

На рис. 6, а зображено закономірності зміни питомих навантажень у багатопарних фрикційних вузлах модельного стрічково-колодкового гальма при зміщенні набігаючої гілки гальмівної стрічки на кут  $\pi/4$ , а на рис. 6, б – при почерговій зміні гілок гальмівної стрічки на кут  $3\pi/2$ . Форма епюр питомих навантажень у зовнішніх та внутрішніх парах тертя фрикційних вузлів вказує на те, що у зовнішніх парах відбувається часткове вирівнювання питомих навантажень, а у внутрішніх – майже повне. При цьому ні перше, ні друге зміщення не впливає суттєво на закономірності зміни питомих навантажень на зовнішніх та внутрішніх парах тертя гальма.

**Висновки.** Таким чином, на основі теоретичних та експериментальних досліджень окреслено шляхи вирівнювання питомих навантажень та проілюстровано закономірності їхньої зміни у серійних та багатопарних фрикційних вузлах стрічково-колодкових гальм бурових лебідок.

УДК 621.577

## УТИЛІЗАЦІЯ ФАКЕЛЬНИХ ГАЗІВ ЯК СПОСІБ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ГАЗОПЕРЕРОБНІЙ ГАЛУЗІ

О.М. Бортняк

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15  
тел.: 8-0342-99-33-38, e-mail: public@nuing.edu.ua

*Рассмотрены проблемы технологических выбросов при сжигании остаточных углеводородов на факельных установках. Приведен анализ существующих технологий утилизации углеводородных газов и поставлены задачи на разработку энергосберегающих технологий для применения их в производственных процессах газоперерабатывающих заводов. Уделено внимание вопросам загрязнения атмосферы выбросами, образованными при нерегулируемом сжигании углеводородных газов.*

*The problems of the technological emissions of remaining hydrocarbons that burning in torch devices are considered. The analysis of existent technologies of utilization of hydrocarbon gases is resulted and tasks for development of energy saving technologies. Factories on processing of gases can use these technologies. The authors devote attention to the problems of atmosphere pollution by harmful substances that are formed by uncontrolled combustion of hydrocarbon gases.*

Висока енергоемність виробництва є однією з найгостріших проблем української економіки. За даним показником Україна є одним з світових «лідерів». Одним з чинників даної ситуації є технологічна недосконалість та відсталість, що об'єктивно обмежує конкурентоспроможність національного виробництва, що є обтяжливим для економіки держави – тим більше, за умов її зовнішньої енергетичної залежності. З урахуванням явно недостатнього власного виробництва енергоносіїв і залежності від зовнішніх поставок, підвищення енергетичної ефективності, яка є елементом економічної та екологічної доцільності більшості промислово-розвинених країн, для України стає на найближчий період ключовим завданням.

На жаль, ефективність використання енергетичних ресурсів промисловими підприємствами

нашої країни все ще залишається досить низькою. Крім того, нераціональне використання енергоносіїв призводить до їх значних втрат та створює іншу проблему – забруднення навколишнього середовища.

Виробнича діяльність підприємств нафтогазової галузі України вносить значний вклад в погіршення стану біосфери, негативно змінюючи в ній природний кругообіг шкідливих речовин, – «атмосфера – ґрунт та водоймища – атмосфера». В результаті промислових викидів негативний вплив, наприклад, на атмосферу спостерігається ще й за рахунок збільшення хмарності, що веде до зменшення впливу сонячної радіації, а в глобальному масштабі і до зміни клімату на Землі. Практика екологічних досліджень останніх десятиліть свідчить про невтішні тенденції до майже незворотних про-

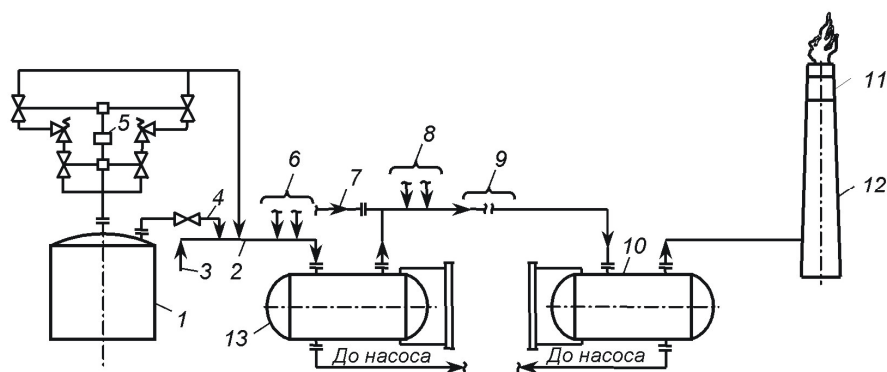
### Література

1 Александров М.П. Грузоподъемные машины. – М.: Из-ва МГТУ им. Н.Э.Баумана и ГУП «Высшая школа», 2000. – 550 с.

2 Злобин Б.А. Скоростная проходка скважин и резервы новой техники. – М.: Недра, 1977. – 309 с.

3 Крижанівський Є.І., Вольченко М.О., Вольченко Д.О. та ін. Стрічково-колодкові гальма: Монографія (наукове видання): В 2-х томах. Том 1. – Івано-Франківськ: Факел, 2004. – 230 с.

4 Крижанівський Є.І., Вольченко О.І., Вольченко М.О., Вольченко Д.О. та ін. Стрічково-колодкові гальма: Монографія (наукове видання): В 2-х томах. Том 2. – Івано-Франківськ: Факел, 2007. – 215 с.



1 – технологічний апарат; 2, 9 – цеховий і факельний колектори; 3, 7 – продувні гази;  
4 – лінія факельного скиду; 5 – блокувальний пристрій; 6 – скид газів від ЗК інших апаратів  
цеху; 8 – скид газів від інших цехів виробництва; 10 – факельний сепаратор;  
11 – газовий затвор; 12 – факельний стояк; 13 – цеховий сепаратор

**Рисунок 1 – Принципова схема скиду газів у факельну систему від запобіжних клапанів**

цесів екологічної деградації, що відбувається в деяких регіонах нашої країни. Цьому сприяють неконтрольовані на належному рівні викиди забруднюючих речовин, з якими неодмінно пов'язані більшість технологічних процесів нафтогазових виробництв, зокрема підприємств з переробки газу. В Україні експлуатується 7 таких підприємств (5 газопереробних заводів та 2 установки), кожне з них має в своєму технологічному арсеналі факельне господарство. Залежно від потужності заводу та специфіки технологічних операцій воно може налічувати від 1 до 4 факельних установок. Останні являють собою сукупність пристроїв, апаратів, трубопроводів та споруд, призначених для скиду і наступного спалювання горючих газів та парів, які не можуть бути безпосередньо використаними в даній технології – це так звані “хвостові” гази. Принципова схема скиду газів у факельну систему від запобіжних клапанів зображена на рисунку 1.

До основного технологічного обладнання та комунікацій відносяться трубопроводи скиду газу на факел (зокрема цеховий 2 та факельний 9 колектори) в межах установок з яких передбачається скид, факельний стояк 12, на якому і відбувається спалення газів, факельний сепаратор 10, ємність для збору конденсату, а також системи продувки, підводу чергового газу та конденсатовідводу. З метою захисту апаратури від перевищення тиску шляхом скиду газів і парів на факел передбачається, як правило, єдина система запобіжних клапанів (ЗК). Від них гази надходять у факельний колектор, призначений для збору і транспортування скидних газів від декількох джерел скиду. З факельного колектора “хвостові” гази направляються у сепаратор 10 для відокремлення крапельної рідини та твердих частинок з метою запобігання потраплянню останніх у факельну систему. Від сепаратора гази надходять у факельний стояк, де і відбувається їх спалювання. Факельний стояк являє собою вертикальну трубу з оголовком і газовим затвором, призначеним для запобігання потраплянню повітря у факельну сис-

тему через верхній зріз стояка та зниження витрат продувального газу, необхідного для попередження утворення вибухонебезпечної суміші. До факельного стояка повинно бути підведено паливний газ для чергових (контрольних) паливників, а до пристрою запалювання – паливний газ і повітря для приготування запальної суміші. Для запобігання підсмоктуванню кисню на факелі підтримується постійне незначне горіння. В окремих випадках (за необхідності) факельні установки обладнуються гідрозатворами для попередження підсмоктування повітря у факельний колектор за рахунок тяги у факельному стояку і зменшення витрати продувального газу в період зупинки факельної системи.

Отже, факельні системи застосовуються для спалювання газів при періодичних скидах під час пуску або зупинки обладнання та у випадках відхилення від технологічного регламенту, при аварійних скидах в результаті спрацювання запобіжних клапанів та інших пристроїв аварійного скиду, а також при постійних скидах, що безперервно надходять від технологічного обладнання і комунікацій при нормальній їх експлуатації. Таким чином, практично кожний технологічний процес газопереробних заводів передбачає скид газу з наступним його спалюванням на факельному пристрої. В результаті втрачається неймовірна кількість дорогоцінної сировини. Так, наприклад, тільки одним заводом щорічно спалюється до 3500 тон газу, а в масштабах України даний показник сягає достатньо великих значень. Таке неефективне використання палива завдає значних економічних збитків. З іншого боку, спалення газоподібних вуглеводнів несе в собі значну загрозу екологічному стану навколишнього середовища.

З понад 200 речовин, що забруднюють атмосферне повітря, на які встановлені норми гранично допустимих концентрацій, виділяють п'ять основних: тверді частинки (пил, попіл, сажа), оксиди сірки, оксиди азоту, оксиди вуглецю та вуглеводні, з яких майже всі містяться в продуктах нерегульованого згорання органічних палив, зокрема газоподібних вуглеводнів.

Надходження до атмосферного повітря величезних обсягів продуктів згоряння при спалюванні "хвостових" газів на факельних установках газопереробних заводів, змінює склад атмосферного повітря прилеглих селітебних зон, досить часто наближуючи концентрації токсичних речовин до небезпечних за біологічною дією на людину, тварин та рослини.

Зміни у складі атмосфери в глобальному масштабі є порівняно незначними. Однак зміни у вмісті деяких перемінних її складових, є помітними і можуть суттєво впливати на клімат і погоду. До найбільш важливих серед перемінних газів, які утворюються як природним шляхом, так і в результаті виробничої діяльності людини, відносять водяну пару, вуглекислий газ та озон.

Спалювання вуглеводневого палива поповнює атмосферу парниковими газами, які, як вважається, спричинюють парниковий ефект. Останній, головним чином, визначається присутністю водяної пари, азоту, озону, кисню, метану, водню та діоксиду вуглецю. Внаслідок поглинання діоксидом вуглецю частини енергії інфрачервоного випромінювання спостерігається певне потепління земної поверхні. Аналогічною властивістю володіє і озон. [1]. Збільшення його у стратосфері сприяє зменшенню притоку сонячної радіації до земної поверхні, оскільки озон поглинає сонячну радіацію не тільки в ультрафіолетовій, але й у видимій та інфрачервоній частинах спектру. Безперечно, збільшення вмісту даного газу у стратосфері призведе до збільшення її нагрівання та утеплення Землі [1, 2]. Раніше вважалося, що озон не може загрожувати людині та атмосфері взагалі з огляду на його малу концентрацію у приземному шарі повітря. Але порівняно недавно – у кінці 30 років ХХ ст. – виникла проблема забруднення повітря техногенним фотохімічним смогом, головним діючим чинником якого є озон у концентрації до 2-3 мг/м<sup>3</sup>, що в 100-200 разів перевищує його природний вміст [2]. Незважаючи на неможливість, здавалось би, утворення озону в приземних умовах – він тут утворюється в результаті протікання під дією сонячного світла фотохімічних реакцій між вуглеводнями та оксидами азоту, що викидаються в атмосферу промисловими установками під час згоряння вуглеводневого палива. В результаті протікання даних реакцій поряд з озоном утворюється низка шкідливих речовин, які негативно впливають на людину, головним чином на очі та дихальні шляхи. Збільшення вмісту озону в повітрі понад 0,0006-0,0008% (об.) є вже небезпечним для здоров'я людини внаслідок виникнення можливості руйнування гемоглобіну в крові. [3].

Істотний вклад в розвиток вище описаного явища вносить нерегульоване спалення "хвостових" газів на факельних установках підприємств нафтогазової галузі, зокрема газопереробних заводів. Боротьба з забрудненнями, зумовленими скидами газів на факел, постійно стимулює подальше удосконалення факельних систем. Значно зменшується негативний вплив

спалювання вуглеводневих газів на людину та навколишнє середовище при їх повному та бездимному згорянні. Цього, зазвичай, досягають, змішуючи їх з додатковим повітрям, водяною парою або подаючи розпилену воду. Повнота згоряння без подавання пари може бути забезпечена при витіканні газу, що скидається на факел, з високою швидкістю (не менше 0,2 швидкості звуку) і підсмоктування повітря. Достатньо розповсюдженим є використання факельних пристроїв, конструкція яких передбачає подавання пари в систему „газ-повітря”. Однак, як правило, співвідношення газ-повітря не дотримується або пару подають з перервами, а деякі заводи (причому їх є більшість) взагалі не використовують факельні пальники, що забезпечують бездимне спалювання газів. При цьому в атмосферне повітря потрапляють забруднюючі речовини, токсична кратність яких, наприклад сажі, сягає досить великих значень [4].

Так, згідно з [5] питомі значення викидів сажі при спалюванні факельних газів за відсутності обладнання для бездимного згоряння, становлять 175 г/м<sup>3</sup> газу. Тобто при спалюванні 3300 т газу в рік в атмосферу щорічно викидається близько 598 т цієї шкідливої речовини.

Як відомо, речовини, що містяться у викидах, розповсюджуються у напрямку вітру в межах сектора, обмеженого досить малим кутом розкриття факела в межах виходу з труби. На відстані від 4 до 20 висот труби ( $H$ ) факел торкається землі і деформується – це так звана зона перекиду факела викиду, яка характеризується відносно невисоким вмістом шкідливих речовин в приземному шарі. Максимальна ж концентрація шкідливих речовин спостерігається на відстані  $(8...40)H$  в зоні максимального забруднення приземного шару. Далі йде зона поступового зниження забруднення [6].

У відповідності з ОНД-86 [7] було проведено розрахунок концентрацій сажі в атмосферному повітрі при нерегульованому спалюванні "хвостових" газів на факельних установках, не обладнаних пристроями для бездимного згоряння. За результатами розрахунку встановлено, що при висоті ствола факела 35 м максимальна концентрація сажі 0,56 мг/м<sup>3</sup> спостерігається на віддалі 8 висот, тобто 280 м від джерела викиду. На віддалі 600 м, тобто поза межами санітарно-захисної зони (розмір якої для підприємств II класу становить 500 м [1]), концентрація складає 0,4 мг/м<sup>3</sup>, що майже в 3 рази перевищує гранично допустиму норму.

Сажа є шкідливою та небезпечною речовиною, яка окрім токсичного впливу на організм людини та оточуюче її середовище, володіє ще й властивостями накопичувача канцерогенів, зокрема 3,4-бенз(а)пірену ( $C_{20}H_{12}$ ) та інших поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАУ). Основна кількість ПАУ адсорбується на поверхні частинок сажі розміром менше 200 мкм, здатних проникати в дихальні шляхи людини і викликати утворення злоякісних пухлин [8].

Слід зазначити, що при спалюванні залишкових газів, як і будь-яких вуглеводнів спостерігається чітка кореляція процесу погіршення

якості згорання і викиду 3,4- бенз(а)пірену. Великі кількості його виділяються тільки при режимах горіння, що супроводжуються утворенням сажі. Досліді І.А. Щура і співробітників [9] показали, що за якісного спалювання газу концентрація 3,4- бенз(а)пірену в продуктах згорання невелика, а в ряді випадків навіть нижча фоновому рівню. Умови утворення канцерогенних речовин під час горіння викликає суттєвий інтерес, і є темою спеціальних досліджень. Однак, достовірним фактом є те, що утворення  $C_{20}H_{12}$  залежить від режиму горіння, перш за все від кількості кисню і температури, зміна яких можлива лише за умов регульованого спалення.

Крім того, як свідчать дослідження, великі та постійні обсяги викидів сажі можуть здійснювати вплив і на кліматичні умови: спотворювати систему випадання опадів, спричинювати збільшення посух та сприяти парниковому ефекту [10]. На відміну від більшості аерозолей, які охолоджують атмосферу шляхом збільшення її здатності відбивати сонячне випромінювання назад у космос, частинки сажі, неодмінного компонента димових викидів, навпаки сприяють підвищенню температури Землі, оскільки мають властивість добре поглинати теплові промені. І хоча внесок дисперсної сажі у парниковий ефект поступається ефекту емісії вуглекислоти, все ж слід враховувати факт його існування.

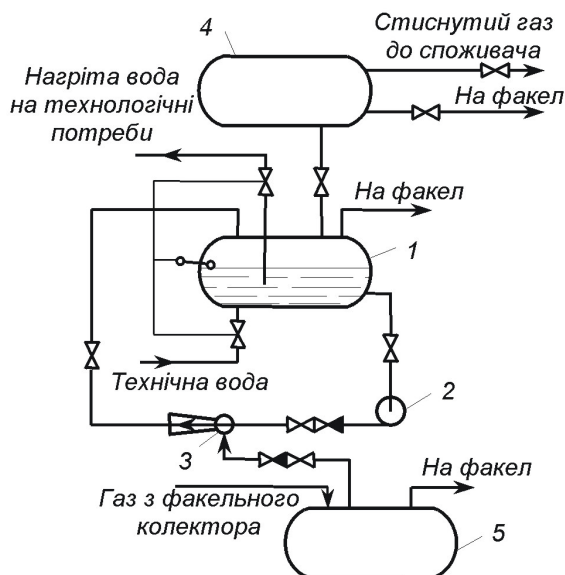
Одним з напрямків вирішення проблеми забруднення атмосферного повітря продуктами неповного згорання вуглеводневих газів є впровадження енергозберігаючих технологій, які б дали змогу максимально використати всі інгредієнти сировини і витримати гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у викидах.

Істотні резерви економії вуглеводневих енергоносіїв зосереджені в самій же нафтогазовій галузі. Можна сказати, що газопереробні заводи володіють значним енергозберігаючим потенціалом. Існує декілька шляхів збереження газоподібних вуглеводнів, призначених для спалювання на факельних установках. Одним із способів заощадження та одержання прибутків внаслідок економії вуглеводнів є збір факельних газів в газгольдері з метою їх подальшого цільового використання. Наприклад, повернення газів в технологічну лінію для одержання скрапленої пропан-бутанової суміші як екологічно чистого палива для двигунів. Можливим є застосування установки для збору та компримування вуглеводневих газів, в якості якої може бути успішно використана насосно-ежекторна установка (НЕУ) з рідинногазовим ежектором (РГЕ). Такі установки широко використовуються на нафтогазовидобувних підприємствах НГВУ для збору та компримування нафтового газу з кінцевих ступенів сепарації на установках підготовки нафти [11]. Для збору, компримування і внутрішнього транспорту вуглеводневих газів можуть бути також використаними компресорні установки на базі гвинтових маслозаповнених компресорів типу ВКГ. Однак, дані компресори володіють низкою не-

доліків, що обмежують область їх використання. Виробничий досвід таких компресорів показав недостатню їх експлуатаційну надійність, яка різко понижується у випадку, якщо при компримуванні відбувається випадання конденсату газу і наступне його розчинення в змащувальному маслі. Крім того, експлуатаційні параметри гвинтових компресорів не забезпечують діапазон зміни промислових показників газу [11].

З досвіду експлуатації НЕУ порівняно з компресорними станціями, обладнаними гвинтовими компресорами, мають низку суттєвих переваг, оскільки можуть перекачувати гази будь-якої температури, довільного компонентного складу, та при наявності в них крапельної рідини; дають змогу уніфікувати склад обладнання НЕУ з промисловим обладнанням, що використовується на підприємстві; надійні в роботі та нескладні у виготовленні, монтажі та обслуговуванні; монтується силами підприємства, їх обслуговування потребує меншої кількості обслуговуючого персоналу з більш низькою кваліфікацією; дозволяють досить просто утилізувати вторинну теплоту та конденсат, що утворюється при компримуванні газу. Такі установки допускають їх структурну багатоваріантність, що забезпечує технологічну гнучкість їх використання.

Насосно-ежекторна установка на базі РГЕ досить успішно може бути використана і для ефективної утилізації хвостових газів, що надходять у факельну систему при періодичних та постійних скидах. Технологічна схема НЕУ з замкнутою схемою руху робочої рідини, приведена на рисунку 2, є базовою для розробки установки, яка максимально враховуватиме технологічні особливості систем переробки газу, що включають скид газу на факел. В такому виконанні установка працює так. Робоча рідина (технічна вода) із сепаратора 1 відкачується насосом 2 і подається в РГЕ 3, який відкачує газ низького тиску із факельного сепаратора 5, куди він надходить з факельного колектора (рис. 1). Робочий процес в РГЕ такий: робоча рідина через рідинний патрубок надходить до соплового апарату, в якому її потенціальна енергія перетворюється в кінетичну. Одержавши значну швидкість на виході з сопла, струмінь робочої рідини захоплює за собою сусідні частинки газу, створюючи в даному перерізі розрідження, завдяки якому через газовий патрубок всмоктується низьконапірний газ. Рідина разом з газом через конфузори надходить у камеру змішування, де утворюється газорідинна суміш і відбувається стиснення в її складі газу за рахунок перетворення кінетичної енергії руху струменя рідини в потенціальну енергію тиску суміші. З камери змішування газорідинна суміш надходить в дифузори, де потік розширюється і внаслідок зниження швидкості тиск суміші знов підвищується. Отже, процес компримування газу в РГЕ здійснюється шляхом стиснення бульбашок газу дисперсійним потоком робочої рідини [12]. Утворена газорідинна суміш із РГЕ надходить знову до сепаратора 1, де робоча рідина відділяється від газу. Газ для подальшого очищення від крапельної рідини та конденсату із сепаратора 1 направляється в сепаратор 4, з якого над-



1 – сепаратор; 2 – насос; 3 – РГЕ;  
4 – сепаратор; 5 – факельний сепаратор

**Рисунок 2 – Технологічна схема НЕУ для збору та компримування факельних газів**

ходить у газопровід. Робоча рідина насосом 2 відкачується з сепаратора 1 і подається знову в РГЕ. Таким чином, вона безперервно циркулює по контуру РГЕ-сепаратор-насос-РГЕ, причому її об'єм в системі НЕУ повинен бути постійним. В результаті багатократної циркуляції робочої рідини, її температура поступово підвищується за рахунок тепла, в яке перетворюється енергія, затрачена на привод насоса. Для забезпечення надійної роботи останнього, виникає необхідність ефективного відведення тепла. Найбільш оптимальним є утилізація тепла шляхом підживлення установки холодною рідиною і скидом такої ж кількості нагрітої робочої рідини. Даний спосіб дозволяє найбільш просто використати вторинну теплоту на технологічні потреби, виключити із складу установки громіздку теплообмінну апаратуру та сумістити охолодження з підживленням установки для стабілізації в ній об'єму робочої рідини. Заданий рівень робочої рідини в сепараторі 1 контролюється і підтримується за допомогою регулятора рівня. Для більш надійної роботи НЕУ на всмоктувальному газопроводі та нагнітальному трубопроводі робочої рідини перед входом в РГЕ встановлюються зворотні клапани. В даній технологічній схемі НЕУ приведені лише ті структурні елементи, які є необхідними для розкриття сутності і принципів особливостей роботи установки компримування газу з допомогою РГЕ.

Удосконалення відбору та компримування “хвостових” газів і повернення їх з метою подальшого використання на підприємстві в якості палива для печей або котелень, являє собою принципово нову енергозберігаючу технологію. Впровадження такого виду схеми дозволить ефективно утилізувати факельні гази. Тобто, в результаті ми практично використовуємо ту енергію газів, яка просто витрачалася, так би мовити, на “пусте” нагрівання повітря, тим самим за-

вдаючи значної шкоди довкіллю тепловими викидами та викидами забруднюючих речовин. З іншого боку, дана технологія дозволить замінити нерегульоване спалення залишкових газів у факельних установках на регульоване в печах або котлах. Це дасть можливість підібрати режим спалювання, при якому значно зменшиться вміст у димових газах окислів азоту, сажі та канцерогенних речовин. Тобто стане можливим забезпечення повного згорання вуглеводнів, продуктами якого, як відомо, є вода та вуглекислий газ. Звичайно, що дані речовини мають значно менший негативний вплив на навколишнє середовище порівняно з продуктами неповного згорання.

Таким чином, можна сказати, що впровадження даної енергозберігаючої технології в технологічний процес газопереробних заводів дозволить не тільки значно знизити загальну витрату сировини та енергії, а й забезпечить виконання екологічних вимог, що зведе до мінімуму викиди шкідливих речовин в атмосферу.

### Література

- 1 Никитин Д.П., Новиков Ю.В. Окружающая среда и человек. – М.: Высш. школа, 1980. – 424 с.
- 2 Басманов Е. И. О влиянии атмосферного озона на колебания климата Земли // Вестник Харьковского университета. – 1980. – № 198. – С. 68-70.
- 3 Торочешников Н.С. и др. Техника защиты окружающей среды. – М.: Химия, 1981. – 368 с.
- 4 Петряшин Л.Ф., Лисяний Г.Н., Тарасов Б.Г. Охрана природы в нефтяной и газовой промышленности. – Львов: Вища школа, 1984. – 188 с.
- 5 Кирпатовский И.П. Охрана природы: Справочник для работников нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. – М.: Химия, 1980. – 376 с.
- 6 Дуганов Г.В., Лавриненко М.З. Охрана окружающей природной среды. – К.: Высша школа, 1988. – 304 с.
- 7 ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. – Л.: Гидрометеиздат. 1987. – 94 с.
- 8 Сигал И.Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. – Л.: Недра, 1988. – 312 с.
- 9 Шур И.А. Загрязнение атмосферы канцерогенными углеводородами // Реф. сб. ВНИИЭ-Газпрома. Природный газ и борьба с загрязнением воздушного бассейна. – Л., 1971. – С. 26-30.
- 10 Ситник К., Багнюк В. Чи допоможуть атомні станції розв'язати проблему глобального потепління? // Надзвичайна ситуація. – 2005. – №4 (90). – С. 45-54.
- 11 Рошак Й.І., Городівський О.В. Аналіз роботи промислових насосно-ежекторних установок по утилізації вуглеводневих газів // Нафт. і газова пром-сть. – 1996. – №4. – С. 55-56.
- 12 Донец К.Г. Гидроприводные струйные компрессорные установки. – М.: Недра, 1990. – 174 с.