

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИДІЛЕННЯ КАНЦЕРОГЕННИХ РЕЧОВИН ПРИ ГОРІННІ ВУГІЛЛЯ

*С. І. Азаров, канд. техн. наук, О. В. Азарова, Г. А. Сорокін, інженери  
(ІЯД НАН України)*

*Разработана установка для анализа проб продуктов сгорания при сжигании каменного угля. Показано, что помимо токсических газов в отходящих газах образуются и полициклические углеводороды, обладающие канцерогенными свойствами.*

Вугільна галузь України характеризується високою аварійністю [1]. За останні роки у вугільних шахтах сталося понад 700 підземних пожеж. Час ліквідації екзогенних пожеж у середньому становив кілька діб, ендогенних пожеж – місяць. В результаті горіння вугілля у навколишнє середовище виділяються продукти згоряння: дим та аерозолі, в яких містяться токсичні гази [2].

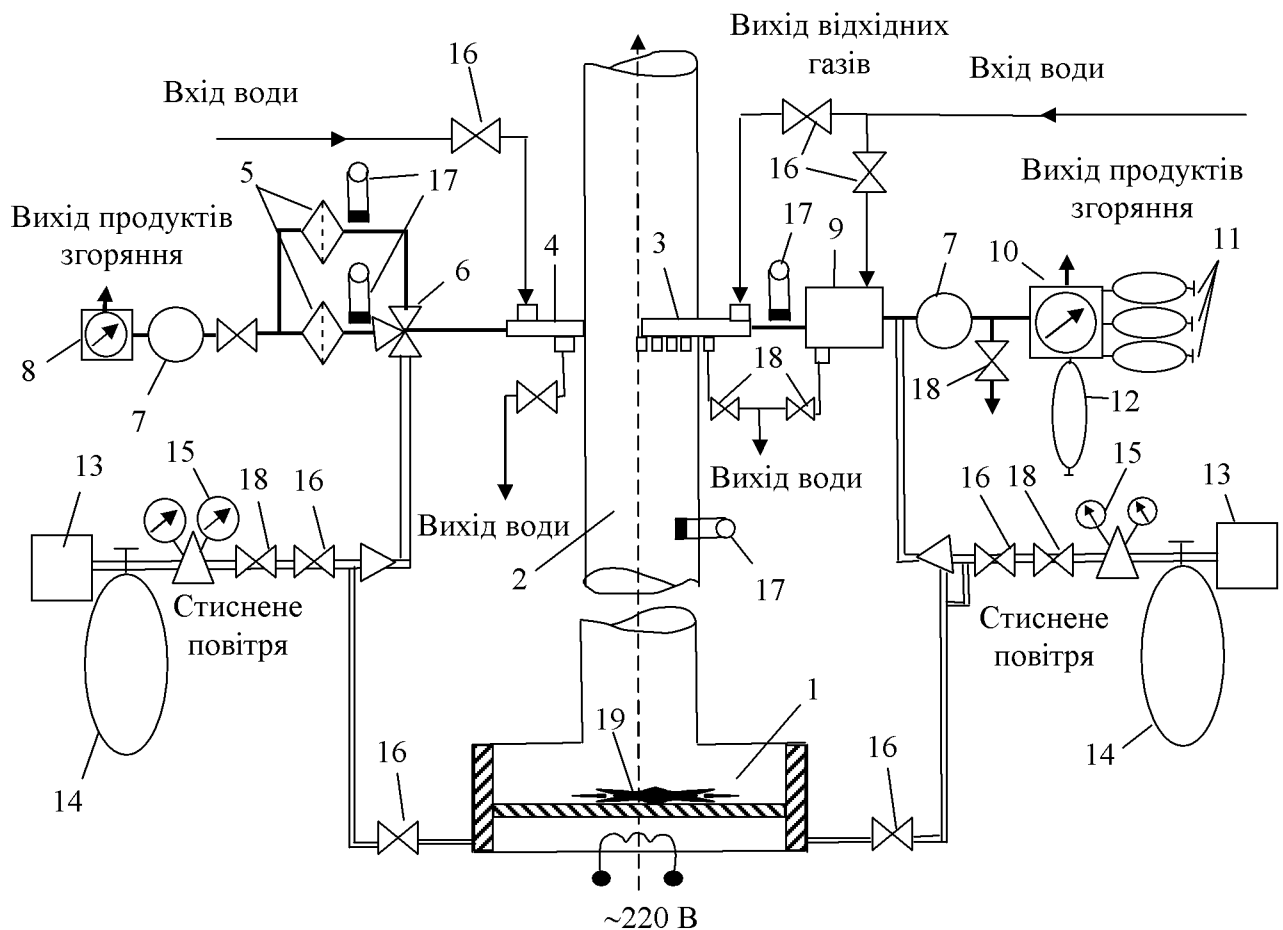
Проведені дослідження по оцінці шкідливості диму при підземній пожежі [3] стосувались лише токсичних газів, важких металів та природних радіонуклідів у легких частинках аерозолів. Питання ж виходу канцерогенних речовин, які знаходяться у продуктах згоряння вугілля, вивчені недостатньо.

У процесі горіння кам'яного вугілля у повітря виділяються поліциклічні ароматичні вуглеводневі сполуки (ПАВ) – група органічних сполук, які мають у своєму складі до 12 і більше ароматичних ядер. Значна частина ПАВ є сильними канцерогенами (бензопірен, 3, 4-бензопірен, 9, 10 диметил, 1, 2 бензатрацин та ін.), дія яких може викликати рак шкіри, легенів та органів травлення.

Мета даної роботи – дослідження механізму виходу бензопірену при горінні кам'яного вугілля.

Для аналізу проб продуктів згоряння при спалюванні вугілля була розроблена установка, принципова схема якої показана на рисунку. Установка складається з печі для спалювання 1, випускної труби 2, інтегрального газовідбірника 3 та газовідбірника аерозолів 4, відхідного газу 7, лічильника відхідного газу 8, водяного охолоджувача конденсату 9 у магістралі подачі досліджуваних порцій відхідного газу, газоаналітичного вимірювального комплексу 10, балонів з перевірочними газовими сумішами 11, балона з нульовим газом 12, повітряного компресора 13, балона зі стисненим повітрям 14, манометра 15, регулюючого вентиля 16, термометра опору 17, клапана 18 та спалюваного зразка 19.

При проведенні досліджень температура продуктів згоряння у системі відбору газів (перед фільтроутримувачем та вимірювальним комплексом) становила не більше 325 К за умови відсутності конденсації парів води. Як фільтри використовувались фільтри Петрянова типу АФА-РМЛ-20.



Принципова схема установки для аналізу проб продуктів згоряння при спалюванні кам'яного вугілля

Для зважування фільтрів (до проведення досліджень і після фільтрації твердих частинок) використовувались мікроаналітичні ваги з точністю вимірювання  $\pm 2\%$ . Зважування фільтрів (після їх витримки в оксигаторі) проводили при температурі повітря (293...305) К і відносній вологості (35...55)%. Точність вимірювання об'єму газів, що пропускаються через фільтр, становила  $\pm 2,5\%$ .

Визначення ПАВ у продуктах згоряння здійснювалося за методикою, описаною в роботі [4, 5], за допомогою хроматомаспектрометра типу HP 5890/5972 у режимі реєстрації вибраних проб газу. Ця методика дозволила провести ідентифікацію різних ПАВ (бензопірен, пірен і індено(1, 2, 3-с, d)пірен та ін.) у відхідних газах і визначити їх кількість.

Для підземного вугілля, що горить у шахті, характерна висока задимленість відхідних газів, пов'язана із утворенням сажових частинок – продуктів неповного згоряння.

У табл. 1 наведено дані про вимірний вміст ПАВ у димових відхідних газах при різних температурах піролізу кам'яного вугілля.

У табл. 2 наведено вимірний вміст ПАВ у відхідних димових газах.

Таблиця 1. Вміст ПАВ у відхідних димових газах залежно від їх температури

Температура відхідних газів, К	Об'єм відхідних газів, нм <sup>3</sup> /год	Вміст ПАВ, мг/кг
828	38·10 <sup>3</sup>	4,6
788	30·10 <sup>3</sup>	6,9
648	23·10 <sup>3</sup>	≥1,6

Таблиця 2. Вміст ПАВ у димових газах при горінні кам'яного вугілля [6, 7]

Канцероген	Концентрація, мкг/м <sup>3</sup>			
	мінімальна	максимальна	середня	ГДК р.з.
Бензопірен	1,8	2,5	2,15	0,15
Пірен	2,9	9,9	6,4	0,1
Індено(1,2,3-с,d)пірен	0,8	1,2	1,0	0,12

З табл. 2 випливає, що середня концентрація ПАВ перевищує гранично допустиму концентрацію в робочій зоні. В таких випадках при ліквідації джерел загоряння вугілля у шахті необхідно використовувати засоби індивідуального захисту.

Експериментально було встановлено, що при горінні донецького кам'яного вугілля марки ТР середній вміст сполук ПАВ у аерозольних викидах становить 390 мг/кг при допустимому діапазоні 270...570 мг/кг.

В табл. 3 наведено вимірне співвідношення аерозольної та газової складових ПАВ у відхідних димових газах.

Таблиця 3. Співвідношення аерозольної та газової складової ПАВ у димових газах при горінні кам'яного вугілля

Канцероген	Аерозоль, %	Газ, %	Клас небезпеки
Бензопірен	90,5	9,5	1
Пірен	80,5	19,5	2В
Індено(1, 2, 3-с,d)пірен	96,0	4,0	1

ПАВ відносяться до групи сполук з максимальною відносною стійкістю. Час "життя" ПАВ у повітрі, воді і ґрунті в незмінному стані є тривалим і становить кілька років.

У леткій золі були знайдені такі ПАВ: бензопірен – 150...250 мг/кг, пірен 90...210 мг/кг, індено(1, 2, 3-с,d)пірен – 10...70 мг/кг.

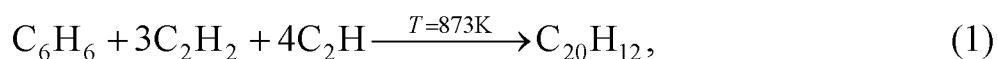
В табл. 4 наведено дані про відносний склад фракції летких частинок аерозолів ПАВ.

Таблиця 4. Відносний склад фракції летких частинок аерозолів ПАВ

Фракція аерозолу, мкм	Відносний вміст ПАВ, %
> 30	20,5
15...25	50
5,0...15	4,5
3,5...5,0	7,5
1,5...3,5	12,3
< 1,5	2,2

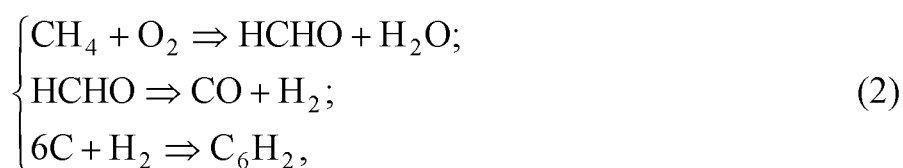
Середній вміст ПАВ у золі після спалювання, мг/кг: пірен – 0,1, бензопірен – 0,019, індено – 0,007.

Реакцію утворення ПАВ, наприклад для бензопірену, при горінні кам'яного вугілля можна записати в вигляді



де  $C_6H_6$  – полірадикал, який являє собою зародок сажі;  $C_2H_2$ ,  $C_2H$  – елементні будівельні блоки.

Механізм утворення сажі можна описати рівнянням



де  $HCHO$  – альдегід.

Канцерогенні речовини значною мірою сорбуються на сажі. Тому леткі частинки сажі є дуже небезпечними при потраплянні в організм людини. ПАВ можуть спричиняти як доброякісні пухлини (аденоми, папіломи), так і злоякісні епітеліальні пухлини та інші новоутворення, наприклад саркоми [8].

### Висновки

Отримано експериментально виміряні дані про вихід ПАВ у димових газах при горінні кам'яного вугілля. Показано, що викид ПАВ у повітря залежить від температури відхідних газів і характеристики горіння вугілля (полум'яне, безполум'яне, тління). Визначено концентрації основних канцерогенів у відхідних газах, їх фізико-хімічні характеристики.

Проведені дослідження можуть слугувати підґрунтям для аналізу умов праці шахтарів і рятівників, а також для розроблення рекомендацій щодо вибору засобів захисту органів дихання при локалізації і ліквідації підземних пожеж.

1. *Азаров С. И., Сорокин Г. А.* Сравнительный анализ аварий и травматизма на шахтах Украины и России // Уголь Украины. – 2004, №1. – С. 29–30.

2. *Азаров С. И.* Анализ риска при пожаре в угольной шахте // Уголь Украины. – 2001. – № 2–3. – С. 43–45.

3. *Азаров С. И., Перимов Р. Р.* Оценка вредности дыма при подземном пожаре // Уголь Украины. – 2005. – № 1. – С. 37–41.

4. *ОСТ 34-70-881-84.* Охрана природы. Атмосфера. Отбор проб на содержание ПАУ в продуктах сгорания энергетических топлив.

5. *Методика выполнения измерений конструкции БП в атмосферном воздухе и источниках загрязнения атмосферы методом ВЭЖХ.* – С-Птб. – 1998. – 140 с.

6. *Серковская Г. С.* О канцерогенности продуктов переработки угля, древесины, торфа // Химия и технология топлив и масел. – 1997. – № 2. – С. 44–49.

7. *ГОСТ 12.1-005-83.* Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. Список “Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны”. – № 4617-88. – М., 1988.

8. *Григюте Л. А.* Экспериментальные опухоли легких. – М.: Медицина, 1975. – 162 с.