

3. Артюхов А.Е. Высокоэффективные вихревые аппараты в малотоннажных производствах гранулированных продуктов / А.Е. Артюхов, В.И. Склабинский // Химические реагенты, реагенты и процессы малотоннажной химии: сб. научных трудов XX Международной научно-технической конференции. – Минск, 2008. – С. 272–277.
4. Артюхов А.Е. Перспективи отримання гранул з особливими властивостями в малогабаритних вихрових апаратах / А.Е. Артюхов, О.О. Ляпощенко, В.І. Склабінський // “Вісник СумДУ. Серія: Технічні науки”. - 2009. - №4. – С. 14-21.
5. Склабінський В.І. Розрахунок гідродинамічних параметрів закручених потоків у вихрових грануляторах аналітичним методом / В.І. Склабінський, А.Е. Артюхов // Вісник Сумського державного університету. – 2008. – № 3. – С. 62–70.
6. Склабінський В.І. Определение гидродинамических характеристик дисперсной фазы в малогабаритных вихревых апаратах / В.І. Склабінський, А.Е. Артюхов // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського - Кременчук: КДПУ, 2009. – Вип. 6/2009 (59) частина 1. – С. 196-201.
7. Патент №29950 Україна, МПК (2006) B01J2/16. Пристрій для грануллювання рідкого матеріалу / А.Е. Артюхов, В.І. Склабінський, А.С Стеценко; заявник та патентовласник Сумський державний університет. – №200512066; заявл. 15.12.2005; надрук. 11.02.2008, Бюл. № 3.
8. Патент №82754 Україна, МПК (2006) B01J2/16. Спосіб грануллювання рідкого матеріалу та пристрій для його здійснення / А.Е. Артюхов, В.І. Склабінський; заявник та патентовласник Сумський державний університет – №200608137; заявл. 20.07.2006; надрук. 12.05.2008, Бюл. № 9.
9. Патент №90798 Україна МПК (2009) B01J2/16, B01J8/08, B01J8/18. Спосіб отримання гранул пористої структури та пристрій для його здійснення / Артюхов А.Е., Склабінський В.І., Жеба К.В. - №200812720; заявл. 30.10.2008; надрук. 25.05.2010, Бюл. №10, 2010р.
10. Патент №99023 Україна МПК (2012.01) B01J2/16 (2006.01), B01J2/00. Спосіб отримання гранул пористої структури та пристрій для його здійснення / Артюхов А.Е., Склабінський В.І.. - №201014887; заявл. 13.12.2010; надрук. 10.07.2012, Бюл. №13, 2012р.

УДК 66.074.1:547.912

## ФАЗОВА РІВНОВАГА ГАЗОРІДИННИХ СИСТЕМ ПРИ ІНЕРЦІЙНО-ФІЛЬТРУЮЧІЙ СЕПАРАЦІЇ

Ляпощенко О.О., канд.техн.наук., докторант  
Нащенко О.В., аспірант  
Сумський державний університет, м. Суми

Розглянуто умови фазової рівноваги газорідинних сумішей в процесі інерційно-фільтруючої сепарації, визначено основні параметри, що впливають на ефективність процесу розділення газових потоків з краплинною рідинною.

Conditions of phase balance of gas-liquid mixes in the course of inertial filtering separation are considered, the key parameters influencing efficiency of process of division of gas streams with drop liquid are determined.

**Ключові слова:** газорідинний потік, процес, рівновага, константа фазової рівноваги, термодинамічні параметри, рівняння стану.

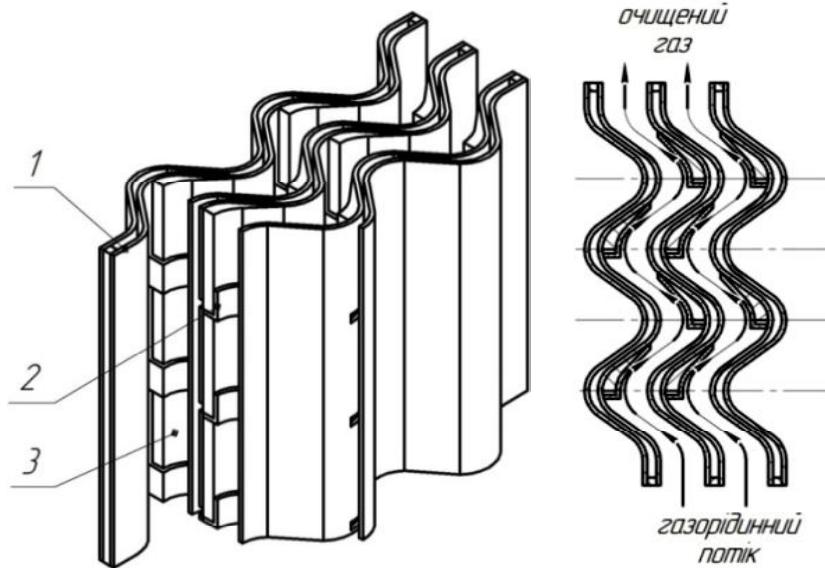
Природний газ, що видобувається зі свердловин, являє собою газорідинну систему до складу якої входить велика кількість краплинної рідини, що складається з мінералізованої води та газового конденсату, а також пароподібної вологи. Тому такі газоконденсатні суміші перед подачею в магістральні трубопроводи або технологічні лінії піддають сепарації, що включає відділення механічних домішок, вологи і вуглеводневого конденсату.

Одним із найбільш перспективних способів підготовки природного газу до транспортування є інерційно-фільтруюча сепарація, що поєднує переваги як інерційного, так і фільтруючого методів розділення газорідинних систем.

Метою даної статті є опис процесів та основних параметрів, що характеризують газорідинні системи при інерційно-фільтруючій сепарації, та їх вплив на ефективність сепарації.

В пакет жалозійних пластин сепаратора підводиться газорідинний потік, що містить високодисперсну краплинну рідину, який направляється в криволінійні сепараційні канали, при проходженні яких, під

дією інерційних сил, траєкторія руху краплин рідини, що рухаються зі значною швидкістю, відхиляється від скривленої лінії струму газового потоку, і краплі рідини направляються в шар смуг із волокнистого матеріалу фільтруючого елемента. Фільтруючі елементи насичуються вловленою рідиною, яка збирається у жолобах, направляється до криволінійних дренуючих каналів, закритих для газового потоку, стікає під'їзкою по внутрішнім поверхням подвійних гофрованих пластин, і відводиться з пристрою [1, 2].



1 – подвійні гофровані пластини, 2 – жолоби для сепарованої рідини, 3 – фільтруючі елементи.

**Рис. 1 – Схема руху газорідинного потоку секціями інерційно-фільтруючого сепаратора**

При моделюванні процесів переробки газорідинних сумішей важливою є задача опису та визначення умов фазової рівноваги аеродисперсних систем.

Згідно з законом збереження мас рівняння матеріального балансу для одного моля газорідинної суміші та для кожного її компонента мають вигляд:

$$V + L = 1 \quad (1)$$

$$V \cdot y_i + L \cdot x_i = z_i \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n y_i = \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n z_i = 1 \quad (3)$$

де  $V$  – мольна доля газової фази в суміші;

$L$  - мольна доля рідкої фази в суміші;

$y_i$  - мольна доля  $i$ -го компонента в газовій фазі;

$x_i$  - мольна доля  $i$ -го компонента в рідкій фазі;

$z_i$  - мольна доля  $i$ -го компонента в суміші.

Основною умовою фазової рівноваги будь-якої системи є рівність температур, тисків і хімічних потенціалів кожного її компонента. При цьому рушійною силою процесу масопередачі в газорідинній системі є різниця хімічних потенціалів одного і того ж компонента в різних фазах, аналогічно як різниця температур – в процесах теплопередачі. Рівновага між фазами системи настає, коли при незмінних температурах та тисках різниця термічних потенціалів прямує до нуля.

В процесах розділення газорідинних систем для визначення ходу процесу та основних термодинамічних параметрів найбільш зручною є температурно - ентропійна діаграма (T-S діаграма) [3].

Критична точка К є дуже важливим параметром фазового стану системи, її положення на діаграмі визначає критичні параметри стану системи рідина – пар. З наближенням до критичного стану відмінності в густині, складі і інших властивостях співіснуючих фаз, а також теплота фазового переходу і міжфазний поверхневий натяг зменшуються і в критичній точці дорівнюють нулю.

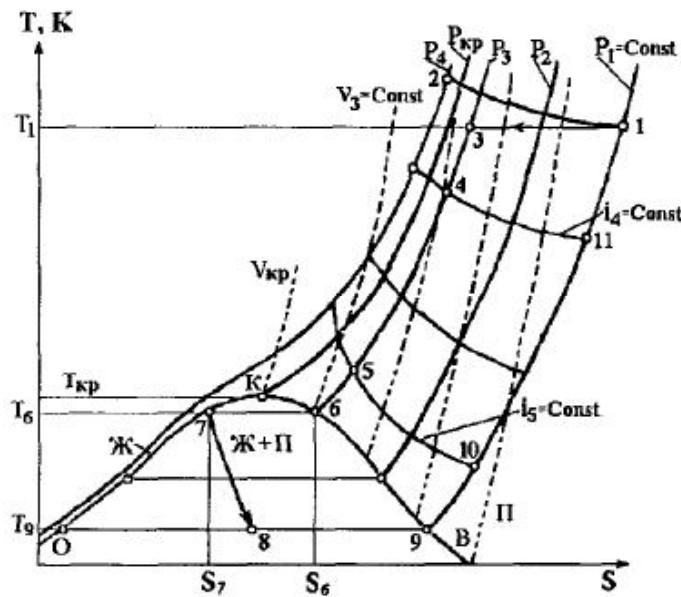


Рис. 2 – Основні лінії зміни параметрів стану та фазових переходів на T-S діаграмі

Необхідною умовою ефективного проходження процесів розділення газорідинних сумішей є наявність у газовому потоці, що надходить до сепараційних каналів, вологи у вигляді крапель. Отже, як видно з діаграми, термодинамічні параметри системи повинні потрапляти в область під лінією ОКВ, тобто область одночасного існування рідкої та газової фаз. Мається на увазі, що температура та тиск системи повинні бути нижчими критичних значень.

Індивідуальні речовини, що складають газорідинний потік мають різні критичні параметри, тому при зміні термодинамічних характеристик системи (а особливо при підвищенні тиску та зниженні температури), окрім компонентів можуть конденсуватися. Цей факт має позитивний вплив на ефективність інерційно-фільтруючої сепарації.

При зниженні температури системи знижується пружність парів насичених компонентів, при цьому система стає нерівноважною і частина речовин переходить в рідку фазу у вигляді дрібнодисперсних крапель. Тобто у газорідинній суміші відбувається процес парціальної конденсації.

Для того щоб відбулася конденсація одного з компонентів газорідинної суміші його парціальний тиск повинен відповідати пружності пари при даній температурі. При цьому сконденсовані краплі будуть знаходитися в рівновазі з газовою сумішшю.

Отже, для кожного компонента газорідинної системи можна записати умову його рівноважного розподілу між фазами:

$$K = y_i / x_i \quad (4)$$

Де  $K$  - константа фазової рівноваги для даного компонента.

Як бачимо з рівняння (3), сума долей компонентів в газовій та рідкій фазах повинна дорівнювати одиниці. При цьому з урахуванням рівнянь (2) та (4) можна записати:

$$\sum_{i=1}^n y_i = 1 = \sum_{i=1}^n \frac{1}{V_i} \cdot \frac{K_i \cdot z_i}{K_i + L_i / V_i} \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i = 1 = \sum_{i=1}^n \frac{1}{V_i} \cdot \frac{z_i}{K_i + L_i / V_i} \quad (6)$$

Для розрахунків реальних систем та визначення їх констант рівноваги використовується поняття коєфіцієнту летучості, він зв'язує летучість та властивості системи, які необхідно визначити.

Коефіцієнти летучості газової та рідкої фаз:

$$\Phi^G = f_i^G / P \cdot y_i \quad (7)$$

$$\Phi^L = f_i^L / P \cdot x_i \quad (8)$$

З рівнянь (7) та (8) отримуємо рівняння рівноваги газорідинної системи:

$$\varphi^G \cdot y_i = \varphi^L \cdot x_i \quad (9)$$

Таким чином, константу фазової рівноваги можна визначити через коефіцієнти летучості:

$$K_i = \frac{\varphi^L}{\varphi^G} \quad (10)$$

Константи фазової рівноваги залежать від термодинамічних параметрів системи, а також від складу фаз. Термодинамічні властивості нафтових та природних газів, а також їх компонентів, значно відрізняються від властивостей ідеальних газів. Це стає особливо помітним при низьких температурах та високих тисках. Тому для визначення та опису властивостей вуглеводневих систем розроблений ряд рівнянь стану. З найбільш широко застосовуваних на сьогоднішній день рівнянь стану можна назвати рівняння Редліха - Квонга, модифіковане Соувом, рівняння Пенга - Робінсона і рівняння Бенедикта - Вебба - Рубіна, модифіковане Старлингом. У кожного рівняння стану є свої переваги і недоліки.

В якості основи для розрахунків газо (паро) - рідинної рівноваги в розглянутих умовах найкраще використовувати рівняння стану Редліха - Квонга [4]. Це рівняння успішно використовується для опису стану рівноваги вуглеводневих систем.

$$P = \frac{RT}{(v-b)} - \frac{a}{\sqrt{T}} \cdot \frac{1}{v(v-b)} \quad (11)$$

де  $a$  та  $b$  – константи рівняння;

$v$  - мольний об'єм.

### Висновки.

В ході дослідження було розглянуто основні умови фазової рівноваги газорідинних сумішей, вплив термодинамічних параметрів на рівновагу і стан системи. Було виявлено, що для ефективної сепарації в інерційно-фільтруючому сепараторі повинні створюватися такі умови за яких в газорідинному потоці, що містить значну кількість пароподібної вологи, відбувалися процеси фазових переходів, тобто процес парціальної конденсації. На існуючих технологічних установках для цього використовують пристрій передньої конденсації, які знижують температуру газорідинної системи перед подачею її до сепаратора. Це призводить до збільшення металоємності установок.

З огляду на вище сказане, можна виявити важливість пошуку нових способів розділення газорідинних сумішей в яких процеси сепарації і конденсації будуть протікати в об'ємі одного пристроя, тобто охолодження газового потоку проводити в конструкції інерційно-фільтруючого сепаратора.

### Література

1. Пат. на корисну модель №56067 У Україна, МПК B01D45/04. Способ вловлювання високодисперсної краплинної рідини з газорідинного потоку / Склабінський В.І., Ляпощенко О.О., Артюхов А.Є., Логвин А.В., Коробченко К.В. - №201007411; Заявлено 14.06.2010; Надрук. 27.12.2010, Бюл. №24, 2010.
2. Пат. на корисну модель №57386 У Україна, МПК B01D45/04. Пристрій для вловлювання високодисперсної краплинної рідини з газорідинного потоку / Склабінський В.І., Ляпощенко О.О., Логвин А.В., Скиданенко М.С. - №201009488; Заявлено 29.07.2010; Надрук. 25.02.2011, Бюл. №4, 2011.
3. Врагов А.П. Процессы и оборудование газоразделительных установок: Курс лекций. – Сумы: изд-во СумГУ, 2004.
4. Берлин М.А., Гореченков В.Г., Волков Н.П. Переработка нефтяных и природных газов. – М.: Химия, 1981г, 472с.