

Франчук Юрій Йосипович

Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплогазопостачання та вентиляції,

<https://orcid.org/0000-0002-7910-8705>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Клапченко Василь Іванович

Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри фізики,

<https://orcid.org/0000-0002-4093-5500>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Кузнецова Ірина Олександрівна

Асистент кафедри фізики,

<https://orcid.org/0000-0003-1800-1733>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

АЛГОРИТМ УПРАВЛІННЯ РОБОТОЮ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ГАЗОРОЗПОДІЛЬЧИХ ПУНКТІВ

Анотація. Під час роботи розподільних мереж газопостачання тиск газу при русі до споживача знижується на газорозподільному пункті (ГРП). При зниженні тиску газу на ГРП спостерігається зниження температури газу, який транспортується (ефект Джоуля – Томпсона або адіабатичне розширення). Внаслідок зниження температури газу можливе утворення конденсату у вигляді рідких фракцій і кристалогідратів. У результаті цього стає вірогідним відхилення роботи регулятора тиску ГРП від запланованого режиму з можливим налипанням конденсату на стінках, імпульсних трубах та порожнинах регулятора, вплив на роботу контрольно-виміральної апаратури, забруднення фільтрів тощо. Традиційно з цим борються способом підтримання необхідної температури газу за рахунок часткового спалювання газу, що транспортується, з обігрівом приміщення ГРП та газу. Проте завжди при спалюванні газу витрачались певні його об'єми, а отже, і кошти, тож одночасно в атмосферу потрапляли продукти горіння газу. Крім того, спалювання газу, тобто використання відкритого вогню, підвищувало ризики роботи ГРП. У роботі пропонується інший алгоритм процесу підготовки газу при подачі його до споживача: відмовитись від додаткових витрат газу і вказаних з процедурою спалювання недоліків, зберігаючи необхідну якість підготовки газу для подальшого його використання за допомогою нескладного переобладнання байпасних ліній двома вихровими каналами. Основою такого способу газопідготовки стала серія робіт кафедри фізики з теоретичного обґрунтування статистичних закономірностей при формуванні направлених молекулярних потоків. Запропонована фізична статистика спирається на універсальний механізм хвильової далекодії (УМХД), селективний характер якого на стадії неперервних стрімерів визначає як швидкість хвильової компоненти, так і втрату обертальних степенів вільності руху молекул. Завдяки цьому ми спостерігаємо теплові ефекти, притаманні ефекту Ранка – Хіліша. Власне на цій фізичній основі дано пояснення роботи як вихрових труб, так і цілої низки атмосферних явищ, включаючи явища торнадо та появу блискавок. Саме на основі УМХД дано описання фізичної суті роботи двох вихрових каналів (конденсаційного та деконденсаційного) з виграшом по енергії та якості підготовки газової суміші.

Ключові слова: технологія підготовки газу; газорозподільчий пункт (ГРП); тиск та температура газу; пересичення; конденсація; деконденсація; кристалогідрати; універсальний механізм хвильової далекодії; ефект Ранка-Хіліша

Вступ

Незважаючи на розвинену мережу газопроводів, наявність значного потенціалу з транспортування газу, зберігання його у підземних сховищах газу, економіка України є дуже енергозатратна. Україна

витрачає значно більше ресурсів на одиницю продукції порівняно з іншими країнами, особливо відчувається розрив з країнами ЄС. На сьогодні Україна проводить активну імплементацію європейського законодавства у сфері енергозбереження й енергоефективності. На основі Директиви Європейського парламенту і Ради

2012/27/ЄС про енергоефективність Верховною Радою України та Кабінетом Міністрів України розроблено низку нормативних вимог, які гармонізовані з європейськими. Згідно з вимогами зазначених документів передбачаються заходи з ефективного виробництва, транспортування та споживання енергії, формування конкурентних ринків природного газу.

При цьому планується перехід від застарілих форм господарювання до ринкових умов. Підвищення енергоефективності передбачає на газовому ринку трансформацію газових мереж, збудованих кілька десятиліть тому, в сучасний ефективний механізм господарювання. Важливим моментом сучасності є вимоги щодо зменшення викидів забруднюючих речовин та парникових газів в атмосферне повітря. Це є вимоги міжнародних документів, що підписала Україна.

Також важливим питанням є підвищення надійності роботи газових мереж, зменшення небезпечних факторів при експлуатації газових об'єктів, підвищення надійності їх роботи.

Мета статті

Мета статті – задля забезпечення стабільного газопостачання провести аналіз методів газопідготовки природного газу на ГРП з урахуванням процесів можливої конденсації його компонентів при понижених температурах та розробити спосіб оптимізації такої підготовки шляхом застосування двох вихрових каналів в лініях транспортування газу.

Постановка задачі

Останні дослідження та публікації. Вимоги до роботи газового обладнання передбачені в нормативних документах [1–4]. Ці вимоги у зведеному вигляді та з необхідним обґрунтуванням стали основою підручників і посібників, які використовуються для підготовки фахівців у сфері газопостачання [5, 6]. У науковій роботі [7] проаналізовано роботу ГРС, вказано на недоліки, що виникають під час процесу зниження тиску, та запропоновано фрикційне нагрівання природного газу в енергетичному роздільнику. В науковій роботі [8] запропоновано шляхи надійного й економічного функціонування систем газопостачання в сучасних умовах. Запропоновано шляхи підвищення безпеки і ефективності роботи ГРП. Також в роботі розглянуті новітні технології та схеми, які відповідають вимогам європейських стандартів. Питання енергоефективного підходу до підігріву газу при роботі ГРП розглядалось у праці [9].

Основна частина. Для транспортування газу до споживача здебільшого використовується газорозподільний пункт (ГРП). ГРП – комплекс

обладнання для зниження тиску газу і підтримання його на заданому рівні, розташований в будівлях (окремо розташованих або прибудованих до інших будинків) та приміщеннях, вбудованих в будинки. Принципова схема обладнання ГРП наведена на рис. 1. Технологічна схема ГРП (ГРУ) передбачає наявність:

- 1) лінії редукування (як правило, однієї);
- 2) байпасу (на період ремонту обладнання лінії редукування).

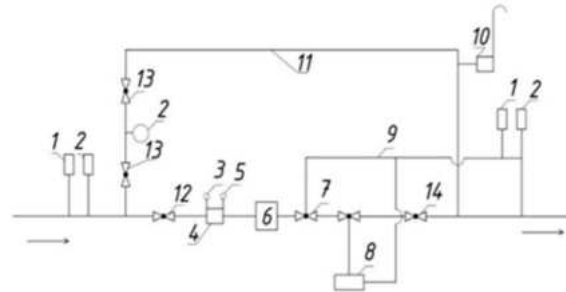


Рисунок 1 – Принципова схема ГРП [5]: 1 – термометр; 2 – манометр; 3 – манометр до фільтра; 4 – фільтр; 5 – манометр після фільтра; 6 – вузол обліку газу; 7 – запобіжно-запірний клапан; 8 – регулятор тиску; 9 – імпульсний газопровід низького тиску; 10 – запобіжно-свідний клапан; 11 – обвідний газопровід (байпас); 12, 13, 14 – засувки; 15 – кран

Задача подачі необхідної кількості газу при заданому тиску розв'язується згідно з розробленою та затвердженою режимною картою різного роду регуляторів тиску газу. Для роботи регуляторів тиску передбачається дотримання температури приміщення ГРП не нижче 5 °С. Найчастіше використовується газовий котел, розташований в прибудові до ГРП.

Необхідність підтримання певної температури газу на ГРП здійснюється для компенсації ефекту Джоуля – Томпсона, який виникає при зниженні тиску природного газу після регулятора. Відомо, що при дроселюванні газу знижується тиск і температура газу, а відповідно і вологовміст газу, що може призвести до утворення рідких фракцій та кристалогідратів у деталях регулятора тиску. Для запобігання цьому процесу приміщення, де встановлено регулятор, опалюється газом, в результаті чого підтримується необхідна температура газу.

Проте такий шлях підтримання необхідної температури газу має низку недоліків, оскільки вимагає спалювання певного об'єму газу, що потребує фінансових затрат, є небезпечним у використанні (відкритий вогонь) та забруднює атмосферу продуктами згоряння.

У 1931 р. під час вимірювання температури у промисловому циклоні Ж. Ранком було відкрито вихровий ефект, що зводився до зниження температури в центральних шарах закрученого потоку газу та підвищення температури на периферії

поток. В той час вихровий ефект не було прийнято французьким академічним товариством і дослідження не мали продовження.

Тільки у 1946 р. Р. Хілш опублікував результати своїх експериментів і запропонував конструкцію вихрової труби. На його напрацювання звернули увагу, тож вчені з інших країн почали дослідження в цьому напрямі. На сьогодні опубліковано тисячі робіт щодо використання ефекту в різних галузях людської діяльності.

В Україні вперше дослідження ефекту Ранка розпочали проводити професор В. С. Мартиновський і доцент В. П. Алексєєв [10] в Одеському технологічному інституті у 1952 р. Велику роботу з дослідження вихрових апаратів провела група під керівництвом доктора технічних наук М. Г. Дубінського. Ними було опубліковано багато робіт щодо закручених потоків.

Аналогічними питаннями досліджень займалися і вчені інших держав. Широке дослідження з використання вихрових трубок для сепарації газів проводилось в Oak Ridge National Laboratory [11]. У роботі [12] допускається бачення виникнення зворотного циклу Карно всередині вихрової труби. Детальний огляд літератури, спроба модифікувати теорію із [12], а також низку нових експериментальних даних було отримано в роботі [13].

Незважаючи на простоту ефекту Ранка – Хілша та наявність тисяч статей зі спробами його пояснити, жодне з пояснень не стало загальноприйнятою фізичною теорією. На експериментальних дослідженнях ефекту Ранка – Хілша захищено десятки докторських та кандидатських дисертацій. Проте на практиці, зокрема в газопостачанні, цей ефект використовується явно недостатньо внаслідок відсутності зрозумілої фізичної картини процесів у них.

Власне тому з 1999 р. на кафедрі фізики КНУБА розпочалась серія робіт зі статистичної фізики молекулярних потоків [14–16], оскільки з точки зору фізики термодинамічне описання не є детальним і не може бути повноцінним для багатьох сфер. Ані в газопостачанні, ані для описання фазових переходів II роду, ані для пояснення атмосферних явищ. Зокрема це є причиною відсутності теоретичного описання теплового ефекту Ранка – Хілша, що часто призводить до непорозумінь.

Як приклад, пошлемося на одне із застосувань ефекту Ранка – Хілша в газопостачанні [7], що проводилося на Щирецькій АГРС Львівської області та впроваджене на ГРС с. Нові Стрелища у 2007 р., яке автори розглядають як альтернативний спосіб підігріву газу. За їхнім твердженням така схема, основу якої складає вихрова труба Ранка – Хілша (в роботі [7] вона названа енергетичним роздільником

(рис. 2, поз. 2)), є схемою газорозподільної станції з фрикційним нагріванням природного газу. В акті впровадження стверджується, що використання запропонованого методу нагрівання дає змогу нагріти природний газ на 6 °С.

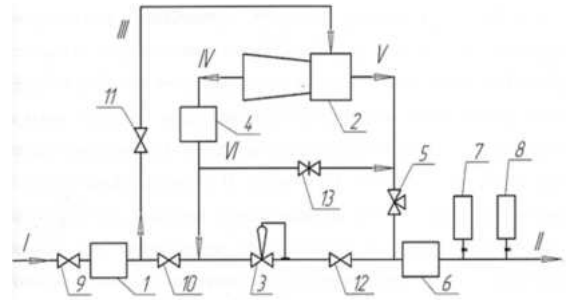


Рисунок 2 – Схема технологічної нитки газорозподільної станції з енергетичним роздільником та додатковою лінією теплового потоку [7]

Аналіз такого способу «підігріву» газу засвідчує, що мова йде лише про температурний перерозподіл в різних частинах доволі складної (з двома розділеними потоками) системи подачі газу. А ефект незначного нагріву міг бути лише завдяки відсутності теплоізоляції холодного виходу вихрової труби (як ефект теплової помпи). Проте це не гарантує якість підготовки газу на випадок значних знижень температури повітря.

Отже, в пропонованій роботі ми ставимо проблему оптимізації та підвищення якості газопідготовки на ГРП з використанням нових теоретичних досліджень із залученням прогресивних інженерних ідей і технологій.

Виклад основного матеріалу

Надалі відмовимося від шаблонного сприйняття проблеми газопідготовки як обов'язкового підігріву газу на ГРП різними способами. Сформулюємо її так: здійснити якісну, безпроблемну для процесу подачі та розподілу і спалювання, безпечну та енергоекономічну систему газопідготовки в умовах понижених температур навколишнього середовища.

Для цього, по-перше, розглянемо теоретичні основи поведінки газів за умови створення направлених потоків і з'ясуємо суть температурного ефекту у вихрових потоках. По-друге, запропонуємо інженерне рішення та його обґрунтування, тобто сформуємо своєрідний фізичний алгоритм роботи. По-третє, наведемо конкретний приклад реалізації запропонованого інженерного рішення.

Універсальний механізм хвильової далекодії (УМХД)

Методологічна основа механізму. У статистичній фізиці [14] часто виникали проблемні ситуації щодо описання окремих груп явищ. Зокрема атмосферних, екзотичним прикладом яких є торнадо, енергетичних

ефектів вихрової труби Ранка–Хілша, фазових переходів II роду. Тому вже давно [15] ми розпочали методологічний аналіз такого стану, що склався. Саме тоді була сформульована ідея про його причини.

Суть ідеї полягає в тому, що в молекулярних системах фізика враховувала лише взаємодії молекул як корпускул, повністю нехтуючи хвильовими властивостями цих самих молекул. Тобто корпускулярно-хвильовий дуалізм матерії, який, за гіпотезою та формулою де Бройля, повинен бути притаманним всім частинкам матерії, чомусь не розповсюдився на молекули.

Задля виправдання фізики посилалися на формулу де Бройля, в якій довжина хвилі де Бройля розраховувалася через абсолютне значення імпульсу молекул. Тоді за нормальних температурних умов довжини хвилі де Бройля у молекул мають значення, які менші за їхні газокінетичні розміри. І тому хвильовими властивостями молекул всі нехтували.

Тож базова ідея, яку ми розробляли тривалий час [15–17] і яка призвела до механізму УМХД, зводилася до того, щоб обґрунтувати необхідність використання у формулі де Бройля **відносного** імпульсу двох тотожних частинок. І тоді прояв хвильових властивостей молекул стає очевидним навіть при високих температурах. Більш того, всі системи тотожних частинок автоматично підпадають під хвильову далекодію, і тому ми матимемо справу з *універсальним механізмом хвильової далекодії*, сформульованим у роботі [17].

Своєрідним підсумком методологічних пошуків стала поява окремого варіанта статистичної фізики, який ми назвали *фрагментованою фізичною статистикою* [16]. Як окремий фрагмент в ній з'явилася додаткова *орієнтаційна складова ентропії*, яка у систем з порушеною ізотропією завжди відмінна від нульового значення. Більше того, нами показано, що для необмежених систем тотожних частинок притаманне спонтанне зростання орієнтаційної складової ентропії. Це названо здатністю таких систем до самоупорядкування, інакше кажучи, до самоорганізації.

Після цього виникла можливість дати пояснення атмосферним явищам, явищам квантової природи (надтекучість та надпровідність) та зрозуміти фізичні принципи роботи вихрової труби Ранка – Хілша.

Загальні закономірності УМХД. Ключем до розуміння УМХД є ось що. Якщо в потоці газу тотожних молекул є такі дві з них, які мають в напрямку руху майже однакові за величиною швидкості ($\Delta v < 10^{-4}$ м/с), то кожна з них в хвильовому представленні матиме довжину хвилі де Бройля:

$$\lambda_{дБ} = h/(m \cdot \Delta v), \quad (1)$$

що в мільйони разів перевищує їхні власні розміри.

І якщо молекули перебувають на менших за цю величину відстанях, перекриття їхніх хвильових представлень обумовить хвильову взаємодію між ними. Така *парна хвильова далекодія* є основою УМХД. При слабких молекулярних потоках парна хвильова далекодія та локальні кластери, утворені з них, підтримують у системі *упорядкований хаос*.

Зі зростанням анізотропії потоку виникають дві інші стадії УМХД, які характеризуються зростанням ступеня *хвильової конденсації*. Це стадія *хвильових стрімерів* – неперервно-дискретних хвильових утворень – та *хвильових сендвічів* – неперервних на всій протяжності системи утворень з високою стабільністю. На цих стадіях газ слід розглядати (за аналогією з квантовим явищем *надтекучості*) як двокомпонентну систему. Незвичайним (*надтекучим*) компонентом газу є хвильові стрімери або сендвічі з концентрацією n_λ молекул в них, а звичайним (*корпускулярним*) компонентом є всі інші молекули, що залишилися в упорядкованому хаосі $n_0 - n_\lambda$. Тоді ступінь анізотропії в потоці газу визначатиме показник $\alpha = n_\lambda/n_0$.

Завжди хвильові стрімери та сендвічі рухаються в молекулярній системі без тертя і мають швидкість руху c_0 , яка дорівнює найбільш імовірній швидкості молекул [18] цього газу за його температури T_0 : $c_0 = \sqrt{2RT_0/\mu}$. Цей компонент не дарма називають хвильовим конденсатом, тому що він має надзвичайно низьку термодинамічну температуру, яка іноді сягає $T_0/3$. Це найхолодніший компонент газового потоку, обумовлений його формуванням [17]. І найцікавіший з точки зору інженерного застосування.

Енергетика надтекучого компонента. Відповідно до [17] під час формування надтекучого компонента відбувається селективний відбір молекул за швидкостями та примушення їх до ліквідації обертальних степенів вільності. Тобто, щоб потрапити в склад хвильового стрімера чи сендвіча, молекула повинна втратити багато степенів вільності.

По-перше, кінетична енергія поступального руху молекул надтекучого компонента визначена:

$$W_{нт} = mc_0^2/2 = kT_0, \quad (2)$$

в той час як середня кінетична енергія молекул в стані хаосу за цієї температури $W_{нт} = 3kT_0/2$ [18]. Це означає втрату одного степеня вільності поступального руху. Куди зникла ця енергія? Залишилась в хаотичній складовій газу.

По-друге, молекули (в нашому випадку це переважно метан) в надтекучому компоненті втрачають всі степені вільності обертального руху. Для метану $i_{ог} = 3$. Важливо розуміти, куди поділася ця енергія. Вона випромінюється, поглинається обмежувальними стінками та передається пристінковим прошаркам газу. Тому такою

важливою для теплового балансу є теплоізоляція стінок вихрових апаратів. Розуміння цих процесів дає змогу правильно формувати баланс теплоти у вихрових апаратах.

Зауваження. Стосується воно інженерів, які будуть аналізувати вихрові апарати. Термін *вихрова труба* означає пристрій, який наділений одним входом та двома виходами. Така труба здатна до сепарації газу за температурою за рахунок розділення потоків. При цьому, якщо знову змішати ці розділені потоки, то виграшу за температурою не буде.

Якщо використовується вихровий пристрій з одним входом і одним виходом, то для нього більше підходить термін *вихровий канал*. На відміну від вихрової труби, вихровий канал здатний лише до зонального розділення газів за температурою в межах самого каналу, залишаючи її однаковою як на вході, так і виході.

Отже, жоден з вихрових пристроїв не продукує додаткової енергії з нічого! В певних конфігураціях його можна використати як своєрідну теплову помпу, що відбирає енергію від зовнішнього джерела за рахунок температурних перепадів.

Інженерне рішення й алгоритм роботи

Враховуючи вищенаведене, розроблено та запропоновано оптимальну схему енергоефективного способу газопідготовки на ГРП на холодний період, найпростіший спосіб реалізації якого наведено на рис. 3.

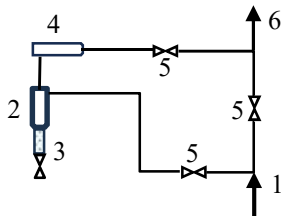


Рисунок 3 – Найпростіший спосіб введення газу в ГРП:
1 – відгалуження від магістралі; 2 – ВК-в; 3 – СВК;
4 – ВК-г; 5 – засувки; 6 – вхід в ГРП

Спосіб реалізовано на використанні обов'язкової байпасної лінії вводу природного газу в приміщення ГРП. Для цього на ній монтують три конструктивні елементи: *вихровий канал вертикального розміщення* (ВК-в), в нижній частині з'єднаний із системою видалення конденсату (СВК), а вихід газу з ВК-в під'єднано до входу у *вихровий канал горизонтального розміщення* (ВК-г).

Обидва входи у вихрові канали виконані у вигляді сопел з тангенціальним вводом потоку газу в циліндричний резервуар каналів. На фізичних основах роботи кожного елемента й обґрунтуванні їхньої ефективності зупинимось окремо.

ВК-в. Основний конструктивний елемент запропонованого способу, відображений на рис. 4.

У технологічних регламентах цей елемент може мати іншу назву – канал *конденсації*. Ця назва підкреслює його основний функціонал.

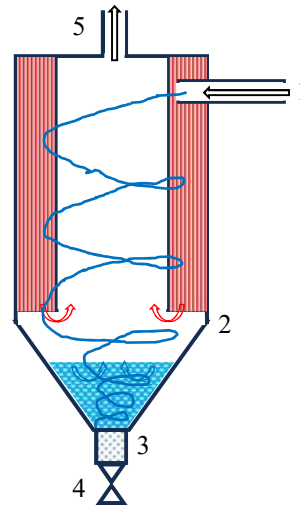


Рисунок 4 – Вихровий канал вертикального розташування (ВК-в): 1 – вхід газу; 2 – корпус ВК-в; 3 – газоконденсат; 4 – СВК; 5 – вихід газу

На рис. 4 червоним фоном відмічена зона підігрітого газу, блакитним – зона охолодженого газу, білим – проміжна зона, де температура газу коливається в межах його середньої температури T_0 . Спіральна лінія синього кольору ілюструє надтекучий компонент газу, тобто імітує профіль стрімера. Релаксація цього стрімера відбувається в нижній частині каналу, на поверхні газоконденсату.

Щоб усвідомити алгоритм роботи всього пристрою, необхідно на кожному елементі чітко розрізнити його позитивні та негативні функції. Наведемо всі позитивні ефекти, які спостерігаються в об'ємі ВК-в.

1п. Прогрів стінок каналу як захист від конденсації холодного газу, особливо біля точок його вводу. Відбувається за рахунок поглинання стінками випромінювання обертальних степенів вільності надтекучим компонентом. Одночасно відбувається і підігрів газу поблизу стінок.

2п. Поверхнева конденсація важких компонент у складі газу в зоні його охолодження (на поверхні конденсату). Глибину пониження точки роси [18] можна оцінити з рівняння теплового балансу, записаного для 1 моля газу:

$$\alpha(4/2)RT_0 + (1/2)(i/2)R \cdot \Delta T = 0, \quad (3)$$

де $i = 6$ – повна кількість степенів вільності, $1/2$ – доля газу в нижній частині каналу, $\alpha \sim 0,1$. Тоді зниження температури газу відносно T_0 :

$$\Delta T = -\alpha(4/3)T_0 \approx -36 \text{ K}. \quad (4)$$

3п. Видалення накопиченого конденсату. Здійснюється вручну чи автоматично за допомогою системи видалення 4 на рис. 4.

4п. Своєрідним позитивним бонусом є те, що газ отримує ту енергію, яка виділяється при конденсації.

Проте є одна, але важлива, негативна функція в роботі ВК-в.

1п. Це поява у перехідній зоні, ближче до холодної зони, високодисперсних зародків спонтанної об'ємної конденсації. Така конденсація завжди супроводжує процес переохолодження газу за відсутності центрів конденсації [18]. Аналогом подібного явища є всім відомий ефект виникнення туманів. Високодисперсні зародки конденсації виносяться газовим потоком і є найшкідливішою складовою конденсату, який може негативно вплинути на роботу газового обладнання. Тому їх потрібно обов'язково ліквідувати.

Такі зародки конденсації швидко зникають лише при їх перегріві. Існує навіть народна прикмета – «зникає, як туман на сонці». З такою задачею здатен впоратись правильно сконструйований другий вихровий канал ВК-г.

ВК-г. Конструктивне виконання цього вихрового каналу наведено на рис. 5. У технологічних регламентах цей канал можна назвати каналом *деконденсації* відповідно до своєї основної функції, яку він виконує.

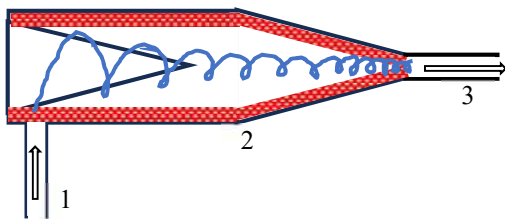


Рисунок 5 – Вихровий канал горизонтального розташування (ВК-г): 1 – вхід газу; 2 – корпус ВК-г; 3 – вихід газу

Цей канал додаткового опису не потребує. Привернемо увагу лише на те, що у нього повністю відсутня зона охолодження газу. Наведено його позитивні функції.

1п. Прогрів стінок каналу як захист від конденсації холодного газу, особливо біля точок його вводу. Відбувається внаслідок поглинання стінками випромінювання обертальних степенів вільності надтекучим компонентом. Одночасно відбувається і підігрів газу поблизу стінок.

2п. Деконденсація високодисперсних зародків. Відбувається за рахунок знесення силами інерції зародків конденсації у пристінкові прошарки підігрітого газу, де вони й зникають.

3п. Відсутня зона охолодженого газу, тому що область релаксації надтекучої компоненти відбувається у вихідному отворі каналу 3 (рис. 5), там, де змішується холодна надтекуча компонента з підігрітим газом. Тобто газ на виході має завжди ту саму усереднену температуру T_0 .

Отже, після ліквідації високодисперсних зародків конденсації, після зниження вмісту в газі компонент, здатних до конденсації (зниження точки роси), газ стає безпечним для роботи в системах за будь-яких понижених температур.

Обговорення результатів

Діюча установка та її робота. Виходячи з описаних вище теоретичних міркувань та з метою забезпечення стабільності роботи котельні потужністю 20 МВт, проведено розрахунки окремих вузлів та установки в цілому. На базі цих розрахунків індивідуально виготовлено окремі деталі, проведено механозбірні роботи та змонтовано установку в цілому (рис. 6). Перед пуском установки проведено утеплення всіх елементів завтовшки не менше 10 см.

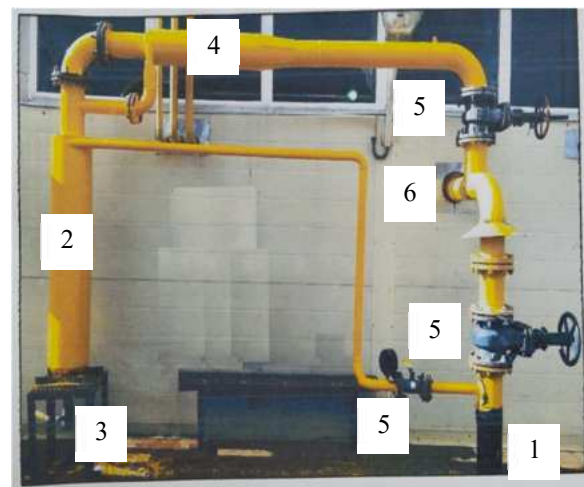


Рисунок 6 – Зовнішній вигляд вводу газу в діючу котельню потужністю 20 МВт після монтажу запропонованого способу газопідготовки (до проведення утеплення). Цифри відповідають позначенням схеми рис. 3

До початку введення в експлуатацію установки складно забезпечувалася стабільна подача тиску газу внаслідок проблем роботи регулятора тиску, а саме наявності рідких фракцій у порожнинах та імпульсних трубках, великої імовірності утворення кристалогідратів. Під час роботи установки через систему видалення конденсату проходило звільнення газу від рідких фракцій, а також механічних домішок. У результаті таких дій щодо підготовки газу імовірність запланованого режиму подачі газу значно зростає, що забезпечує стабільну роботу котельні в цілому.

У процесі роботи на котельню транспортувалося 800 – 1500 м³/год природного газу з перепадом тиску (на вході в установку 0,32 МПа до 0,25 МПа на виході з установки). Тиск 0,25 МПа потрапляв на регулятор тиску газу MADAS, який видавав необхідні параметри на пальники. Подача тиску газу нижче 0,25 МПа є небажаною, оскільки це не забезпечує необхідні вимоги до тиску газу при певних об'ємах подачі газу на пальники.

Верхня межа подачі тиску на установку обмежується класифікацією щодо тиску мережі газопроводів. Нижня межа подачі тиску після установки обмежується можливістю забезпечення необхідного об'єму подачі газу на пальники при заданому тиску. В описаному випадку необхідно подати на пальники не менше 450 м³/год природного газу при надлишковому тиску 0,03 МПа.

Висновки

1. Використання запропонованого методу підготовки газу забезпечить стабільну роботу регулятора тиску без повного обігріву приміщення.

2. Відмова від спалювання газу в приміщенні ГРП підвищить безпеку газопостачання.

3. Відмова від спалювання газу забезпечить економічний ефект та покращить екологію.

Список літератури

1. ДБН В.2.5-20-2018. Газопостачання. Київ: Мінрегіон України, 2019. 109 с.
2. Кодекс 2:2021. Газорозподільчі системи. Рекомендації щодо проектування, будівництва, контролювання за будівництвом, введення та виведення з експлуатації газорозподільчих систем. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2022. 88 с.
3. НПАОП 0.00-1.76-15. Правила безпеки систем газопостачання. Київ: Основа, 2015. 179 с.
4. Кодекс газорозподільних систем. *Офіційний вісник України*. Київ, 2015. № 92. С. 461.
5. Єнін П. М., Шишко Г. Г., Предун К. М. Газопостачання населених пунктів і об'єктів природним газом. Київ: Логос, 2002. 198 с.
6. Ткаченко В. А., Склярєнко О. М. Газопостачання. Київ: ІВНВКП «Укреліотех», 2012. 587 с.
7. Савченко О.О. Фрикційне нагрівання природного газу в енергетичному роздільнику: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03. Львів: Національний ун-т «Львівська політехніка», 2008. С. 24.
8. Сідак В. С., Супонев В. М., Броневський Ю. Ф. Сучасні та інноваційні технології в безпеці газопостачання. Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2015. 434 с.
9. Франчук Ю. Й., Пефтьєва І. О. Енергоефективний підхід до підігріву і обліку газу в стаціонарних ГРП системи газопостачання України. *The scientific heritage*. 2023. №114(114). С. 52 – 56.
10. Мартыновский В. С., Мельцер Л. З. О холодильном эффекте вихревой трубы. *Холодильная техника*. 1952. № 4. С. 75 – 96.
11. Baker P. S., Rathcamp W. R. Investigations on the Ranque - Hilsh (vortex) tube. Oak Ridge: Oak Ridge National Laboratory, 1954. 38 p.
12. Ahlborn B. K., Gordon J. M. The vortex tube as a classic thermodynamic refrigeration cycle. *Journal of applied physics*. 2000. Vol. 88, № 6. P. 3645-3653.
13. Gao C. Experimental study on the Ranque - Hilsh vortex tube. *PhD Study*. 2005. 151 p.
14. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Статистическая физика. Москва: Наука, 1964. 568 с.
15. Клапченко В. И. Фазовые переходы второго рода. Перколяционная теория. Киев: Випол, 1999. 36 с.
16. Клапченко В. І., Кузнецова І. О., Краснянський Г. Ю. Фрагментована фізична статистика та процеси самопорядкування в складних системах. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2023. № 53. С. 80 – 90.
17. Клапченко В. І., Кузнецова І. О., Краснянський Г. Ю. Універсальний механізм розвитку процесів самопорядкування в системах тотожних частинок. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2023. № 54. С. 122 – 131.
18. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Термодинамика и молекулярная физика. Москва: Наука, 1979. 552 с.

Стаття надійшла до редколегії 10.07.2024

Franchuk Yury

PhD (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation,
<https://orcid.org/0000-0002-7910-8705>

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Klapchenko Vasily

PhD (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physics,
<https://orcid.org/0000-0002-4093-5500>

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Kuznetsova Irina

Assistant of the Department of Physics,
<https://orcid.org/0000-0003-1800-1733>

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

ALGORITHM FOR CONTROLLING THE OPERATION OF ENERGY-EFFICIENT GAS PRODUCTION POINTS

Abstract. During the operation of gas distribution networks, the gas pressure when moving to the consumer decreases at the gas distribution point (GDP). When the gas pressure at the hydraulic fracturing site decreases, a decrease in the temperature of the transported gas is observed (Joule-Thompson effect or adiabatic expansion). As a result of a decrease in gas temperature,

condensate may form in the form of liquid fractions and crystalline hydrates. As a result, it becomes possible that the operation of the hydraulic fracturing pressure regulator will deviate from the planned mode with possible condensate adhesion on the walls, impulse tubes and cavities of the regulator, affecting the operation of instrumentation, contamination of filters, etc. Traditionally, this is dealt with by maintaining the required gas temperature through partial combustion of the transported gas with heating of the hydraulic fracturing room and gas. But always, when burning gas, certain volumes of it were consumed, and therefore funds, and at the same time gas combustion products entered the atmosphere. In addition, gas combustion, that is, the use of open fire, increased the risks of hydraulic fracturing. In this paper, it is proposed another algorithm for the gas preparation process when supplying it to the consumer: to abandon additional gas costs and the disadvantages indicated with the combustion procedure, while maintaining the necessary quality of gas preparation for its further use using a simple conversion of bypass lines with two vortex channels. The basis for this method of gas preparation was a series of works by the Department of Physics on the theoretical substantiation of statistical patterns in the formation of directed molecular flows. The proposed physical statistics is based on the universal mechanism of long-range wave action (ULWM), the selective nature of which at the stage of continuous streamers determines both the speed of the wave component and the loss of rotational degrees of freedom of molecular motion. Thanks to this, we observe thermal effects inherent in the Ranque-Hilsch effect. On this physical basis, an explanation is given for the operation of both vortex tubes and a number of atmospheric phenomena, including tornadoes and the appearance of lightning. It is on the basis of ULWM that a description of the physical essence of the operation of two vortex channels (condensation and decondensation) is given with a gain in energy and quality of preparation of the gas mixture.

Keywords: gas preparation technology; gas distribution point (GDP); gas pressure and temperature; satiation; condensation; decondensation; crystal hydrates; universal long-range wave mechanism; Ranque-Hilsch effect

References

1. DBN V.2.5-20-2018. (2019). Gas supply. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 109.
2. Code 2:2021. Gas distribution systems. Recommendations for the design, maintenance, monitoring of maintenance, monitoring and monitoring of the operation of gas distribution systems. (2022). Kyiv: DP "UkrNDNC", 88.
3. NPAOP 0.00-1.76-15. (2015). Safety rules for gas supply systems. Kyiv: Osnova, 179.
4. Code of gas distribution systems. (2015). *Official newsletter of Ukraine*. Kyiv, 92, 461.
5. Enin, P. M., Shishko, G. G. & Predun, K. M. (2017). Gas supply to settlements and facilities with natural gas. Kyiv: Logos, 198.
6. Tkachenko, V. A. & Sklyarenko, O. M. (2019). Gas supply. Kyiv: IVNVKP "Ukrgeletech", 587.
7. Savchenko, O. O. (2008). Frictional heating of natural gas in an energy separator: PhD thesis: 05.23.03. Lviv: National University "Lviv Polytechnics", 24.
8. Sidak, V. S., Suponev, V. M. & Bronevsky, Yu. F. (2015). Current and innovative technologies in the security of gas supply. Kharkiv: KhNUMG im. O.M. Beketova, 434.
9. Franchuk, Yu. Y. & Pefteva, I. O. (2023). Energy-efficient approach to preheating and supply of gas in stationary hydraulic fracturing of the gas supply system of Ukraine. *The scientific heritage*, 114(114), 52–56.
10. Martynovsky, B. S. & Meltser, L. Z. (1952). On the cooling effect of a vortex tube. *Refrigeration equipment*, 4, 75–96.
11. Baker, P. S. & Rathcamp, W. R. (1954). Investigations on the Ranque - Hilsh (vortex) tube. Oak Ridge: Oak Ridge National Laboratory, 38.
12. Ahlborn, B. K. & Gordon, J. M. (2000). The vortex tube as a classic thermodynamic refrigeration cycle. *Journal of applied physics*, 88(6), 3645-3653.
13. Gao, C. (2005). Experimental study on the Ranque - Hilsh vortex tube. PhD Study, 151.
14. Landau, L. D. & Lifshits, E. M. (1964). *Statistical Physics*. Moscow: Nauka, 568.
15. Klapchenko, V. I. (1999). Phase transitions of the second order. Percolation theory. Kyiv: Vipol, 36.
16. Klapchenko, Vasily, Kuznetsova, Irina & Krasnianskyi, Grygorii. (2023). Fragmented physical statistics and self-ordering processes in complex systems. *Management of Development of Complex Systems*, 53, 80–90.
17. Klapchenko, Vasily, Kuznetsova, Irina & Krasnianskyi, Grygorii. (2023). A universal mechanism for the development of self-ordering processes in systems of identical particles. *Management of Development of Complex Systems*, 54, 122–131.
18. Sivukhin, D. V. (1979). General physics course. Thermodynamics and molecular physics. Moscow: Nauka, 552.

Посилання на публікацію

- APA Franchuk, Yury, Klapchenko, Vasily & Kuznetsova, Irina. (2024). Algorithm for controlling the operation of energy-efficient gas production points. *Management of Development of Complex Systems*, 59, 248–255, dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2024.59.248-255.
- ДСТУ Франчук Ю. Й., Клапченко В. І., Кузнецова І. О. Алгоритм управління роботою енергоефективних газорозподільчих пунктів. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2024. № 59. С. 248 – 255, dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2024.59.248-255.