



УДК 622.278

**METHOD AND INSTALLATION OF MINE METHANE DISPOSAL AND COAL PRODUCTION WASTE****СПОСІБ І УСТАНОВКА ЗНЕШКОДЖЕННЯ ШАХТНОГО МЕТАНУ ТА ВІДХОДІВ ВУГІЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА**

Sklyarenko E.V. / Скляренко Є.В.

Ph.d. / к.т.н.

ORCID : 0000-0003-3952-6520

Vorobiov L.Y. / Воробйов Л.Й.

d.s., s.s. / д.т.н., с.н.с.

ORCID : 0000-0001-7958-6996

SPIN: 6154-2069

*Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, 2a, M. Kapnist Str., Kyiv  
Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ, вул. М. Капніст, 2а, Київ*

**Анотація.** В статті розглянуто актуальність знешкодження шахтного метану і відходів вугільного виробництва та утилізації їх енергетичного потенціалу для отримання теплової і електричної енергії. Наведено спосіб і установку для знешкодження метану шахтних вентиляційних викидів. Суть даного технологічного процесу полягає в тому, що процес конверсії вуглемісткого палива (зокрема, відходів вугільного виробництва) здійснюється у режимі "теплового удару" високотемпературним газовим теплоносієм, отриманим при допомозі шахтних вентиляційних викидів в якості окислювального дуття, які фільтруються через шар вуглемісткої засипки. Це дозволяє за короткий час перевести значну частину органіки вихідного палива і шахтного метану в горючий газ, який з високою ефективністю можна спалювати в існуючих теплоенергетичних установках. Поряд з цим, технологія дозволяє вирішувати і екологічні проблеми, що спричинені забрудненням навколишнього середовища метаном (як одного з основних парникових газів), а також шкідливими компонентами відходів вугільного виробництва.

**Ключові слова:** термохімічна конверсія, нейтралізація шахтного метану, відходи вугільного виробництва.

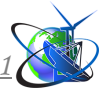
**Вступ.**

Одним із визначальних світових критеріїв оцінки економічної потужності країни є потенціал її паливно-енергетичного комплексу (ПЕК). Поряд з цим важливим фактором розвитку економіки країни є також екологічні аспекти.

Україна взяла на себе міжнародні зобов'язання по зменшенню шкідливих викидів у навколишнє середовище. Це обумовлює введення жорстких нормативів викидів і прийняття радикальних заходів для зменшення забруднення.

Серед світових екологічних проблем найбільшу увагу привертають проблеми викликані значними викидами в атмосферу шкідливих речовин, зокрема метану, як одного з основних компонентів парникового газу, оскільки метан є другим (після діоксиду вуглецю CO<sub>2</sub>) по розповсюдженості парниковим газом. За даними Глобальної ініціативи по метану (Global Methane Initiative, GMI) [1] загальносвітові об'єми викидів метану складають біля 14% від всіх викидів парникових газів. Крім того, руйнівна дія метану, стосовно озонового шару Землі, більш ніж в 20 разів перевищує дію CO<sub>2</sub>.

GMI - це добровільне партнерство урядів країн, приватних компаній,



банків, університетів і інших організацій, задачами яких є сприяння проектам які направлені на скорочення об'ємів викидів метану в атмосферу, пошуку шляхів його збирання і утилізації в якості цінного джерела екологічно чистої енергії, формуванню стратегії і ринків, а також усуненню перешкод для реалізації цих проектів. GMI з 2004 року є єдиним міжнародним проектом направленим, виключно, на скорочення викидів метану в атмосферу, з п'яти основних джерел: сільського господарства, вугільних шахт, полігонів ТПВ, стічних вод і нафтогазових систем.

Поряд з проблемами викликаних шахтним метаном, екологічні проблеми енергетики України набувають важливого значення і через необхідність широкого використання кам'яного вугілля, в силу його значних запасів (за оцінками, вітчизняних запасів кам'яного вугілля вистачить на 200 – 400 років) і його домінування (більше 95% від загального обсягу запасів органічного палива в країні) в структурі паливного балансу, а також шкідливого впливу на довкілля відходів вугільного виробництва.

### **Основний текст.**

**Метою даної роботи** є підвищення ефективності захисту навколишнього середовища, шляхом нейтралізації шахтного метану і відходів вугільного виробництва.

Недолік вугілля як палива, пов'язаний з проблемами захисту довкілля при його добуванні, транспортуванні та спалюванні в теплоенергетичних установках.

Так, сучасні методи добування і збагачення вугілля супроводжуються утворенням значних об'ємів шахтних відходів у вигляді відвалів, териконів та шламонакопичувачів. Наприклад, тільки у відвалах, териконах і шламонакопичувачах Донецького регіону, накопичено більше 1,3 млрд.т породи і шламів, з яких тільки біля 17% складає корисне їх використання (для ремонту доріг, виготовлення будівельних конструкцій і ін.), в тому числі всього 9% використовують для забутовки шахтних виробок [2]. Це при тому, що їх загальні енергетичні запаси (при середньому вмісту вуглецю у цих відходах 20%), за мінімальними підрахунками, оцінюють в 260 млн. т. у. п. [3].

В той же час, з пилом і продуктами горіння відвалів та териконів в довкілля попадає велика кількість шкідливих речовин (вуглеводнів, оксидів сірки і азоту, парникових газів, важких металів і ін.). Атмосферні ж опади розчиняють значну кількість хімічних елементів шахтних відходів, що створює навколо цих накопичень місця з високим вмістом солей, важких металів та інших шкідливих речовин, якими забруднюються земля, повітря, ґрунтові та поверхневі води і порушуються санітарні норми довкілля.

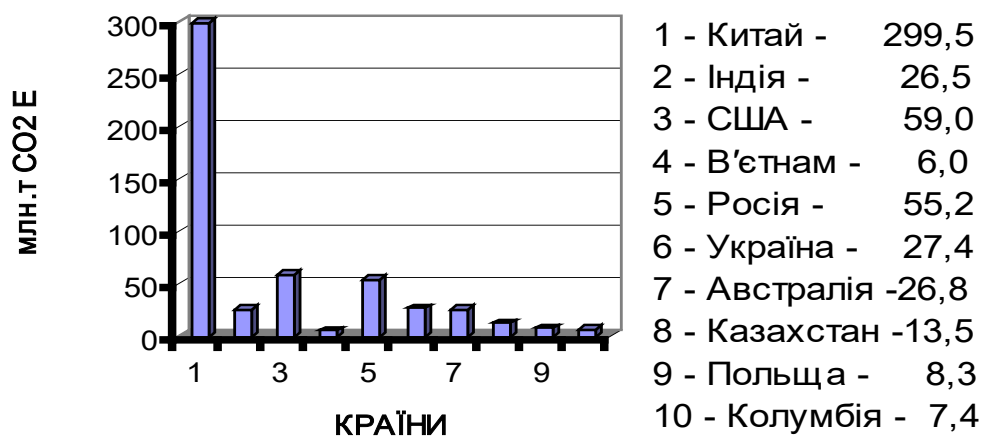
У вугільному виробництві одним із суттєвих джерел забруднення довкілля є шахтний метан, який в значних об'ємах виділяється із діючих і закинутих вугільних шахт, відвалів та териконів, а також в процесі добування, збагачення, зберігання і транспортування вугілля.

Так наприклад, за даними GMI [1] тільки в 2010 р. з вугільних шахт всього світу було викинуто в атмосферу біля 584 млн.т CO<sub>2</sub>, або 8% від загальносвітового об'єму викидів цього газу. І якщо не будуть прийняті



жорсткі заходи по скороченню джерел викидів метану, то їх об'єми до 2030 року можуть бути збільшені до 852,2 млн.т CO<sub>2</sub>.

На рисунку 1 наведено розрахункові об'єми викидів метану з вугільних шахт у 2010 році в країнах першої десятки, що входять до ГМІ і які є найбільшими світовими забруднювачами повітря цими викидами.



**Рисунок 1. Країни - найбільші забруднювачі повітря шахтним метаном в 2010 р**

*Джерело[1]*

З рисунка 1 видно, що приблизно, 5% від всіх приведених викидів шахтного метану цих країн склали викиди в Україні, що ставить її в п'ятірку лідерів основних забруднювачів повітря цими викидами CO<sub>2</sub>.

Необхідно зазначити, що біля 50% шахтного метану викидається в атмосферу у складі вентиляційних викидів повітря. Особливість цих викидів полягає в тому, що в них доля метану складає всього 1 – 1,5%. Крім того, ці викиди забаластовані значною кількістю дрібнодисперсного вугільного пилу. Разом з тим, на відміну від решти парникових газів, метан може бути використаний як джерело отримання корисної енергії.

В зв'язку з цим, задача зменшення забруднення атмосферного повітря шкідливими речовинами, включаючи метаном шахтних вентиляційних викидів, є одною з найважливіших і пріоритетних задач для всіх промислово розвинутих країн.

На сьогоднішній день, в арсеналі техніки захисту повітряного басейну від забруднювачів відомі абсорбційні, адсорбційні, каталітичні, термічні та інші методи санітарної очистки викидів. Питання стоїть тільки у правильному виборі методу і його економічну обґрунтуванні.

В той же час, відомі методи нейтралізації та очистки газових потоків від шкідливих викидів в атмосферу, такі як: метод глибокого охолодження, промивка рідким азотом, розчинення у рідкому аміаку при його конденсації, каталітична очистка, фільтрація через систему напівпроникних мембран і ін., в силу різних причин не набули широкого розповсюдження для нейтралізації метану вентиляційних викидів повітря вугільних шахт.

Проведений аналіз показав, що на сьогодні, існує кілька методів



ефективної нейтралізації і використання шахтного метану, які дають як екологічний, так і економічний зиск. Так, відомі проекти в яких шахтний метан спалюють в суміші з іншими паливами для отримання теплової енергії для опалювання приміщень, процесів сушіння, комунальних послуг і ін.

Відомі проекти в яких відбувається використання шахтного метану, в якості палива для двигунів внутрішнього згорання, або ж в якості сировини для хімічної промисловості, наприклад, для виробництва газової сажі, метанолу і ін.

Найбільшого прогресу в плані утилізації метану вентиляційних викидів досягли компанії Biothermica з технологією Vamox<sup>R</sup> і MEGTEC Systems з технологією VOCSIDIZER<sup>TM</sup> [1].

В основі цих технологій лежить принцип регенеративного допалу, де під дією високої температури відбувається деструкція шкідливих речовин (метану) і їх знешкодження. Так, доля знешкодженого метану досягає 96%, а тепло яке виділилось утилізується в теплову енергію і гарячу воду (75°C).

Другим відомим методом нейтралізації шахтного метану є метод, в якому шахтні вентиляційні викиди повітря подаються безпосередньо у топку теплоенергетичної установки (котли, печі, турбіни і ін.), в якості дуття для спалювання основного вуглеводневого палива і шахтного метану.

Якщо у першому випадку є певні складності з використанням отриманого низькопотенційного тепла, то у другому - є значні труднощі з підведенням вентиляційних викидів до теплоенергетичної установки, оскільки потребують очистки від дрібнодисперсного вугільного пилу. До того ж, ці установки (здебільш, шахтні котельні) є невеликої потужності, що не дозволяє використовувати значні об'єми шахтних вентиляційних викидів.

Поряд з шахтним метаном, значний шкідливий вплив на довкілля спричиняють відходи вугільного виробництва. Актуальність знешкодження цих відходів обумовлена наступним. По - перше - це їх об'єми. На сьогодні, у відвалах, териконах і шламонакопичувачах тільки Донецького регіону, накопичено біля 1,3 млрд.т породи і шламів [2]. Якщо прийняти середній вміст вуглецю у цих відходах 20% ( в шламах він може сягати 40 і більше відсотків), то загальні енергетичні запаси цих накопичень, за мінімальними підрахунками, можна оцінити в 260 млн. т. у.п. По- друге і не менш важлива обставина – це екологічна сторона медалі. Відвали і терикони є джерелом забруднення навколишнього середовища пилом, шкідливими компонентами ( CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, SO<sub>2</sub> і ін..) горіння териконів. Атмосферні ж опади розчиняють значну кількість хімічних елементів цих відходів, забруднюючи землю, повітря і ґрунтові води, та створюючи місця з високим вмістом солей, важких металів та інших шкідливих речовин, що порушує санітарні норми довкілля.

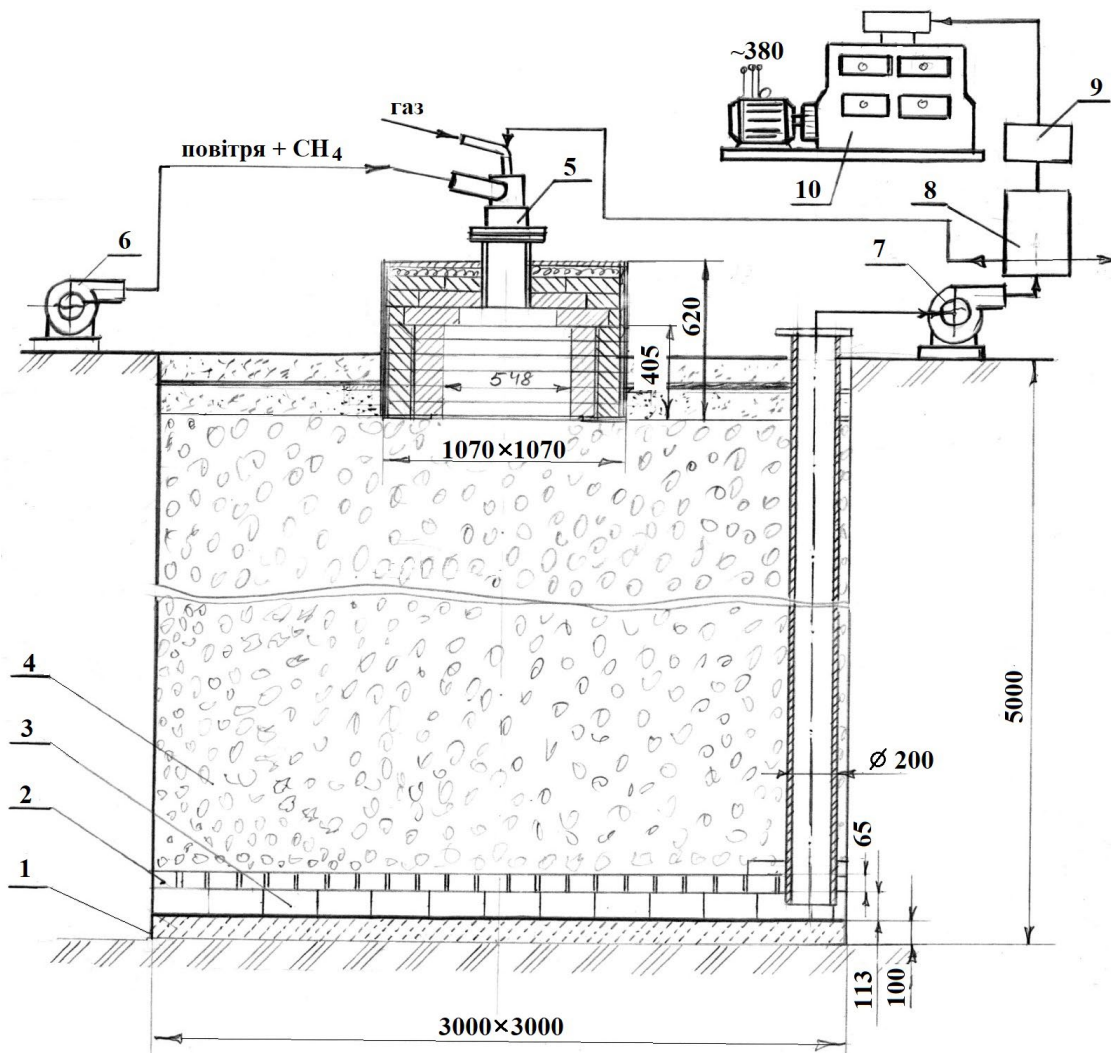
В Інституті технічної теплофізики НАН України розроблена технологія ефективної утилізації енергетичного потенціалу метану шахтних вентиляційних викидів, яка поряд з метаном, дозволяє знешкоджувати і утилізувати енергетичний потенціал відходів вугільного виробництва. В основі даної технології лежить принцип котлової газифікації, описаний в роботах [3, 4]. Згідно технології, газифікацію шару вуглемістких відходів проводять шляхом





фільтрації високотемпературних продуктів згоряння любого органічного палива, де в якості окислювача використовуються вентиляційні викиди вугільної шахти.

Принципова схема установки, що реалізує дану технологію наведена на рисунку 2.



**Рисунок 2. Принципова схема установки для нейтралізації шахтного метану і відходів вугільного виробництва**

1 – котлован; 2 – колосникова решітка; 3 – газовідвідний канал;  
4 – вуглемістка засипка; 5 – пальник; 6 – вентилятор; 7 – ексгаустер;  
8 – газгольдер; 9 – система очистки; 10 – споживач газу.

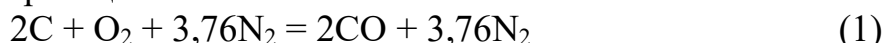
Авторська розробка

Установка працює наступним чином. В котлован (1) завантажується вуглемістка засипка (4), верхній шар якої, при допомозі пальника (5) підпалюється та розігрівається до температури 900 ...1000°C. В якості окислювача (дутьтя) в цю зону, при допомозі вентилятора (6), подаються вентиляційні викиди повітря вугільних шахт, що містять метан. Цей потік фільтрується через розігрітий шар вуглемісткої засипки.

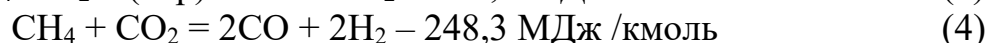
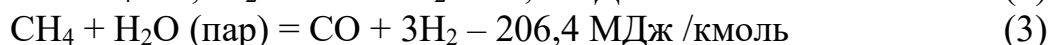
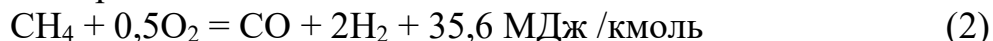
Внаслідок цього, кисень вентиляційних викидів приймає участь в процесі газифікації вуглемістких відходів і вугільного пилу, що привноситься потоком



вентиляційних викидів, за реакцією:



А шахтний метан вентиляційних викидів піддається паро - вуглекислотній конверсії до CO і H<sub>2</sub> за реакціями:



Отриманий горючий газ фільтрується через товщу вуглемісткої засипки (4), через колосникову решітку (2) та газовідвідний канал (3) при допомозі ексгаустера (7), подається до газгольдера (8), з якого після системи очистки (9), надходить до споживача газу (10), маючи теплоту згоряння 5...6,5 МДж/м<sup>3</sup>.

Згідно розрахунків, установка з приведеними розмірами котловану (рис.2), може забезпечити роботу, наприклад, котла ДКВР-10–13–250 впродовж більше як 30 годин, при номінальній потужності. Для забезпечення ж роботи котла впродовж, наприклад, опалювального сезону, розміри котловану необхідно збільшити, приблизно в 10 разів.

Перевагою такої технології є те, що отриманий горючий газ можна акумулювати в спеціальних сховищах (газгольдерах), а також транспортувати на відстань 100...150 км трубопровідним транспортом. Ще одною суттєвою перевагою технології є те, що при фільтрації горючого газу через шар вуглемісткого матеріалу, відбувається його часткова очистка від пилу. Це дає можливість значно спростити систему очистки горючого газу і скоротити капітальні витрати на її створення при використанні його в газопоршневих установках комбінованого виробництва тепла та електроенергії. З іншого боку, отриманий газ можна безпосередньо спалювати в котлах чи інших теплоенергетичних установках, без охолодження і очистки, в режимі самозаймання, що збільшує його теплоту згоряння на 15 -20%.

Поряд з отриманням енергетичного продукту за рахунок використання відходів вугільного виробництва і шахтних вентиляційних викидів, отримується суттєвий природоохоронний ефект, стосовно скорочення викидів шахтного метану у навколишнє середовище.

Так, техніко – економічні розрахунки показують, що наприклад, для газифікації 1т/год рядового вугілля необхідно використати до 2000 нм<sup>3</sup>/год шахтних вентиляційних викидів. При цьому, скорочення викидів шахтного метану складе до 20 нм<sup>3</sup>/год і буде отримано більше 3000 нм<sup>3</sup>/год горючого газу, що еквівалентно економії до 400 нм<sup>3</sup>/год природного газу, або більше 3,5 млн.нм<sup>3</sup>/рік.

Якщо ж для спалювання отриманого генераторного газу використовувати також шахтні вентиляційні викиди (до 4000 нм<sup>3</sup>/год), то це дозволить скоротити загальні викиди шахтного метану більш ніж на 480 тис.нм<sup>3</sup>/рік і утилізувати його енергетичний потенціал для отримання теплової та електричної енергії.

Таким чином розроблена технологія і установка вирішують наступні задачі:

1. Знешкодження шахтного метану і відходів вугільного виробництва та утилізація їх енергетичного потенціалу для виробництва теплової та



електричної енергії.

2. Економія традиційних викопних палив і підвищення енергетичної безпеки підприємства.

3. Створення додаткових робочих місць.

4. Покращення санітарно-гігієнічних умов праці на вугільних котельнях, за рахунок переведення котлів на отриманий горючий газ.

5. Сприяння проведенню рекультивації земель і відновленню ландшафтів.

### **Висновки.**

На підставі проведених аналітичних та експериментальних досліджень показана можливість нейтралізації шкідливого впливу, на навколишнє середовище, шахтного метану і відходів вугільного виробництва, та утилізації їх енергетичного потенціалу для отримання теплової і електричної енергії. Приведена принципова схема установки для реалізації запропонованої технології і показана ефективність її застосування.

### **Література.**

1. Глобальная инициатива по метану [www.globalmethane.org](http://www.globalmethane.org)

2. Паливно-енергетичний комплекс України у цифрах і фактах / Ковалко М.П., Віхарев Ю.О., Денисюк С.П., Єрохін О.О., Ковальов О.В., Ніколаєв Є.І., Осінчук З.П.; за редакцією Ковалка М.П. – Київ: Українські енциклопедичні знання, 2000. – 152 с.

3. Носач В.Г., Родионов В.И., Шрайбер А.А., Скляренко Е.В. Повышение экологической безопасности угледобычи путем термохимической переработки углесодержащих отходов //Пром.теплотехника. – 2003. – Т.25. - №4. – С.86 – 89.

4. Скляренко Є. В., Воробйов Л.Й. Дослідження термохімічної конверсії вуглемістких відходів. Modern engineering and innovative technologies. 2020, №13. Part 1. P.64-75.

***Abstract.** The article considers the relevance of decontamination of mine methane and coal production waste and the utilization of their energy potential for obtaining thermal and electrical energy. The method and installation for neutralization of methane from mine ventilation emissions are given. The essence of this technological process is that the conversion process of carbon-rich fuel (in particular, coal production waste) is carried out in the "thermal shock" mode with a high-temperature gas coolant obtained with the help of mine ventilation emissions as an oxidizing blowing, which are filtered through a layer of carbon-rich backfill. This allows in a short time to convert a significant part of the organics of the original fuel and mine methane into combustible gas, which can be burned with high efficiency in existing thermal power plants. Along with this, the technology allows solving environmental problems caused by environmental pollution with methane (as one of the main greenhouse gases), as well as harmful components of coal production waste.*

***Key words:** thermochemical conversion, mine methane neutralization, coal production waste.*

*Стаття підготовлена у рамках виконання науково-дослідної відомчої тематики ІТТФ НАН України, тема "Розвиток методів та засобів підвищення екологоенергетичної ефективності в газотурбобудуванні та теплоенергетиці" (шифр 1.7.1.896).*

Стаття відправлена 17.08.2022 р. © Скляренко Є.В., Воробйов Л.Й.