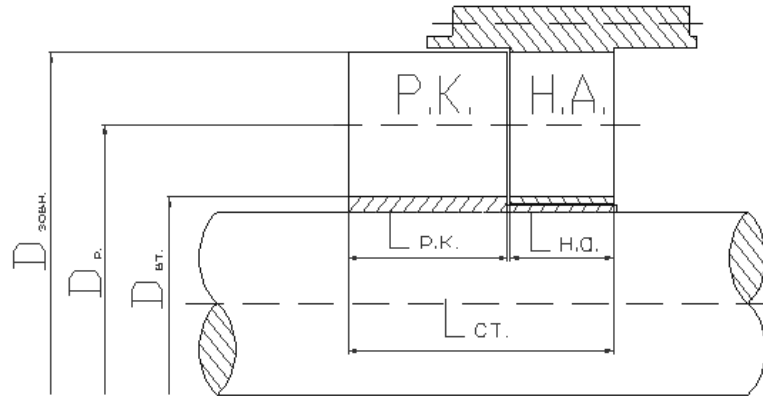


Рис. 6. Схема проточної частини

На рисунку 7 наведено конструкцію п'ятиступеневого геліко-осьового насоса, розробленого на кафедрі Прикладної гідроаеромеханіки Сумського державного університету.

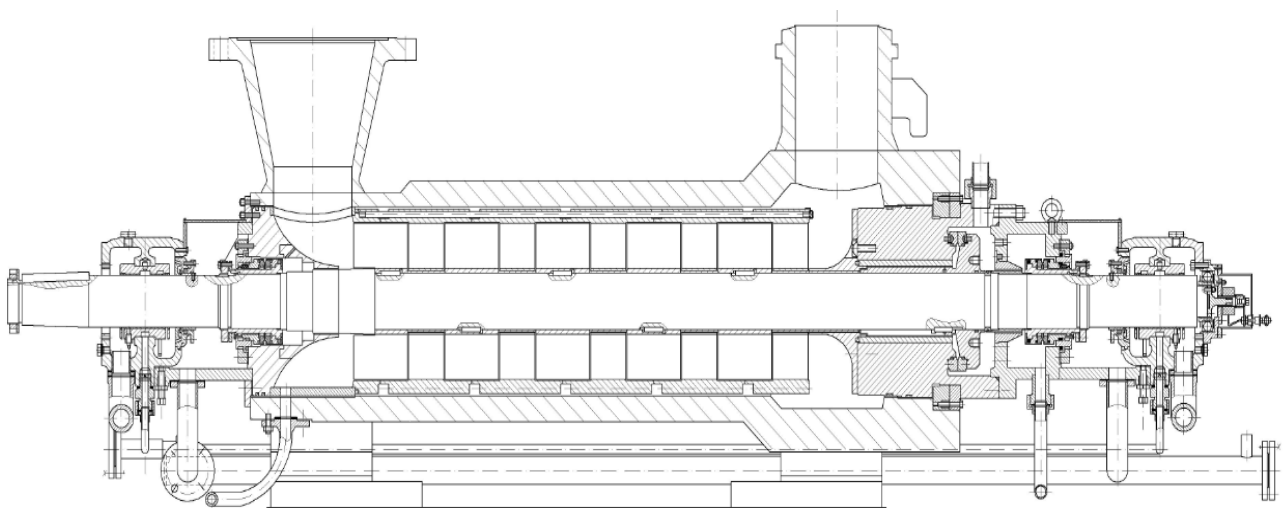


Рис. 7. Геліко-осьовий насос, розроблений на кафедрі ПГМ СумДУ

Виконане економічне обґрунтування щодо можливості випуску геліко-осьового насосу представленої конструкції дозволило визначати його орієнтовну ціну – 2 млн. 153 тис. гривень.

Висновки. На основі виконаних досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Мультифазна технологія видобутку нафти, без сумніву, на сьогоднішній день являється найефективнішою і прогресивною, що підтверджується обширним закордонним досвідом.

2. В державах ЄС розроблений цілий ряд насосів для даної технології (двогвинтових та роторно-вихрових). Однак ці насоси мають ряд недоліків, що не дозволяє ефективно експлуатувати їх.

3. Нові геліко-осьові насоси позбавлені недоліків двогвинтових та роторно-вихрових насосів та мають ряд переваг, що дозволяє ефективно використовувати їх для організації однотрубною технології. Тому розробка даного насоса може дозволити вивести Україну на світовий ринок мультифазного обладнання для організації однотрубною технології видобутку нафти. Використання газопоршневого приводу дозволить зробити насосний агрегат більш ефективним у експлуатації, ніж використання електродвигуна.

Список використаних джерел:

1. Химия нефти и газа: учеб. пос. / Под ред.: В.А. Проскурякова, А.Е. Драбкина. – Л. : Химия, 1981. – 360 с.
2. Альбом технологических схем процессов переработки нефти и газа учеб. пос. / Под ред. Б.И. Бондаренко. – М. : Химия, 1983. – 128 с.
3. Esorintp.ru'2009: Тезисы докладов международной научно-технической конференции. – М: Изво РАПН, 2009 – 458 с.
4. Лебедев, С.А. Методология научного познания: монография / С.А. Лебедев. – М.: Проспект. – 2017. – 256 с.
5. Башта, Т. М. Объёмные насосы и гидравлические двигатели гидросистем : учебник / Т. М. Башта. – М. : Машиностроение, 1974. – 606 с.
6. СИНТ'09: материалы V международной конференции. – Воронеж: Научная книга, 2009. – 356 с.
7. <https://www.sulzer.com/>
8. Ломакин, А. А. Центробежные и осевые насосы / А. А. Ломакин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.-Л. : Машиностроение, 1966. – 364 с.
9. Старицкий В.Г. Выбор основных параметров осевого насоса. – Гидромашины. – М. – Л.: Машиностроение, 1964. – 434 с.
10. Валухов С.Г., Демьяненко Ю.В., Петров В.И. Высокооборотные лопастные оседиагональные насосы: Теория, расчёт характеристик, проектирование и изготовление. – Воронеж: Издательство Воронежского государственного университета, 1996. – 264 с.
11. Анкудинов А.А. Учебное пособие. Расчёт и проектирование предвключённой осевихревой ступени центробежного насоса. – М.: Изд-во МГТУ им. М.Э. Баумана, 2003. – 64 с.
12. Руднев С.С., Байбаков О.В. и др. Методическое пособие по расчёту шнеко-центробежной ступени насоса. – М.: Изд-во МВТУ им. М.Э. Баумана, 1974. – 64 с.
13. Методические указания к курсовому и дипломному проектированию «Шнеко-центробежная ступень насоса» для студентов специальности 12.11 дневной и заочной форм обучения / Сост. Ржебаева Н.К., Жуков В.М., Куценко В.А. – Кафедра гидравлических машин Сумского филиала, Харьков, ХПИ, 1990.

Рецензенти:

Ковальов І.О., к.т.н, професор, завідувач кафедри Прикладної гідроаеромеханіки СумДУ
Лугова С.О., к.т.н., завідувач віддуду проточних частин ПАТ «ВНДІАЕН», Суми.

Стаття надійшла до редакції 23.03.2018