

**УДК 622.272.31:622.33**

**Маланчук З. Р., д.т.н., професор, Заєць В. В., к.т.н., старший викладач** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне), **Сольвар Л. М., директор, Романчук С. С., заступник директора** (ДВНЗ Червоноградський гірничо-економічний коледж, м. Червоноград),  
e-mail: v.v.zayets@nwum.edu.ua

## **МЕТОДИ ПЕРЕТВОРЕННЯ ВУГІЛЛЯ В ГАЗОПОДІБНИЙ ЕНЕРГОНОСІЙ НА МІСЦІ ЗАЛЯГАННЯ**

**Проаналізовано розробку методів підземної газифікації вугілля для вирішення проблеми забезпечення країни енергоресурсами. Головна проблема – розробка та впровадження нових перспективних способів виробництва енергоресурсів та підвищення ефективності існуючих.**

***Ключові слова:* процес газифікації, енергетичні ресурси, вугілля, вугільний пласт.**

Швидкий розвиток виробничих сил, пов'язаний з великою витратою палива і вуглеводневої сировини, нерівномірність і складність видобутку горючих копалин супроводжується зростанням цін і збільшенням транспортних та матеріальних витрат.

У хімічній індустрії найбільш нагальним завданням є переведення вугілля в синтетичний метанол. Це дозволить зменшити вплив сезонних коливань у постачанні природного газу на великі підприємства та дозволить відмовитися від застосування значної кількості жаротривких легованих сталей [1].

Однак, перехід на тверде паливо має і ряд негативних явищ для промислового виробництва.

Робота з твердим паливом в апаратно-технічному плані складніше, ніж з рідкими і газоподібними вуглеводнями. Видобуток і транспортування твердого палива, його сушіння, подрібнення, подача в газогенератор, видалення золи, очищення технологічного газу – все це вимагає застосування допоміжних механічних і технологічних пристосувань. Крім того, всі технологічні операції вимагають енергетичних витрат.

Таким чином, перехід на нову сировинну базу пов'язаний: зі зростанням питомих капітальних витрат, зменшення ККД процесу,

збільшення витрати робочої сили на тонну кінцевого продукту. Але з якими б витратами не був пов'язаний цей перехід, його не можна розглядати як альтернатива, а як необхідність. Найбільш важливим етапом вирішення цього завдання є проблема газифікації твердого палива та отримання генераторного газу [2].

Досвід вітчизняних дослідників показує, що шлях від окремих експериментів на декількох свердловинах до промислового підприємства з підземної газифікації вугілля значний.

Питання стабільного і довготривалого виробництва штучного газу і постачання ним споживача є складним і вимагає для своєї реалізації великої кількості свердловин. Постійна експлуатація цих свердловин має бути заснована на спеціальному технологічному регламенті. Останніми роками були проаналізовані варіанти використання газу підземної газифікації вугілля (ПГВ) з отриманням водню, замінника природного газу, метанолу, бензину, дизельного палива, синтез-газу, електроенергії і вуглекислого газу для інтенсифікації видобутку нафти. В ході випробувань в природних умовах здійснені різні способи збійки свердловин і вогневого опрацювання каналів, режими газифікації на пароповітряному і парокисневому дутті, проводилося вивчення дії на навколишнє середовище, обвалення і зрушення порід і осідання поверхні в межах дослідних газогенераторів [3].

Метою досліджень є отримання генераторного газу більш високої калорійності шляхом його попереднього коксування в пласті, порівняно з традиційною газифікацією з повітряним дуттям.

У зв'язку зі сформованими труднощами в забезпеченні нафтопродуктами і газом в Україні проявляється інтерес до пошуку альтернативних напрямків вирішення паливно-енергетичної проблеми. Увага спрямована, перш за все, на використання бурого вугілля, сланців, низькосортного кам'яного вугілля і вуглевмісних відходів.

Розвідані і прогнозні запаси нафти і природного газу в порівнянні з запасами вугілля в Україні досить обмежені. При сучасних рівнях видобутку природного газу в Україні вистачить на 50...60 років, нафти на 40...50 років, а вугілля на більш ніж 500 років.

Вирішення проблеми забезпечення країни енергоресурсами необхідно розглядати в двох напрямках:

- підвищення ефективності використання існуючих енергоносіїв;
- розробка та впровадження нових перспективних способів виробництва енергоресурсів з урахуванням наявної сировинної бази.

На сьогодні одним з напрямків розвитку паливно-енергетичного комплексу є переробка бурого вугілля, зокрема, його напівкоксування та газифікація з метою одержання енергетичного газу. Однією з перспективних схем отримання висококалорійного газу з вугілля є технологія його газифікації на основі напівкоксування.

Під процесом газифікації твердого палива розуміють складний термохімічний процес перетворення твердого палива в газоподібний. При цьому горіння та газифікацію слід розглядати як єдиний процес, що, в першу чергу, підтверджується схожістю протікання хімічних перетворень під час перебігу цих процесів.

У процесі газифікації пласта або каналу вугілля виділяють два етапи. Перший – етап термічного розкладання, при якому з вугілля виділяються волога і леткі парогазові речовини, залишається коксовий залишок, горючу частину якого складає вуглець. Другий – етап газифікації, при якому: по-перше, вуглець коксового залишку за допомогою вільного або пов'язаного кисню перетворюється на горючі гази; по-друге, ці гази взаємодіють з киснем і водяною парою. Саме етап газоутворення є головним та визначальним для складу газу підземної газифікації.

При газифікації вугілля теплотворна здатність газу ПГВ в основному залежить від складу повітряної суміші, що подається для горіння. При подачі атмосферного повітря теплотворна здатність газу становить 3,35-4,19 МДж/м<sup>3</sup>, який може бути використаний для енергетичних цілей (виробництво електроенергії, пари, гарячої води). Однак такий газ економічно недоцільно транспортувати на відстань більше 25-30 км, тому область його застосування різко звужується [4].

Експериментально підтверджено, що газифікація вугільних пластів з підвищеним вмістом кисню сприяє зростанню температури в окислювальній зоні і більш повному реагуванню вуглецю вугілля. Теплота згоряння газу досягає максимальних значень для бурого вугілля 6,5-6,7 МДж/м<sup>3</sup>, кам'яного вугілля 8,0-8,2 МДж/м<sup>3</sup> при концентрації кисню в дутті 65-70% при звичайному тиску і 10,2-10,4 МДж/м<sup>3</sup> при підвищеному тиску.

Існують різні методи газифікації вугілля. Способи газифікації вугілля, при яких в газ перетворюється в основному тільки летюча частина вугілля, називаються способами неповної або часткової газифікації вугілля.

Низькотемпературне розкладання вугілля – напівкоксування, здійснюється за температури 550-600°, а коксовий залишок при

цьому називається напівкоксом. Теплотворення газу напівкоксування досягає 25000-34000 кДж/м<sup>3</sup>. Вихід газу в цьому випадку з тони вугілля становить 60 м<sup>3</sup>/т.

Середньотемпературне коксування вугілля здійснюється за температури 700-800°, а коксовий залишок цього процесу називають середньотемпературним коксом. Теплотворення газу середньотемпературного коксування становить 21000-25000 кДж/м<sup>3</sup>. Вихід газу – 200 м<sup>3</sup>/т.

Високотемпературне розкладання вугілля – коксування проводиться при температурі 900-1100° і твердий залишок цього процесу називають коксом. Коксовий газ має теплотворність 17000-20000 кДж/м<sup>3</sup>. Вихід газу – 320 м<sup>3</sup>/т.

При газифікації вугілля у пласті розглядається його ділянка, як природний шар вугілля, що складається з вугільних шматочків, розділених порами і тріщинами. Для газифікації ділянки вугільного пласта таким методом пласт запалюють і продувають по природними порами. Пори і тріщини переважної кількості вугільних пластів характеризуються високим опором дуттю, що вимагає застосування дуття із високим тиском, яке є дороговартісним. Існують методи штучного механічного або вибухового рихлення вугільних пластів, однак і вони не забезпечують достатню техніко-економічну ефективність.

Проблему збільшення проникності вугільного пласта вирішує метод його газифікації у свердловинах-газогенераторах. У цьому випадку пласт пробурюють близько розташованими один до одного свердловинами, які виступають у ролі штучних тріщин. Однак процеси газифікації вугілля при цьому протікають навколо кожної свердловини без регулювання. При паралельній роботі декількох свердловин це призводить до нерівномірності процесу газифікації вугілля навколо кожної з них.

Відомий також метод газифікації вугілля в шарі вугілля струменем дуття, який передбачає подачу струменя на розпалену вугільну поверхню. Цей метод не знайшов практичного застосування через складності застосування.

На практиці застосовувався ще метод підземної газифікація вугілля в масиві та метанодренажі по каналах через свердловини. Його недоліком є низька калорійність генераторного газу.

Аналіз існуючих методів показує, що найбільш ефективним методом газифікації є коксування. Для випалювання у відвалі збійки пропонується використовувати каптований газ, за рахунок цього тепла генераторний газ на виході отримуємо більш високої калорійно-

сті (збільшується коефіцієнт газифікації). При цьому використовуються свердловини дегазації для нового дуття і виведення генераторного газу. Перевагами методу є утворення більш висококалорійного газу, збільшується продуктивність газифікації з однієї тони вугілля, позитивно впливає на екологію, так як зола і порода залишається під землею при відпрацюванні вугілля, а також запобігається потраплення метану в атмосферу. Сфера використання генераторного газу – від отримання тепла та електроенергії до хімічної переробки [5].

Розглянемо запропонований метод газифікації вугілля в каналі з регулюванням проходу по ньому дуття і газу з індивідуальним контролем за процесом газифікації, що протікає в кожному каналі при їх паралельній роботі. Цей метод газифікації вугілля базується на тому, що палаючу поверхню вугільного пласта омивають потоками дуття і газу, при цьому можна отримати горючий газ та вигазовувати певну кількість вугілля. Для проведення газифікації цим методом необхідно у вугільному пласті створити канал такого поперечного перерізу, а точніше, з таким гідравлічним опором, щоб по ньому проходили дуття і газ в необхідній кількості при економічно доцільному тиску. Найбільш часто для вигазовування ділянки вугільного пласта потоковим методом він оконтурюється відповідними каналами газифікації, в один кінець якого подається дуття, через інший відводиться газ. На рисунку представлена схема вугільного пласта, в якості підігріву якого служить метан, отриманий при дегазації попереднього пласта. При такому способі з вугілля під дією метану і дуття спочатку виділяються летючі речовини, а потім здійснюється газифікація коксового залишку вугілля звичайним дуттям. Теплота згоряння отриманого газу при повітряному дутті становить  $3300 \text{ кДж/м}^3$ . Летючі частини вугілля Донецького басейну становлять 44%. Таким чином теплота згоряння газу отриманого способом описаного вище і представленого на рисунку складе  $9400\text{-}17000 \text{ кДж/м}^3$ .

Традиційні методи видобутку і споживання вугілля обумовлюють перетворення вугільних регіонів у зони екологічного лиха. Особливо це характерно для вуглеспалюючих виробництв. На кожен кВт встановленої потужності вугільної електростанції щорічно викидається в атмосферу 500 кг золи і шлаків, 75 кг оксидів сірки і 10 кг оксидів азоту.

Тому використання вугілля в якості первинного енергоносія екологічно виправдано тільки в двох випадках:

1. Спалювання вугілля повинно супроводжуватися обов'язковим уловлюванням твердих і газоподібних шкідливих речовин.

## 2. Перетворення вугілля на місці його залягання в екологічно чистіший газоподібний енергоносі.

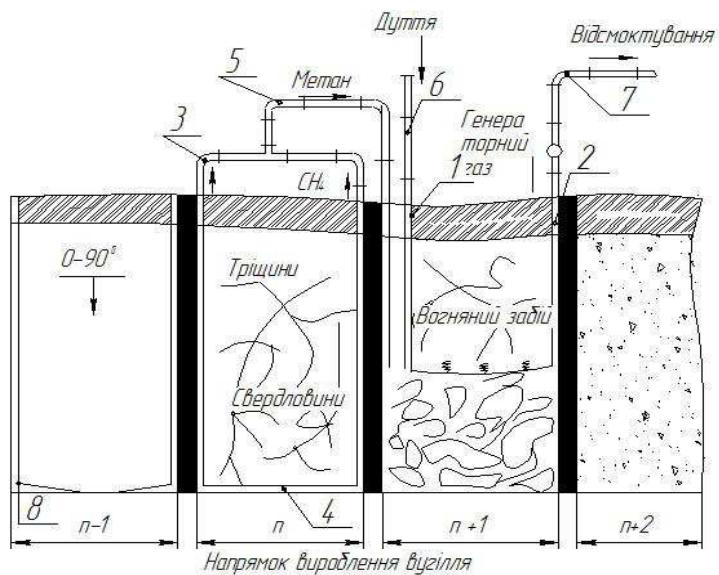


Рисунок. Схема напрямку відпрацювання вугілля:

- 1 – дуттєва свердловина газифікованої панелі; 2 – газівідвідна свердловина газифікованої панелі; 3 – метановідвідна свердловина дегазаційної; 4 – збірка першого спалюючого каналу; 5 – збірний трубопровід;
- 6 – трубопровід дуття; 7 – газівідвідний трубопровід;
- $n$  – дегазаційна панель;  $n-1$  – газифікована панель;  $n+1$  – підготовча панель (свердловини пробурені, здійснюється збірка-освіта забою);
- $n+2$  – дегазована і вуглегазифікована панель

Газ ПГВ в екологічному відношенні порівняно зі спалюванням твердого та рідкого палива є чистішим, тому що при його згорянні практично не утворюється шкідливих домішок (сірчистого ангідриду, твердих частинок), а вміст оксидів вуглецю та азоту незначний [6].

Побічні продукти газифікації, що утворюються в підземному газогенераторі виносяться разом з газом на поверхню і випадають у вигляді газового конденсату, який піддається очищенню відомими способами.

Відпрацювання вугільних пластів проходить так, що не відбувається провалів земної поверхні і повністю зберігається ґрунтовий шар. Узагальнення досвіду робіт станції "Підземгаз" показує, що осідання земної поверхні над вигазованим простором становить 1-3 м при потужності газифікованого пласта 8-10 м. Ландшафт і родючий шар ґрунту практично не порушуються, земля над відпрацьованими

газогенераторами використовується в підсобному господарстві, для посіву зернових культур і багаторічних трав. Додаткових витрат на рекультивацію цих земель не було потрібно. Забруднення повітряного басейну і водоносних горизонтів не спостерігалось [7].

Однак при ПГВ можливе забруднення підземних вод у зв'язку з наявністю прямого їх контакту з вогнищем газифікації, а також можливих витоків газу з підземного газогенератора. Ступінь і масштаби забруднення підземних вод залежать від природних умов. У цілому виконані дослідження показують, що негативний вплив процесу носить локальний характер і не є загрозливим, оскільки навколо вогнища горіння утворюється область депресії підземних вод. За рахунок цього продукти забруднення, що містяться в витках газу, конденсуючи при фільтрації, повертаються в газогенератор і витягуються на поверхню у вигляді пари і відкачуваної води. Вміст фенолів в підземних водах не перевищує 0,01-0,5 мг/л, що дозволяє використовувати їх для технічного водопостачання без попередньої очистки.

Виключити повністю або звести до мінімуму вплив шкідливих витоків газів на навколишнє середовище можна при проведенні наступних заходів:

- залишення запобіжних ціликів, що перешкоджають проникненню газу на поверхню і в надра;
- створення загороджувальних завіс (газодренаж, барраж);
- застосування нагнітально-вакуумної системи подачі дуття відводу газу;
- проведення відкачування води з вигазованого простору в процесі газифікації і після її закінчення;
- гасіння вогнища газифікації на відпрацьованих площах шляхом замулювання та затоплення;
- своєчасна ліквідація обривів обсадних труб.

Нормальний технологічний процес виробництва газу ПГВ включає попадання газу в атмосферу, це досягається застосуванням відповідного обладнання, трубопроводів, автоматизації, засобів контролю. Аварійні скиди газу проводяться на факельну установку. Охолодження води, що використовується в циклі, проводиться в закритих теплообмінниках за схемою "вода-вода". Виробничі стічні води внутрішнього контуру після очищення використовуються в замкнутому циклі умовно чистих вод.

Екологічні переваги підземної газифікації вугілля перед традиційними способами розробки вугільних родовищ полягає головним чином, з одного боку в екологічній чистоті газів підземної газифікації

як палива, а з іншого – в мінімальному впливу даної технології на природний ландшафт.

Слід також зауважити, що метод ПГВ дозволяє не порушувати рослинний шар, і після закінчення газифікації вугільного пласта наземна ділянка може бути передана переданий для сільськогосподарського використання без рекультиваційних робіт. На стадії видобутку (при заміні традиційних методів методом ПГВ) виключається утворення відходів гірської породи (5-6 т/т.в), запобігається відчуження землі (15-20 га/млн. т.в.), виключається викид в атмосферу вугільного пилу (0,3-15 кг/т.в) і зменшується скидання шкідливих речовин у стічні води (з 0,452 до 0,044 кг/т.в.). На стадії транспортування повністю запобігаються викиди пилу (3-6 кг / т.у.п.), що характерно при транспортування твердого палива. На стадії спалювання виключається викид золи, практично виключається викид сірчистого ангідриду і зменшується в 1,5-2 рази вихід оксидів азоту (з 2-5 до 1-1,5 кг/т.в) [8].

Дані показники повною мірою відображають всі переваги ПГВ перед іншими методами видобутку вугілля, що досить важливо в складній екологічній обстановці в цілому.

**Висновок.** Газифікація вугілля є перспективним технологічним процесом для отримання чистого синтетичного газу, який є основою для комбінованих виробництв електричної енергії, тепла і технологічної пари, водню, метанолу та інших цінних продуктів.

Проведення газифікації вугілля під тиском та її інтеграція в енергетичний цикл парогазової установки дозволяють досягти високих економічних показників при виробництві електроенергії з мінімальним впливом на навколишнє середовище.

Потужні (250-300 МВт) енергетичні ПГВ з газифікацією вугілля експлуатуються за кордоном більше 10 років. Активно розробляються також ПГВ потужністю до 600 МВт. Широко проводяться роботи з удосконалення процесів і обладнання газифікаційних і газоочисних установок. За кордоном цей напрямок розвитку ПЕК проходить за фінансової підтримки урядів і координується ними в рамках державних програм. Розробка аналогічної програми доцільна і для України, зокрема, у зв'язку з необхідністю обмеження викидів CO<sub>2</sub> в атмосферу.

Накопичені в країні знання і досвід проведених в останні роки досліджень можуть забезпечити створення слабкої (3-15 МВт) комплексної демонстраційної установки з газифікацією вугілля та виробництвом електроенергії та тепла. Така установка забезпечить, зок-



рема, отримання додаткових даних для оцінки вартості, економічності і реальних проблем при експлуатації промислових ПГВ такого типу. Для складання та реалізації такої програми необхідно фінансове та науково-технічне партнерство держави та промисловості.

1. Крейнин Е. В. Технично-экономическая оценка предприятий подземной газификации угля и традиционных методов его добычи / Крейнин Е. В., Грабская Е. П., Юсов А. Б. // Уголь. – 1994. – № 2. – С. 57–58. 2. Garon A. M. An economic evaluation of underground coal gasification. Proceedings of the Second Annual Underground Coal Gasification Symposium – USA, 1976. 3. Shimada S. Cost estimation of underground coal gasification in Japan / Shimada S., Ohga K., Tamari A., Ishii E. // Mineral Resources Engineering. – Vol. 5. – 1996. – P. 241–252. 4. Крейнин Е. В. Научные исследования подземной газификации угля в Испании (по программе Европейского Союза) / Крейнин Е. В., Сильверстов Л. К. // Уголь. – 2000. – № 2. – С. 62–64. 5. Папафанасопуло Г. А. К вопросу подземной газификации углей / Папафанасопуло Г. А. // Новости теплоснабжения. – 2005. – № 7(59). – С. 32–34. 6. Янко С. В. Подземное сжигание угля / Янко С. В., Громов В. А., Поштук А. З. // Уголь Украины. – 1995. – № 11. – С. 2–5. 7. Фальштинский В. С. Новітня технологія розробки вугільних пластів на базі свердловинної газифікації / Фальштинский В. С., Дичковский Р. О., Табаченко М. М. // Уголь Украины. – 2010. – № 1. – С. 10–13. 8. Герасимов Е. С. Перспективы использования ресурсов угольных месторождений Донбасса (на примере Луганской области) / Герасимов Е. С. // Уголь Украины. – 2011. – № 9. – С. 45–47.

Рецензент: д.т.н., професор Надутый В. П. (НУВГП)

---

**Malanchuk Z. R., Doctor of Engineering, Professor, Zaiets V. V., Candidate of Engineering, Senior Lecturer** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne), **Solvar L. M., Director, Romanchuk S. S., Associate Director** (SHEE Chervonograd Mining and Economic College, Chervonograd)

## **METHODS OF COAL CONVERTING INTO GASEOUS ENERGY SOURCE IN THE FIELD OF OCCURRENCE**

**The development of gasification methods of underground coal for the solution of problems of ensuring the country's energy resources is analyzed. The main problem is the development and introduction of promising new methods of energy production and efficiency available.**  
**Keywords:** gasification, energy, coal, coal layer.

---

**Маланчук З. Р., д.т.н., професор, Заец В. В., к.т.н., старший преподаватель** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно), **Сольвар Л. М., директор, Романчук С. С., заместитель директора** (ГВУЗ Червоноградский горно-экономический колледж, г. Червоноград)

## **МЕТОДЫ ПРЕВРАЩЕНИЯ УГЛЯ В ГАЗООБРАЗНЫЙ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЬ НА МЕСТЕ ЗАЛЕГАНИЯ**

**Проанализирована разработка методов подземной газификации угля для решения проблем обеспечения страны энергоресурсами. Главная проблема – разработка и внедрение новых перспективных способов производства энергоресурсов и повышения эффективности существующих.**

***Ключевые слова:* процесс газификации, энергетические ресурсы, уголь, угольный пласт.**

---