

УДК 621.928.37

doi:10.20998/2413-4295.2020.04.18

ОЧИЩЕННЯ НАФТОПРОМИСЛОВИХ СТІЧНИХ ВОД

В. Ф. МОЇСЄВ¹, Є. В. МАНОЙЛО¹, О. О. ЛЯПОЩЕНКО², СЕЙФ ХУССЕЙН²¹ каф. ХТПЕ, НТУ «ХПІ», Харків, УКРАЇНА² каф. процеси та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв, СДУ, Суми, УКРАЇНА
e-mail: bublikova1@gmail.com

АНОТАЦІЯ Розроблена установка для очищення нафтопромислових стічних вод. У статті представлено рішення гідроциклонних установок для очищення нафтопромислових стічних вод на основі застосування закручених потоків. За рахунок відцентрових сил в гідроциклоні та турбулентного руху води руйнуються бронюючі оболонки крапель нафти, вони збільшуються, збільшується монодисперсність. Розглянуті сили, що діють у гідроциклоні, наведено оцінку ефективності дії відцентрових сил при відділенні твердих частинок. Дано основні параметри і вимоги до якості нафтопромислових стічних вод, які рекомендовані для розрахунку при розробці нових і вдосконаленні існуючих установок очищення нафтопромислових стічних вод для заводнення нафтових пластів, що дозволяє збільшити нафтовіддачу пластів в 1,5-2 рази. Вдосконалення систем промислової підготовки продукції свердловин включає розробку нових ефективних технічних засобів, у тому числі гідроциклонів, так і вдосконалення традиційно використовуваного обладнання. Гідроциклон може бути використаний в якості основного елемента в системі очищення стічних вод, при умовах, що дотримується режим, при якому не відбувається передиспергування у воді нафти та в нафті води. Таким чином, в апараті реалізується механізм поділу легкої (нафта, газ) і більш важкої фракції (осад, вода, нафта). Для захисту навколишнього середовища від забруднення пластівими водами необхідно проведення наступних заходів: забезпечення глибокого очищення промислових стічних вод; широке застосування антикорозійних покриттів і хімічних реагентів для захисту від корозії нафтовидобувного обладнання; повне використання одержуваних на промислах стічних вод у системі підтримання пластового тиску; контроль за станом поверхневих вод та якістю стічних вод, що використовуються в системі підтримання пластового тиску.

Ключові слова: нафтопромислові стічні води; гідроциклон; поділ; закручений потік; відстійник; коалесценція; очищення води; гідродинамічна обробка; фільтр

OILFIELD WASTEWATER TREATMENT

V. MOISEEV¹, E. MANOILLO¹, A. LIPOSHCHENKO², SEIF HOUSSEIN²¹ Department of Chemical techniques and industrial ecology, NTU «KhPI», Kharkiv, UKRAINE² Department of Processes and Equipment for Chemical and Petroleum Processing Industries, SDU, Sumy, UKRAINE

ABSTRACT Installations for the treatment of oilfield wastewater have been developed. The article presents a solution of hydrocyclone installations for the treatment of oilfield wastewater based on the use of swirling flows. Due to the centrifugal forces in the hydrocyclone and the turbulent movement of water, the armor shells of oil droplets are destroyed, they are enlarged, and the monodispersity increases. The forces acting in the hydrocyclone are considered, and the efficiency of centrifugal forces in separating solid particles is estimated. The main parameters and requirements for the quality of oilfield wastewater are given, recommended for calculation in the development of new and improving existing oilfield wastewater treatment plants for oil reservoir flooding, which allows increasing oil recovery by 1.5-2 times. Improving the systems of field preparation of products includes both the development of new effective technical means, including hydrocyclones, and the improvement of traditionally used equipment. Hydrocyclone can be used as the main element in the wastewater treatment system, provided that the regime is observed, in which there is no over-dispersion of the remaining oil in the water, (water in oil). Thus, the device implements a mechanism for separating light (oil, gas) and heavier fractions (sediment, water, oil). To protect the environment from reservoir water pollution, the following measures are necessary: ensuring deep treatment of oilfield wastewater; extensive use of anti-corrosion coatings and chemical reagents for corrosion protection of oil-producing equipment; full use of waste water obtained in the field in the reservoir pressure maintenance system; monitoring of the state of surface water and the quality of waste water used in the reservoir pressure maintenance system.

Keywords: oilfield wastewater; hydrocyclone; separation; vortex stream; settling tank; coalescence; water treatment; hydrodynamic treatment; filter

Вступ

Нафтогазовидобувна галузь є однією з найбільш екологічно небезпечних галузей надрокористування і завдає величезної шкоди навколишньому середовищу. Вона відрізняється

великою енергоємністю і значним забрудненням територій. Охорона надр передбачає здійснення комплексу заходів щодо запобігання втрат нафти і газу, забезпечення безпеки населення, раціонального використання поверхневих і підземних вод, запобігання їх забруднення.

Нафтопродукти і пластові води є основними забруднювачами навколишнього середовища у даній сфері. Винесені на поверхню пластові води змінюють мікрорельєф території і є джерелами вторинного засолення ґрунтів навколо свердловин. Вони володіють високою геохімічною активністю та токсичністю. В їх складі присутні нафтові вуглеводні, різноманітні солі і механічні домішки, які, поглинаються ґрунтом і, потрапляючи у ґрунтові води, різко змінюють їх хімічні і фізико-хімічні властивості – сольовий склад, лужність, реакцію ґрунтових суспензій, ґрунтово-поглинальний комплекс, порушують водно-повітряний режим і вуглецево-азотний баланс.

Екологічні наслідки при розлитті нафти, завжди мають важко прогнозований характер, так як при забрудненні нафтою і нафтопродуктами неможливо врахувати всі екологічні наслідки, які порушують всі природні процеси і взаємозв'язки в доквіллі.

Мета роботи

Метою роботи є збільшення ефективності очищення нафтопромислових стічних вод шляхом їх гідродинамічної обробки у завихрених потоках, та доведенням до потрібних технологічних характеристик при закачуванні у систему підвищення тиску пластів на нафтопромислі.

Виклад основного матеріалу

У надрах нафтового родовища попутно з нафтою і газом присутня пластова вода. Під терміном «пластові води» (англ. Formation water; нім. Lagerstättenwasser, Flozwasser; франц. eaux de formation) розуміють підземні води, циркулюючі в пластах гірських порід.

Виходячи з [1,2] видно, що в покладах нафти і газу розподіл рідин відбувається за їх щільності. Верхню частину покладу займає вільний газ, трохи нижче залягає нафта, а самий нижній шар покладу – пластова вода, яка у своєму роді підпирає пласт нафти. У природі мінералізована пластова вода в покладах знаходиться не тільки в водній зоні, але і в інших шарах, тим самим насичуючи продуктивні шари. Іноді спостерігається надходження води в свердловини при її розробці з водоносних пластів, розташованих по всій глибині свердловини.

На нафтових родовищах у процесі видобутку нафти, добуті пластові води відокремлюються від нафти на установках підготовки нафти (УПН) і являють собою рідкі відходи із вмістом нафти. Пластові води (80 – 95 %), зливові (дощові стоки) (1 – 3 %) і виробничі стоки (4 – 15 %) утворюють нафтопромислові стічні води (НСВ). Нафта в НСВ знаходиться в розчиненому, емульсованому і вільному (плаваючому) станах. Крім нафти в НСВ містяться механічні домішки (порода, продукти

корозії, деемульгатори) і розчинені гази (азот, сірководень, метан, кисень). При очищенні НСВ видаляються механічні домішки (завислі речовини), плаваюча і емульгована нафта і речовини, застосовувані в технології видобутку нафти зі свердловини. Розчинена нафта практично не робить якого-небудь впливу на прийомні властивості нагнітальних свердловин.

Останнім часом при розробці свердловин застосовують технологію закачування видобутої води в свердловину для підтримки тиску. Більше 90 % НСВ використовується для заводнення нафтових пластів. Заводнення нафтових пластів дозволяє збільшити нафтовіддачу в 1,5 - 2 рази [3].

Існуюча в даний час на нафтопромислах схема закачування стічних вод назад в пласт з додаванням реагентів для підвищення нафтовіддачі, призводить до значної зміни хімічного складу пластових вод, що впливає на стан надр, а також створює загрозу поширення забруднення в інші водоносні горизонти.

У вирішенні цієї проблеми одним з основних завдань є очищення нафтопромислових стічних пластових вод з метою досягнення стійких характеристик природного середовища з допустимими параметрами забруднень, а також можливого вилучення з оборотних вод цінних товарних компонентів. Велика концентрація органічних компонентів дозволяє використовувати пластові води для випуску кормових добавок, харчової кухонної солі, рідини для глушіння нафтових свердловин, йоду, хлористого кальцію та інших солей і рідкісних елементів.

Застосування очищеної стічної пластової води із зниженою мінералізацією для заводнення нафтових колекторів дозволяє в ряді випадків підвищити коефіцієнт вилучення нафти. Це створює передумови для створення на нафтопромислах замкнутої системи водопостачання і веде до раціонального використання природних ресурсів (внаслідок істотного скорочення споживання води поверхневих джерел водопостачання для заводнення пластів), вирішуються проблеми ліквідації НСВ і охорони навколишнього середовища від забруднень на промислах.

Нафтопромислові стічні води мають суспензійно-емульсійний характер. Вони містять значну кількість розчинених мінеральних солей, які можуть переходити в нафтову фазу. Як показують дослідження по мінеральному складу пластових вод, що в основному серед розчинених речовин поширені хлорид натрію, кальцію і магнію. Залежно від родовищ у пластовій воді присутні солі лужних і лужноземельних металів, зокрема йодисті і бромисті, сульфід заліза, натрію, кальцію та інші.

В якості дисперсних фаз стічні води можуть служити крапельки нафти і твердої суспензії, що виносяться з пласта. Добута з надр пластова вода, що знаходиться в емульгованому стані, практично не

містить будь-які забруднення (домішки не перевищують 10 – 20 мг/л).

Після розшарування емульсії на нафту і воду, вміст диспергованих частинок в відокремлюваній воді сильно зростає – нафти до 4 – 5 г/л, механічних домішок до 0,2 г/л. Таке збільшення диспергованих частинок пов'язано зі зниженням міжфазного натягу. У свою чергу, до зниження натягу призводить введення деемульгатора і пептизація шламу з внутрішньої поверхні трубопроводів [1].

Газовміст пластової води не перевищує 1,5 – 2,0 мг/т, зазвичай вона дорівнює 0,2 – 0,5 мг/т. В якості водорозчинних газів в пластовій воді в основному представлені метан, азот, вуглекислий газ, гомологи метану, гелій і аргон [4]. Розчинність газів також залежить від мінералізації, тобто розчинність газів зменшується при збільшенні мінералізації пластової води. Розчинність газів у нафті набагато більше, ніж розчинність газів у воді. Стан бронюючих оболонок на краплях нафти зумовлює методи їх руйнування і очищення НСВ.

Більш чітко всі фізичні властивості визначають по глибинним пробам. При відсутності глибинних проб, дані фізичні властивості визначають за довідниками і графіками.

При добуванні нафти з пласта змінюються властивості і параметри флюїдів, якість пластових вод, стан нафтопромислового обладнання. Після установок підготовки нафти (УПН) нафтопромислові стічні води попередньо очищаються від нафти і механічних домішок і закачуються в нафтовий пласт через нагнітальні свердловини, не порушуючи його приймаючої здатності.

Досі найбільшою проблемою в нафтовій і газовій промисловості залишається очищення пластових вод і НСВ. Їх утилізація є актуальною проблемою для всіх виробничих об'єктів нафтової і газової промисловості. Актуальність пов'язана з тим, що пластові води як агресивний компонент викликає інтенсивну корозію обладнання, супроводжується розливом пластових вод, викликаючи засолення ґрунтового покриву і ґрунтових вод при просочуванні й загибель рослинності. В результаті розливу пластових вод, попутно надходить і деякий обсяг нафти, який може обчислюватися десятками тонн на рік. Пластові води у своєму складі мають багато токсичних компонентів. Так, пластові води крім нафти у своєму складі мають токсичні поліароматичні вуглеводні. Найбільшою активністю серед яких мають бенз(а)пірен та дибензантрацен. Очищення і повторне використання пластових вод є найбільш поширеним методом утилізації пластової води.

Складність очищення НСВ на промислах полягає в тому, що механічні домішки і нафта існують разом, а не окремо. Всі механічні домішки змочені нафтою. На кордоні розділу фаз нафта – вода утворюється висококонцентрована грубодисперсна емульсія проміжного шару, в якій концентрація механічних домішок у багато разів перевищує їх

концентрацію в нафті чи воді. При руйнуванні цього шару в залежності від щільності коагулюючого комплексу у відстійнику буде відбуватися його осадження, або спливання. При закачуванні очищеної води в нагнітальні свердловини домішки, що залишаються у воді після очищення, являють собою емульговані плівки зруйнованих структур проміжних шарів.

Таким чином, НСВ полідисперсні, багатофазні та являють собою суспензійно-емульсійну систему.

Під очищенням стічних пластових вод розуміють обробку пластових вод з метою руйнування або видалення з них шкідливих речовин. У свою чергу, процес очищення стічних мінералізованих пластових вод від забруднюючих речовин являє собою дуже складне виробництво і серйозну проблему. В даному виробництві, як і в будь-якому іншому виробництві, є сировина (мінералізовані пластові води) та готова продукція (очищена вода).

Очищення НСВ здійснюють за допомогою механічних і гідромеханічних процесів: перемішуванням, відстоюванням, центрифугуванням і фільтрацією з метою руйнування бронюючих оболонок на краплях нафти, коалесценції крапель нафти і виведення частково сконцентрованої нафтової фази і осаду (механічні домішки) [5,6]. Для очищення пластових стічних вод у нафтовій промисловості застосовують метод відстою в резервуарах-відстійниках. Але даний спосіб часто не забезпечує необхідну ступінь очищення. Тому в якості обладнання також використовують резервуари з мішалками, відстійники, сепаратори, центрифуги, гідроциклони, краплеутворювачі, флотатори і фільтри.

Для успішного очищення НСВ, тобто для швидкого зниження агрегативної і кінетичної стійкості крапель нафти, що містяться в НСВ, розробляються установки і апарати очищення НСВ, які збільшують ефект, глибину і швидкість процесу очищення [7,8]. За рахунок цього відбувається швидке укрупнення крапель нафти, тобто процес коалесценції – полідисперсна система переходить в монодисперсну.

Ці процеси здійснюються найбільш повно й інтенсивно при попередній турбулізації потоку НСВ в порожнині різних гідродинамічних краплеутворювачів з подальшим відстоюванням. Високий і стабільний ефект очищення НСВ може бути досягнуто за рахунок попередньої гідродинамічної обробки її в закрученому потоці.

З метою ефективного руйнування, зменшення полідисперсності і збільшення монодисперсності крапель нафти створюються установки очищення НСВ за рахунок гідродинамічної обробки стічних вод в закручених потоках. Одним з перспективних напрямів вдосконалення систем очищення води є застосування в них гідроциклонів [5-8].

В гідроциклонах і відстійних камерах відбувається руйнування бронюючих оболонок, роздроблення і коалесценція крапель нафти, тобто збільшення монодисперсності. За рахунок гідродинамічної обробки НСВ у закрученому потоці досягається високий і стабільний ефект очищення НСВ у всіх областях закрученого потоку, тобто розширюється течія закрутки, забезпечується правильне загасання закрученого потоку. Енергія потоку використовується з метою найбільш ефективної реалізації механізму руйнування нафтових емульсій.

Відстійники, побудовані для очищення стічних вод, як правило, не забезпечують необхідного ступеня очищення, не дивлячись на відносно великі габарити (довжина до 7,2 м). Застосування безнапірних гідроциклонів ($D = 2,2$ м), також не призводить до бажаних результатів. Безнапірні гідроциклони [9] успішно застосовуються для очищення водних об'єктів від плаваючого шару нафти у відкритих морських акваторіях, у портах, на поверхні річок, озер поява плаваючого шару нафти як правило пов'язана з аваріями на морському і річковому транспорті, на нафтопромислах і нафтопродуктопроводах, для ліквідації наслідків викидів нафти у водойми і збору нафтопродуктів з метою їх подальшого використання.

Але слід зазначити, що безнапірні гідроциклони призначені тільки для відділення з води нафти, що знаходиться у вигляді плівки або шару на вільній поверхні, тобто вони здійснюють функції збору нафти з поверхні. Виділення з води нафтових крапель в емульгованому стані проводять в циліндричних протитечійних гідроциклонах малого діаметра [8].

Забруднена вода, надходячи в гідроциклон через тангенціальний вхід, отримує обертальний рух. Під дією виникаючої при цьому відцентрової сили, що перевищує силу тяжіння в сотні і тисячі разів, частинки домішок відкидаються в зовнішній низхідний потік, який рухається по спіралі до нижнього розвантажувального отвору.

Використання гідроциклонів в якості ступенів для очищення стічних вод може значно підвищити компактність всієї очисної схеми і полегшити її експлуатацію. Для очищення води від нафти і зважених речовин у залежності від необхідного ступеня очищення застосовуються такі апарати [10]:

- 1) на першій стадії очищення — гідроциклони і відстійники;
- 2) на другій стадії — гідрофільні та гідрофобні фільтри;
- 3) для більш якісного очищення води — коалесцируючі фільтри.

Механізм поділу трифазної системи в гідроциклоні полягає в наступному: тверді частинки під дією відцентрової сили переміщається до стінок гідроциклону і по гвинтовій траєкторії переміщуються вниз до нижнього випускного отвору, через який виводяться з гідроциклону. Ефективність

очищення води від нафти залежить від конструкції гідроциклону і змінюється від 84 до 89 %. Рекомендовані параметри гідроциклону [5]: діаметр циліндричної частини – 75 мм; діаметр впускного отвору – 15 мм; діаметр осевого отвору патрубку – 10 мм; діаметр зливного патрубка – 20 мм; кут конусності – 10 °С; тиск рідини на вході – 0,17 МПа.

Продуктивність гідроциклону визначається за формулою

$$Q = 28,5d_0d\sqrt{P/\alpha^{0,1}} \quad (1)$$

де d_0, d – діаметри живлячої і зливного патрубків; P – тиск на вході в гідроциклон; α – кут конусності.

Гідроциклони порівняно з гравітаційними відстійниками працюють з більшим гідравлічним навантаженням, проте продуктивність їх невелика. Тому їх об'єднують в батареї або застосовують мультициклони.

Розділення рідких суспензій осадженням механічних домішок у відцентровому полі проводять у тих випадках, коли різниця щільності твердої і рідкої фаз позитивна ($\Delta\rho = \rho_m - \rho > 0$). Якщо складна система містить крім рідкої (вода) і твердої фаз легкі плаваючі компоненти (нафта, масла, бульбашки газу), то для такої системи різниця густин рідкої і легкої фаз також позитивна ($\Delta\rho = \rho - \rho_n > 0$). Відцентрова сила створюється або в результаті тангенціального введення суспензії (гідроциклони, вихрові сепаратори), або при розкручуванні рідини, що знаходиться в обертовому роторі (центрифуги).

На частку твердої фази, що знаходиться у відцентровому полі на поточному (вибраний) радіусі r , крім гравітаційної сили $F_g = m_m g$ і архімедової (доцентрової)

$$F_a = m\omega^2 r = \frac{\pi d^3}{6} \rho_m \omega^2 r, \quad (2)$$

діє відцентрова сила

$$F_{au} = m_m \omega^2 r = \frac{\pi d^3}{6} \rho_m \omega^2 r, \quad (3)$$

Тут $m_m = \frac{\pi d^3}{6} \rho_m$ – маса твердої частинки; m – маса рідини; d – діаметр твердих частинок; ω – кутова швидкість обертання частинки.

Причому $\omega^2 r = a_r$ – радіальне прискорення в полі відцентрових сил.

Гравітаційна сила значно менше, ніж відцентрова, що видно зі співвідношення

$$K_p = \frac{F_{au}}{F_g} = \frac{mV_r^2}{r} : mg = \frac{V_r^2}{gr} = \frac{4(\pi m)^2 r}{g}, \quad (4)$$

де K_p – фактор поділу, що характеризує відношення відцентрової сили до гравітаційної; $V_r = 2\pi nr$ – окружна (тангенціальна) швидкість частинки на радіусі обертання r ; n – частота обертання (кількість оборотів) частинки за 1 секунду навколо осі обертання.

При розрахунках систем відцентрового очищення гравітаційною силою зазвичай нехтують. Якщо прийняти, що осаджувана частка обертається з тією ж кутовою швидкістю, що і рідина, то силою Коріоліса (поворотною силою інерції) також можна знехтувати. Опір руху частинки надає сила опору, величина якої визначається (як і при гравітаційному очищенні) за законом Стокса (при ламінарному осадженні, $Re \leq 1,6$; $Ar \leq 6 \cdot 10^4$)

$$F_i = 3\pi d\mu V_r, \quad (5)$$

або за законом Ньютона - Реттінгера (при турбулентному осадженні, $Re \geq 1,6$; $Ar \geq 6 \cdot 10^4$)

$$F_i = \lambda \frac{\pi d^2}{8} V_{r(oc)}^2 \rho_p, \quad (6)$$

де μ – динамічна в'язкість рідини.

Швидкість вільного осадження частинки в рідині знаходять з виразу

$$V_{r(oc)} = \sqrt{\frac{\pi d g \Delta \rho}{6 \psi \rho}}, \quad (7)$$

При ламінарному осадженні

$$V_{r(oc)} = \frac{\rho_m d^2 \omega^2}{18\mu}, \quad (8)$$

Для турбулентного режиму

$$V_{r(oc)} = 1,75 \sqrt{\frac{d \Delta \rho}{\rho} g}, \quad (9)$$

Максимально можливу швидкість відцентрового осадження можна знайти, прийнявши рушійну силу рівній силі опору $F_{ви} - F_a = F$ і замінивши прискорення сили тяжіння g відцентровим прискоренням a_r ,

$$V_{r(oc)и} = \sqrt{\frac{\pi d \Delta \rho}{6 \frac{\pi}{8} \lambda} \omega^2 r} = \sqrt{\frac{\pi d \Delta \rho}{6 \psi \rho} \omega^2 r}, \quad (10)$$

де $\psi = \frac{\pi}{8} \lambda$ – фактор опору руху частинки в рідині; λ – коефіцієнт опору.

В залежності від режиму руху рідини в апараті вираз (8) набуде вигляду:

для ламінарного режиму

$$V_{r(oc)и} = \frac{d^2 \Delta \rho}{18\mu} \omega^2 r, \quad (11)$$

для перехідного режиму

$$V_{r(oc)и} = 0,1355 \frac{d^{1,2} \Delta \rho^{0,78} (\omega^2 r)^{0,73}}{\rho^{0,26} r^{0,46}}, \quad (12)$$

для турбулентного режиму

$$V_{r(oc)и} = \sqrt{\frac{d \Delta \rho}{\rho} \omega^2 r}. \quad (13)$$

Якщо в рідині містяться легкі компоненти, то під дією архімедової сили вони будуть переміщатися (виштовхувати в радіальному напрямку у протилежний бік – до осі обертання. Швидкість переміщення легких частинок до осі обертання $V_{r(ам)}$ розраховується також за рівняннями (7 - 8) з заміною $\Delta \rho$ на $\Delta \rho$.

При розрахунку гідроциклону, призначеного для відділення твердих частинок, повинна бути виконана оцінка ефективності дії відцентрових сил.

Сили, що діють на частинку, що знаходиться в потоці рідини – відцентрова сила $F_{ви}$, яка відкидає частку до периферії, і сила опору середовища, або сила внутрішнього тертя $F_{тр}$, від тертя радіального потоку рідини, що діє в напрямку апарату.

Відцентрова сила, виражена через тангенціальну швидкість V_r , запишеться

$$F_{ви} = m_m \frac{V_r^2}{r}, \quad (14)$$

Сила внутрішнього тертя визначається за формулою Стокса у вигляді (5).

Напрямок руху частинок у апараті визначається співвідношенням $F_{ви}$ і $F_{тр}$. Якщо відцентрова сила буде більше сили опору середовища, то частинки в апараті будуть обертатися, поки не зменшаться до малого розміру. У разі рівності зазначених сил частинка буде тривалий час циркулювати в апараті.

Для оцінки ефективності дії відцентрових сил використовуємо фактор розділення по силі тяжіння (4).

Фактор поділу по відцентровій силі – відношення відцентрових сил на мінімальному r_2 і максимальному r_1 радіусів обертання частинок потоку:

$$K_{ви} = \frac{F_{ви2}}{F_{ви1}} = \frac{m V_{r2}^2}{m V_{r1}^2} \cdot \frac{r_1}{r_2} = \frac{r_1 \cdot V_{r2}^2}{r_2 \cdot V_{r1}^2}. \quad (15)$$

Мультигідроциклон може бути використаний в якості основного елементу в системі очищення стічних вод, при умовах, що існує режим, при якому не відбувається передиспергування залишкової нафти

у воді, (в нафті води), тобто прискорення руху не перевищує величину 1000g. В апараті реалізується механізм поділу легкої (нафта, газ) і більш важкої фракцій (вода, нафта).

У використовуваних в даний час апаратах і пристроях очищення стічних вод на промисли окремо або в комбінації реалізуються два основних механізми - поділ в природному полі сили тяжіння або в полі відцентрових сил і флотаційний ефект.

Обидва механізми порівняно маловитратні, так як використовують природну енергію (потіку або взаємодії фаз), що особливо важливо в умовах великого обсягу оброблюваного середовища. Гідроциклони, дозволяють досягти достатнього ступеня очищення стічних вод для їх використання в системі підтримання пластового тиску.

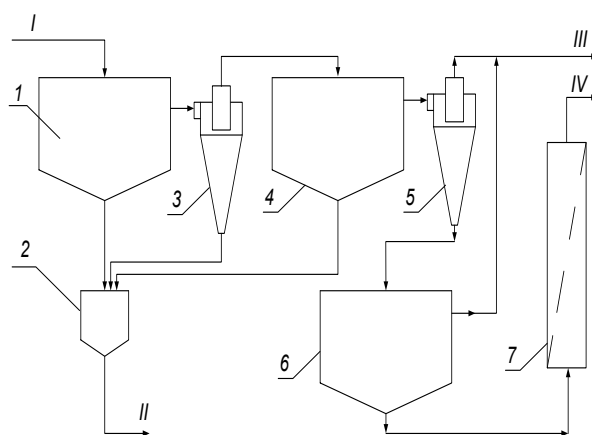
Обговорення результатів

Розробка низькопроникних колекторів значно підвищила вимоги до якості води, використовуваної для заводнення нафтових пластів. Допустимий вміст механічних домішок становить 3 мг/дм³, а нафтопродуктів – 5 мг/дм³. [11]. Найнебезпечнішим в екологічному відношенні є зараження пластів сульфатвідновлюючими бактеріями, які виробляють сірководень, що вимагає спеціальних захисних заходів.

Необхідна глибока очистка води може бути досягнута шляхом використання багатоступеневої технології, що включає методи грубого і тонкого очищення, доочищення та знезараження. Технологічні схеми підготовки нафтопромислових вод для використання в системі підтримання пластового тиску включає наступні основні елементи: відстійники, коалесцируючі та гідрофобні фільтри, камеру дугового розряду, зернистий фільтр, електрохімічний фільтр, УФ-випромінювачі, гідрофобний фільтр [12], що говорить про велику різноманітність технічних засобів і методів. Це характеризує шляхи розвитку систем очищення, які включають розробку і впровадження нових технологій і обладнання, у тому числі конструкцій мультігідроциклонів для тонкого і грубого очищення. Мультігідроциклони дозволяють досягти глибокого ступеня очищення, і їх використання є перспективним як у системі промислової очищення стічних вод, так і в системах попереднього скидання води.

Вони мають широкі можливості використання у системі підготовки продукції свердловин в якості апаратів, інтенсифікуючих процес на стадіях первинного відділення нафти, газу і води, стабілізації та очищення нафти від розчинених газів і меркаптанів та очищення стічних вод, проте не можуть стати єдиним використовуваним апаратом. Тому вдосконалення систем промислової підготовки продукції свердловин включає розробку нових ефективних технічних засобів, у тому числі мультігідроциклонів, так і вдосконалення традиційно

використовуваного обладнання. Очищення нафтопромислових стічних вод з метою їх повторного використання доцільно проводити за наведеною схемою (рис. 1).



1 – резервуар-відстійник; 2 – збірник осаду; 3 – гідроциклон для відділення зв'язаних твердих частинок; 4 – тонкошаровий відстійник; 5 – гідроциклон для відділення нафти; 6 – відстійник; 7 – фільтр тонкого очищення. I – нафтопромислові стічні води; II – осад; III – нафтопродукти; IV – очищена вода у систему підтримання тиску

Рис. 1 – Схема очищення нафтопромислових стічних вод з метою їх повторного використання

Нафтопромислові стічні води надходять в приймальний резервуар (іноді в передвідстійник). Потім насосами стічні води направляються на очищення, зокрема в напірні циліндроконічні гідроциклони, у яких відбувається відділення великих (механічних) домішок зі скиданням їх в бункер. Проїшовши циліндроконічні гідроциклони, тонкошарові відстійники, стічні води надходять в циліндричні гідроциклони для очищення від нафтопродуктів. Після гідроциклонів очищена вода подається на флотатори, коалесцируючі або сорбційні фільтри. При необхідності можливе остаточне очищення води в сорбційному фільтрі до вмісту нафтопродуктів 0,05 мг/л (до рівня ГДК).

Очищена вода повертається у свердловину для підтримки пластового тиску. Чим чистіше вода, що закачується в пласт, тим більше прийомна здатність нагнітальної свердловини і тим менше необхідна кількість вод і менше витрати, пов'язані з системою підтримання пластового тиску. Загальні вимоги до води, що закачується у свердловину:

- обмежений вміст механічних домішок і сполук заліза;
- відсутність сірководню, вуглекислоти з метою запобігання корозії обладнання;
- відсутність органічних домішок (бактерій, водоростей);
- хімічна сумісність з пластовою водою.

Ступінь очищення НСВ визначається індивідуально для кожного родовища [13]. Як було викладено вище, складність полягає у відділенні від води емульгованої нафти і грубодисперсної емульсії. Вміст нафти і механічних домішок в очищеній стічній воді нафтових родовищ перевищує нормативи, які визначаються галузевими стандартами, в яких викладені вимоги до якості води, використовуваної для заводнення нафтових пластів, в залежності від властивостей пласта [14-16]. Підвищений вміст нафти і зважених речовин у воді, що закачується в пласт, призводить до неповного вилучення нафти з свердловини. Допустимий вміст механічних домішок становить 3 мг/дм³, а нафтопродуктів - 5 мг/дм³. Наявність механічних домішок є одним з основних факторів, що викликають зниження проникності привибійної зони пласта при використанні як прісних, так і пластових вод.

Сучасні індустріальні методи облаштування нафтових родовищ вимагають застосування нового обладнання з високим ефектом очищення і одиначною потужністю, герметичністю і зручним при заводському виготовленні і монтажі. Як показує техніко-економічні порівняння [7,17-19] при впровадженні циліндричних протитечійних гідроциклонів можливо отримати суттєвий економічний ефект. При цьому величина капітальних вкладень на будівництво очисних споруд скорочується в кілька разів, а експлуатаційні витрати знижуються на 15%, покращуються санітарно-екологічні умови експлуатації установки.

Не менш важливою перевагою схеми з гідроциклонами є значна економія виробничих площ. В даному випадку площа, займана гідроциклонною установкою, в 10 разів менше площі, яка була б потрібна для розміщення резервуарів-відстійників аналогічного призначення. Останній показник часто є основним і визначальним при виборі того або іншого методу очищення стічних вод.

Висновки

Таким чином, для захисту навколишнього середовища від забруднення пластовими водами необхідно проведення наступних заходів: забезпечення глибокого очищення промислових стічних вод; широке застосування антикорозійних покриттів і хімічних реагентів для захисту від корозії нафтовидобувного обладнання; повне використання одержуваних на промислах стічних вод у системи підтримання пластового тиску; контроль за станом поверхневих вод та якістю стічних вод, що використовуються в системі підтримання пластового тиску.

Список літератури

1. Мордвинов А. А., Морозюк О. А., Жангабылов Р. А. *Основы нефтегазопромывочного дела: учеб. пособие*. Ухта: УГГУ, 2015. 161 с.

- Самтанова Д. Э., Сангаджиева Л. Х. Химический состав пластовых вод и их влияние на загрязнение почвы. *Геология, география и глобальная энергия*, 2013. №3. С. 168-178.
- Адельпин А. Б. *Интенсификация процессов гидродинамической очистки нефтесодержащих сточных вод.*: Дисс. на соискание ученой степени докт. тех. наук. СПб. 1998. 73 с.
- Гребнев В. Д., Мартюшев Д. А., Хижняк Г. П. *Основы нефтегазопромывочного дела: учебное пособие*. Пермь: Перм. нац. иссл. полит. ун-т., 2013. 185 с.
- Терновский И. Г., Кутепов А. М. *Гидроциклонирование*. М.: Наука, 1994. 408 с.
- Yang Q., Wang Li., Liu Y., Li Z. Solid/liquid separation performance of hydrocyclones with different cone combinations. *Separation and Purification Technology*, 2010. Vol. 74. № 3, P. 271-279.
- Валеев С. И., Степанов Н. И., Иванов Н. В., Булкин В. А. Гидродинамика цилиндрических и цилиндроконических гидроциклонов с малым расходом через верхний слив. *Вестник Казанского технологического университета*. 1998. № 2. С. 56-59.
- Верин Д. Ю., Валеев С. И., Булкин В. А. Гидродинамика цилиндроконического гидроциклона для разделения эмульсий. *Вестник Казанского технологического университета*. 2012. Т.15. № 15, С. 117-118.
- Минигазимов Н. С., Расветалов В. А., Зайнуллин Х. Н. *Утилизация и обезвреживание нефтесодержащих отходов*. Уфа: Экология, 1999. 299 с.
- Бархатов В. И., Добровольский И. П. *Повышение эффективности переработки нефти и использования получаемых продуктов: монография*. Челябинск: Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2013. 322 с.
- Перекупка А. Г., Тарасов М. Ю., Семенов В. Н. Проектирование систем подготовки воды для закачки в низкопроницаемые пласты. *Нефтяное хозяйство*. 2002. №7. С. 31-33.
- Назаров В. Д., Русакович А. А. Подготовка воды для заводнения нефтяных пластов. *Нефть и газ*. 2003. №5. С. 43-46
- Kharoua N., Khezzar L., Nemouchi Z. Hydrocyclones for De-oiling Applications - A Review. *Petroleum Science and Technology*. 2010. Vol. 28. №. 7. P. 738-755. doi: 10.1080/10916460902804721.
- Yu J., Fu J. Separation performance of an 8 mm mini-hydrocyclone and its application to the treatment of rice starch wastewater. *Separation Science and Technology*. 2019. Vol. 55. № 2. P. 313-320. doi: 10.1080/01496395.2019.1565772.
- Baklouti L. S. Surface geochemical prospection for hydrocarbons in the oriental platform; the case of Guebiba oilfield. Sfax region. Tunisia. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2017. Vol. 159. P. 830-840. doi: 10.1016/j.petrol.2017.10.019.
- Ding L., Wu Q., Zhang L. Application of Fractional Flow Theory for Analytical Modeling of Surfactant Flooding. Polymer Flooding, and Surfactant. *Polymer Flooding for Chemical Enhanced Oil Recovery. Water*. 2020. Vol. 12, № 8. P. 2195. doi: 10.3390/w12082195.
- Vehmaanpera P., Safonov D., Kinnarinen T., Hakkinen A.. Improvement of the filtration characteristics of calcite slurry by hydrocyclone classification. *Minerals Engineering*. 2018. Vol. 128. P. 133-140. doi: 10.1016/j.mineng.2018.08.042.
- Ghnaïnia L., Eloussaief M., Zouari K., Abbes. C. Wastewater treatment in petroleum activities: example of "SEWAGE" unit in the BG Tunisia Hannibal plant. *Applied*

Petrochemical Research. 2016. Vol. 6. № 2. P. 155-162. doi: 10.1007/s13203-015-0143-9.

19. Liu Z. Facile method for the hydrophobic modification of filterpaper for applications in water-oil separation. *Surface and Coatings Technology*. 2018. Vol. 352. P. 313-319. doi: 10.1016/j.surfcoat.2018.08.026.

References (transliterated)

- Mordvinov A. A., Morozyuk O. A., Zhanabylov R. A. *Osnovy neftegazopromyslovogo dela: ucheb. posobiye*. Ukhta: UGGU, 2015. 161 p.
- Samtanova D. E., Sangadzhieva L. Kh. Khimicheskii sostav plastovykh vod i ikh vliyaniye na zagryazneniye pochvy. *Geologiya, geografiya i global'naya energiya*, 2013, №3, pp. 168-178.
- Adelypin A. B. *Intensifikatsiya protsessov gidrodinamicheskoy ochistki neftesoderzhashchikh stochnykh vod.*: Diss. na soiskaniye uchenoy stepeni dokt. tekh. nauk. SPb, 1998. 73 p.
- Grebnev V. D., Martyushev D. A., Khizhnyak G. P. *Osnovy neftegazopromyslovogo dela: uchebnoye posobiye*. Perm': Perm. nats. issl. polit. un-t., 2013. 185 p.
- Terovskiy I. G., Kutepov A. M. *Gidrotsiklonirovaniye*. M., Hauka, 1994. 408 p.
- Yang Q., Wang Li., Liu Y., Li Z. Solid/liquid separation performance of hydrocyclones with different cone combinations. *Separation and Purification Technology*, 2010, Vol. 74, № 3, pp. 271-279.
- Valeyev S. I., Stepanov N. I., Ivanov N. V., Bulkin V. A. Gidrodinamika tsilindricheskikh i tsilindronicheskikh gidrotsiklonov s malym raskhadom cherez verkhniy sliv. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 1998, № 2, pp. 56-59.
- Verin D. Y., Valeyev S. I., Bulkin V. A. Gidrodinamika tsilindronicheskogo gidrotsyklona dlya razdeleniya emul'siy. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2012, Vol. 15, № 15, pp. 117-118.
- Minigazimov N. S., Rasvetalov V. A., Zaynullin X. N. *Utilizatsiya i obezvrezhivaniye neftesoderzhashchikh otkhodov*. Ufa: Ekologiya, 1999. 299 sp.
- Barkhatov V. I., Dobrovol'skiy I. P. *Povysheniye effektivnosti pererabotki nefti i ispol'zovaniya poluchayemykh produktov: monografiya*. Chelyabinsk, Izd-vo Chelyab. gos. un-ta, 2013. 322 p.
- Perekupka A. G., Tarasov M. Y., Semenov V. N. Proektirovaniye sistem podgotovki vody dlya zakachki v nizkopronitsayemye plasty. *Neftyanoye khozyaystvo*, 2002, №7, pp. 31-33.
- Nazarov V. D., Rusakovich A. A. Podgotovka vody dlya zavodneniya neftyanykh plastov. *Neft' i gaz*, 2003, №5, pp. 43-46.
- Kharoua N., Khezzer L., Nemouchi Z. Hydrocyclones for De-oiling Applications - A Review. *Petroleum Science and Technology*, 2010, Vol. 28, № 7, pp. 738-755, doi: 10.1080/10916460902804721.
- Yu J., Fu J. Separation performance of an 8 mm mini-hydrocyclone and its application to the treatment of rice starch wastewater. *Separation Science and Technology*, 2019, Vol. 55, № 2, pp. 313-320, doi: 10.1080/01496395.2019.1565772.
- Baklouti L. S. Surface geochemical prospection for hydrocarbons in the oriental platform; the case of Guebiba oilfield. Sfax region. Tunisia. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2017, Vol. 159, pp. 830-840, doi: 10.1016/j.petrol.2017.10.019.
- Ding L., Wu Q., Zhang L. Application of Fractional Flow Theory for Analytical Modeling of Surfactant Flooding. Polymer Flooding, and Surfactant. *Polymer Flooding for Chemical Enhanced Oil Recovery. Water*, 2020, Vol. 12, № 8, pp. 2195, doi: 10.3390/w12082195.
- Vehmaanpera P., Safonov D., Kinnarinen T., Hakkinen A. Improvement of the filtration characteristics of calcite slurry by hydrocyclone classification. *Minerals Engineering*, 2018, Vol. 128, pp. 133-140.
- Ghnainia L., Eloussaief M., Zouari K., Abbes. C. Wastewater treatment in petroleum activities: example of "SEWAGE" unit in the BG Tunisia Hannibal plant. *Applied Petrochemical Research*, 2016, Vol. 6, № 2, pp. 155-162, doi: 10.1007/s13203-015-0143-9.
- Liu Z. Facile method for the hydrophobic modification of filterpaper for applications in water-oil separation. *Surface and Coatings Technology*, 2018, Vol. 352, pp. 313-319, doi: 10.1016/j.surfcoat.2018.08.026.

Відомості про авторів (About authors)

Моїсєєв Віктор Федорович – кандидат технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри хімічної техніки та промислової екології, м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-3217-1467; e-mail: vmoiseev1209@gmail.com.

Victor Moiseev – Candidate of Technical Sciences (Ph. D), Associate Professor of Department of "Chemical Technics and Industrial Ecology", National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-3217-1467; e-mail: vmoiseev1209@gmail.com.

Манойло Євгенія Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри хімічної техніки та промислової екології, м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-6538-0580; e-mail: bublikova1@gmail.com.

Eugenia Manoilo – Candidate of Technical Sciences, Docent of Department of "Chemical Technics and Industrial Ecology", National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-6538-0580; e-mail: bublikova1@gmail.com.

Ляпощенко Олександр Олександрович – доктор технічних наук, Сумський державний університет, доцент кафедри «Процеси та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв», м. Суми, Україна; ORCID: 0000-0002-6657-7051; e-mail: o.liaposhchenko@pohnp.sumdu.edu.ua.

Alexander Liaposhchenko – Doctor of Technical Sciences, Sumy State University, Docent of the Department "Processes and Equipment for Chemical and Petroleum Processing Industries", Sumy, Ukraine; ORCID: 0000-0002-6657-7051; e-mail: o.liaposhchenko@pohnp.sumdu.edu.ua.

Хусейн Сейф – аспірант, Сумський державний університет, кафедра «Процеси та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв», м. Суми, Україна; ORCID: 0000-0003-4975-4869; e-mail: housseinseif1@gmail.com.

Houssein Seif - aspirant, Sumy State University, Department "Processes and Equipment for Chemical and Petroleum Processing Industries", Sumy, Ukraine; ORCID: 0000-0003-4975-4869; e-mail: housseinseif1@gmail.com.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Моїсєєв, В. Ф., Манойло Є. В., Ляпощенко О. О., Хуссейн Сейф. Очищення нафтопромислових стічних вод. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». 2020. № 4 (6). С. 122-130. doi:10.20998/2413-4295.2020.04.18.

Please cite this article as:

Moiseev V., Manoilo E., Liaposhchenko A., Houssein Seif. Oilfield wastewater treatment. *Bulletin of the National Technical University KhPI" Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2020, no. 4 (6), pp. 122-130, doi:10.20998/2413-4295.2020.04.18.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Моисеев, В. Ф., Манойло Е. В., Ляпощенко А. А., Хуссейн Сейф. Очистка нефтепромысловых сточных вод. *Вестник Национального технического университета «ХПИ»*. Серия: *Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2020. № 4 (6). С. 122-130. doi:10.20998/2413-4295.2020.04.18.

АННОТАЦІЯ Розроблена установка для очистки нефтепромысловых сточных вод. В статье представлено решение гидроциклонных установок для очистки нефтепромысловых сточных вод на основе применения закрученных потоков. За счет центробежных сил в гидроциклоне и турбулентного движения воды разрушаются бронирующие оболочки капель нефти, они увеличиваются, увеличивается монодисперсность. Рассмотрены силы, действующие в гидроциклоне, приведена оценка эффективности действия центробежных сил при отделении твердых частиц. Даны основные параметры и требования к качеству нефтепромысловых сточных вод, которые рекомендованы для расчета при разработке новых и совершенствовании существующих установок очистки нефтепромысловых сточных вод для заводнения нефтяных пластов, что позволяет увеличить нефтеотдачу пластов в 1,5-2 раза. Совершенствование систем промышленной подготовки продукции скважин включает разработку новых эффективных технических средств, в том числе гидроциклонов, так и совершенствования традиционно используемого оборудования. Гидроциклон может быть использован в качестве основного элемента в системе очистки сточных вод, при условии, что соблюдается режим, при котором не происходит передиспергирование в воде нефти и в нефти воды. Таким образом, в аппарате реализуется механизм разделения легкой (нефть, газ) и более тяжелой фракций (осадок, вода, нефть). Для защиты окружающей среды от загрязнения пластовыми водами необходимо проведение следующие мероприятия: обеспечение глубокой очистки промышленных сточных вод; широкое применение антикоррозионных покрытий и химических реагентов для защиты от коррозии нефтедобывающего оборудования; полное использование получаемых на промыслах сточных вод в системе поддержания пластового давления; контроль за состоянием поверхностных и сточных вод, используемых в системах поддержания пластового давления.

Ключевые слова: нефтепромысловые сточные воды; гидроциклон; подол; закрученный поток; отстойник; коалесценция; очистка воды; гидродинамическая обработка; фильтр

Надійшла (received) 30.11.2020