

УДК 614.84

*А.М. Баранов, д-р техн. наук, професор, НУЦЗУ,
А.І. Морозов, канд. техн. наук., доцент, НУЦЗУ,
А.А. Баранова, асистент, ХДАМГ*

**ПІДВИЩЕННЯ ПОЖЕЖОБЕЗПЕЧНОСТІ
ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ПІДГОТОВКИ
ВУГІЛЬНОГО ПАЛИВА**

Проведені дослідження, які дозволяють запропонувати напрямки підвищення пожежобезпечності та ефективності процесу підготовки вугільного палива на базі запобігання спалаху вугільного пилу в різних елементах тракту пилоприготування. Доведено, що процес нагріву вугілля і вихід летких речовин при помелі твердого палива залежить від асортименту тіл, що мелють, крім того при нагріві вугілля витрати тепла на термічні перетворення виявляються істотно різними для рівнометаморфізованого вугілля в залежності від місця видобутку.

Ключові слова: вугільне паливо, пожежобезпечність, млин, самозагоряння.

Постановка проблеми. Основним засобом отримання енергії залишається спалювання викопного палива, причому останнім часом, наголошується тенденція зростання споживання твердих видів такого палива. В більшості випадків використання твердих матеріалів в гетерогенних реакціях без їх попереднього подрібнення неможливе. Оскільки дуже багато вживаних промисловістю матеріалів в звичних умовах знаходяться в твердому стані, подрібнення є однією з основних операцій їх переробки. Найпоширенішим способом отримання твердих тіл в дисперсному стані є механічне подрібнення. Проте, головний недолік використання вугілля – висока пожежонебезпека в процесі приготування пилувугільного палива. Одним з чинників, що впливають на пожежонебезпеку при помелі вугілля є поєднання наявності теплової енергії в зоні зіткнення тіл, що мелють, і фізико-хімічних змін органічних речовин вугілля під дією механічної енергії. Для забезпечення безпеки роботи обладнання при використуванні широкого спектра палив необхідно вивчити механізм впливу чинників подрібнення на можливість самозагоряння пилу в млині та пилівідкладень і розробити методи для запобігання їм.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Практично всі види хіміко-технологічної переробки вугілля пов'язані з їх подрібненням. Способів механічного подрібнення, тобто способів руйнування твер-

дих тіл на більш дрібні частинки шляхом створення в них руйнуючих напружень, як і машин, призначені для цієї мети, використовується велика кількість.

Звичайно руйнування частинок вугілля виробляється шляхом механічної дії на нього тіл, що мелють. Елементарні акти руйнування здійснюються створенням в частинках граничних напружень зрушення шляхом здавлення, удару або зрізу. Барабанні млини з тілами, що мелють, є найпоширенішим типом подрібнень для помелу вугілля. Кінетична енергія тіл, що мелють, в точці падіння визначає основні технічні характеристики барабанного млина. Очевидно, що при належному виборі швидкості обертання, що забезпечує необхідний підйом куль, їх кінетична енергія росте із збільшенням діаметру барабана. Проте росте і кількість теплової енергії, яка виділяється в точці удару, змінюється хімічний склад вугілля, збільшується кількість летких елементів, що зрештою може приводити до запалювання подрібнюваного матеріалу [1, 2].

Постановка задачі її рішення. Необхідно визначити вплив фізико-хімічних змін вугілля на умови загоряння його при інтенсивному подрібненні, тому що це питання дотепер залишається малодослідженим. Знання фізико-хімічних змін вугільної речовини під дією механічних напружень відкриває можливості підвищення пожежної безпеки при помелі.

В роботах Лебедева В.У. показано [3], що при зростанні питомої поверхні обробленого вугілля в 10-20 разів, реакційна здібність подрібненого вугілля до окислювача збільшується в 2,3 рази. Це вказує на глибокі зміни молекулярної структури органічних речовин вугілля, що зачіпає весь об'єм вугільної речовини. Такого роду зміни можуть відбуватися тільки в результаті пластичної деформації, а не у зв'язку із збільшенням поверхні або нагрівання (при нагріванні структура, навпаки, ущільнюється). Залежно від стадії метаморфізму вугілля, не тільки підвищується вихід розчинних низькомолекулярних фракцій, але і змінюється їх будова в порівнянні з фракціями першепочаткового вугілля.

Механічна обробка вугілля в млинах приводить до виділення газоподібних продуктів (CO_2 , метан, пропан), що також свідчить про деструктивні процеси.

Подрібнення матеріалу в млинах з падаючими тілами, що мелють, в основному здійснюється за рахунок удару. Баланс енергії, відповідний положенням класичної механіки (тіла після удару можуть володіти тільки двома видами енергії — кінетичною і енергією пластичних деформацій, якщо вони є) припускає, що кінетична енергія, втрачена при ударі, може перейти тільки в енергію пластичних дефо-

рмацій. Відомо, що під пластичними розуміють такі деформації, які не зникають після зняття навантаження. Тому тіло, що піддалося пластичним деформаціям, повинне змінити після удару форму і розміри. Проте дослідження тіл, що беруть участь в ударі, показує, що розміри їх після удару не змінилися і, отже, пластичні деформації відсутні. Відбувається дисипація кінетичної енергії кулі. Частина енергії витрачається на руйнування частинок вугілля (близько 2-5%), а інша переходить в теплову енергію за рахунок потенційної енергії.

Вирази балансу енергії при ударі показують, що основна відмінність сучасних уявлень про енергетичний баланс при ударі від представлень класичної механіки полягає в існуванні в тілі після удару разом з кінетичною також і потенційної енергії, тоді як класична теорія виключає таку можливість.

Одночасне існування в тілі потенційної і кінетичної форми енергії після удару стає можливим завдяки тому, що напруження і деформації від точки контакту розповсюджуються по тілу не миттєво, а з деякою кінцевою швидкістю — швидкістю хвилі. У зв'язку з цим та частина тіла, яка вже охоплена хвилею напруження, володіє потенційною енергією, а та частина, якої хвиля напруження ще не досягла, зберігає початкову кінетичну енергію. Тому формули класичної механіки удару виявляються, взагалі кажучи, невірними. При стисненні тіла деформуються і швидкості точок змінюються. Завдяки хвильовому характеру розповсюдження деформацій поле швидкостей точок тіла стає неоднорідним. Ті області, які вже охоплені хвилею деформацій, змінюють свою швидкість, в тих же областях тіла, яких хвиля ще не досягла, зберігається колишня швидкість. Кількість енергії, яка здійснює найінтенсивніший нагрів в точках контакту елементів, що співударяються, дорівнює скалярному добутку тензора напружень на тензор швидкостей деформацій.

Енергія, що потрібна для подрібнення матеріалу розміром x_m до гранулометричного складу, даного рівнянням $y = 100 \left(\frac{x}{k} \right)^\alpha$, дорівнює [4]

$$E = \int_{x_0}^k \int_{x_m}^x -C \frac{dx_1}{x_1^n} \left(\frac{100\alpha x^{\alpha-1}}{k^\alpha} dx \right) =$$

$$= \frac{100 - C\alpha}{(n-1)k^\alpha} \left[\frac{k^{\alpha-n+1}}{\alpha-n+1} - \frac{k^\alpha}{\alpha x_m^{n-1}} - \frac{x_0^{\alpha-n+1}}{\alpha-n+1} + \frac{x_0^\alpha}{\alpha x_n^{n-1}} \right],$$

де E – енергія подрібнення, Дж;

C – константа, що визначається експериментально;

x – розмір частинок подрібнюваного матеріалу, м;

y – відсотковий вміст ваги частинок, що проходять через сито з отвором, рівним розміру частинок x по відношенню до загальної ваги подрібнюваного матеріалу;

k – модуль розміру для даного гранулометричного складу;

α – константа, яка визначає вагове співвідношення частинок різних розмірів.

Решта кінетичної енергії витратиться на нагрів матеріалів в зоні удару, що може привести до механодеструкції органічних речовин вугілля і підвищенню температури до небезпечних значень – температури запалювання хімічно активних продуктів. Згідно досліджень багатьох авторів, причиною samozagoryannya є органічна частина вугілля: неграничні сполуки, альдегідні групи, гідроароматичні сполуки і фенолові групи [5, 6].

Найбільш поширеною є теорія Фішера, в якій головна роль у процесі окислення вугілля відводиться ненасиченим сполукам, що володіють великою хімічною активністю. Але, незважаючи на різні точки зору щодо механізму samozaymannya, всі дослідники вважають, що за високого тиску відбувається виділення з маси вугілля летких речовин і за відповідних температур – запалювання.

Визначено тиск в частинках вугілля при зіткненні тіл, що мелять (куля 1 має масу m_1 і швидкість 0 , куля 2 має масу m_2 і швидкість v_0 , з позицій теорії пружності і класичної теорії удару [7]. Сила опору стисненню F залежить від властивостей проміжного елемента і від зміни товщини проміжного елемента $F = f(\epsilon)$.

В результаті рішення одержано:

- час взаємодії двох куль, що співударяються, між якими знаходяться частинки вугілля

$$t = \int_0^{\epsilon} \frac{d\zeta}{\sqrt{v_0^2 - 2 \frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2} \int_0^{\zeta} f(\xi) d\xi}};$$

- тиск в подрібнюваному матеріалі, що виникає під час удару (що не завжди приводять до руйнування)

$$\sigma_m = F_m / S,$$

$$\text{де } F_m = v_0 \sqrt{\frac{cm_1 m_2}{m_1 + m_2}};$$

S – площа перерізу, в якому визначається напруження;
 - кількість енергії, затрачуваної на деформацію подрібнюваного матеріалу

$$\int_0^{\varepsilon_m} f(\xi) d\xi = \frac{m_1 m_2}{2(m_1 + m_2)} v_0^2 = \Sigma.$$

При зіткненні двох тіл, що мелють, діаметром 40мм за відносної швидкості 10 м/с, при шарі полідисперсного вугілля 4мм час удару складе 0,00117 с, сила удару 2160 Н, максимальний тиск у шарі вугілля складе (1,8-5,6) МПа (залежно від площі контакту). В таких умовах подрібнення вугілля здійснюватиметься в основному за рахунок стирання. При ударі кулі діаметром 80 мм відбувається зменшення часу контакту в 6,7 разу і збільшення кінетичної енергії в 8 разів, тоді тиск у шарі вугілля зросте в 53,6 разу, тобто складе (96,5-300,3) МПа. За такого тиску відбуватиметься руйнування вугілля, але в той же час відбудеться деструкція вугілля зі значним виділенням летких речовин, що може створити умови для самозагоряння вугілля у млині.

Результати проведених досліджень показують можливість локального нагрівання до високих температур подрібнюваного вугілля при помелі [8]. Крім того, подрібнюване вугілля піддається високому тиску в млині в результаті багатократного удару. Кількість летких речовин, що виділилися у млині, можна взяти за їх кількістю у вугіллі до і після помелу, проте кінетика процесу виділення летких речовин залишається невідомою, а саме вона впливає на пожежонебезпечність. Термогравіметричний метод широко застосовують для вивчення кінетики процесів термічної деструкції вугілля. газовиділення при нагріві відображає складний процес і не визначається якою-небудь елементарною реакцією; природа летких речовин, що виділяються, в різних інтервалах температур є різною. На першій стадії низькомолекулярні леткі продукти утворюються в результаті реакцій деструкції, що не зачіпає основної макромолекулярної структури речовин вугілля. Враховуючи, що на сьогодні спостерігається прагнення до використання вітчизняного вугілля, нами, спільно зі співробіт-

никами Українського державного науково-дослідного вуглехімічного інституту були проведені дослідження швидкості втрати маси при нагріванні вугілля різних басейнів: вугілля Кузнецького, яке використовувалося раніше, і вугілля Донецького, яке використовується зараз (рис. 1, 2).

Показники, що характеризують властивості вугілля за даними дериватографічного аналізу: температура максимальної швидкості втрати маси (t_m , °C); втрата маси в інтервалі температур (400-500)°C (Δm , %); площа по кривій диференціального термічного аналізу (ДТА) в інтервалі температур (400-500)°C ($-S_{ДТА}$, см²), визначена за допомогою планіметра. Інтервал температур (400-500)°C прийнятий для всього дослідженого вугілля, оскільки він характеризується найбільшими швидкостями термохімічних перетворень речовин органічної маси, пов'язаних з її втратою. Для рівнометаморфізованого вугілля різних басейнів характерно різне положення лінії ДТА в дослідженому інтервалі температур нагріву (рис. 1) та (рис. 2). Видно, що при нагріві вугілля різних басейнів витрати тепла на термічні перетворення виявляються істотно різними, ендотермічний ефект в цій області для донецького вугілля значно менший, тобто пожежонебезпечність їх вище, і при помелі вугілля необхідно знижувати температуру помелу.

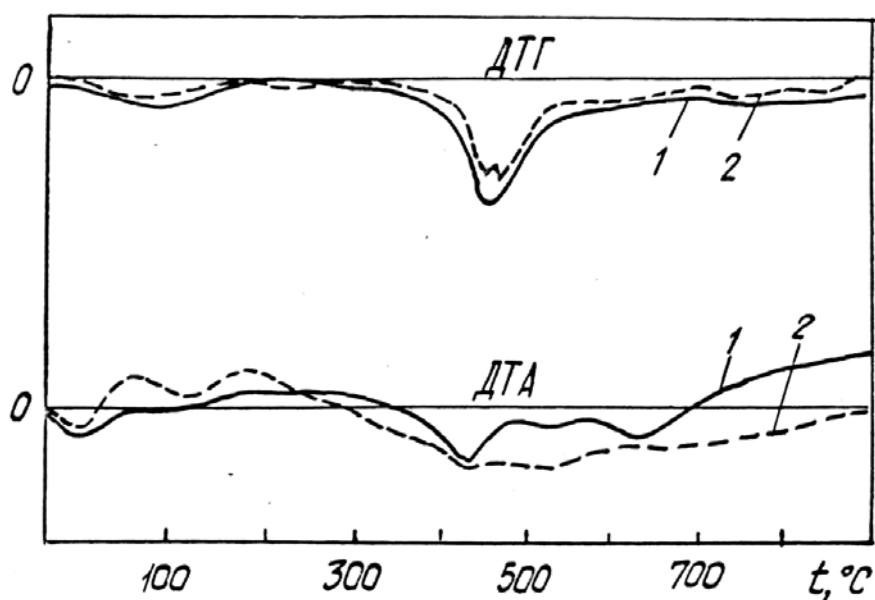


Рис. 1. – Криві диференціальної термогравіметрії (ДТГ) і ДТА 1-ої групи вугілля різних басейнів:

1 – донецького; 2 – кузнецького

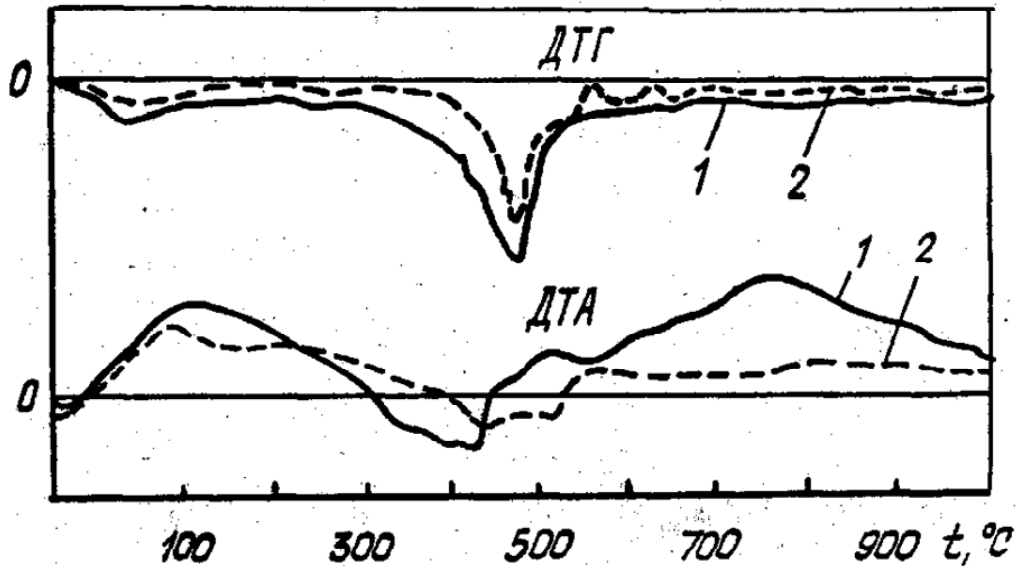


Рис. 2. – Криві ДТГ і ДТА 2-ої групи вугілля різних басейнів:
1 – донецького; 2 – кузнецького

Аналіз експериментальних даних дослідження властивостей рівнометаморфізованого вугілля різних басейнів дозволяє зробити наступні висновки.

Особливості складу і будови рівнометаморфізованого вугілля різних басейнів зумовлюють відмінність деяких властивостей, а також особливості поведіння цього вугілля при нагріванні.

Інтервал пластичності у всього дослідженого донецького вугілля більший, ніж у рівнометаморфізованого вугілля Кузнецького басейну.

Температура максимальної швидкості втрати маси вугілля Донбасу лежить у межах температурного інтервалу пластичного стану, тоді як вугілля Кузнецького басейну, а також високометаморфізованого донецького вугілля – відповідає періоду твердофазного стану після отвердіння пластичної маси.

Процеси, що протікають на стадіях пластичного стану і після отвердіння пластичної маси, у кузнецького вугілля більш ендотермічні, ніж у рівнометаморфізованого донецького. Тому помел необхідно здійснювати за температур нижче за температурний інтервал пластичного стану, оскільки високі температури не тільки збільшують вихід летких речовин, але і можуть привести до різкого зниження ефективності помелу за рахунок налипання частинок вугілля на тіла, що мелють. Крім того, частинки, що поналипали на поверхню тіл, що мелють, знаходяться в зоні багаторазового удару та не встигають охолоджуватися в повітряному середовищі млина, що значно підвищує пожежонебезпеку.

Висновки

1. Баланс енергії при ударі і аналіз енергетичних виходів механодеструкції органічних речовин вугілля дозволяють оцінити фізико-хімічні зміни органічних речовин вугілля під дією механічної енергії і використати їх для розробки методів зниження пожежної небезпеки при експлуатації помольних установок вугільного палива з позицій оптимального вибору асортименту тіл, що мелють.

2. Порівняння властивостей донецького вугілля і рівнометаморфізованого вугілля Кузнецького басейну показало, що при нагріві вугілля витрати тепла на термічні перетворення виявляються істотно різними, ендотермічний ефект в цій області для донецького вугілля значно менший, тобто пожежонебезпечність їх вище і при помелі вугілля необхідно знижувати температуру помелу. Витрати тепла на термічні перетворення для кожного виду вугілля індивідуальні, тому при створенні установок приготування пиловугільного палива необхідно враховувати ендотермічні ефекти.

3. Помел необхідно здійснювати за температур нижче за температурний інтервал пластичного стану, оскільки високі температури не тільки збільшують вихід летких речовин, але і можуть привести до різкого зниження ефективності помелу та підвищення пожежонебезпечності за рахунок налипання частинок вугілля на тіла, що мелють.

ЛІТЕРАТУРА

1. Перов В.А. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых / В.А. Перов, Е.Е. Андреев, Л.Ф. Биленко – М.: Недра, 1990. – 301 с.

2. Кацнельсон Б. Д. Влияние давления и концентрации кислорода на воспламенение и горение мелких угольных частиц / Б.Д. Кацнельсон, И.Я. Мароне // Теплоэнергетика. – 1964. – № 1. – С. 11–15.

3. Лебедев В. В. Исследование тонкой структуры диспергированных углей / В.В. Лебедев, В.С. Кирда, Т.М. Хренкова // Химия твердого топлива. – 1983. – № 5. – С. 134 – 139.

4. Баранов А.М. Влияние фракционного состава измельченного материала на величину энергии разрушения при помоле / А.М. Баранов, А.И. Морозов // ХДТУБА. – Харків, 2005. – Вип. 34. – С. 162 – 167.

5. Пашковский П.С. Определение склонности углей к самовозгоранию / П.С. Пашковский, С.П. Греков, Я. Цыганкевич [и др.] // Горноспасательное дело: сб. научн. труд. (НИИГД «Респиратор»). – Донецк, 2000. – С. 10 – 16.

6. Пашковский П.С. Влияние химической активности и влажности угля на процесс самонагрева / П.С. Пашковский, С.П. Греков, И.Н. Зинченко // Горноспасательное дело: сб. научн. труд. (НИИГД «Респиратор»). – Донецк, 2007. – Вып. 44. – С. 17–25.

7. Баранов А.М. Оценка возникающих напряжений в измельчаемом материале при центральном соударении двух шаров / А.М. Баранов, А.И. Морозов // ХДТУБА. – Харків, 2004. – Вип. 27. – С. 51 – 55.

8. Морозов А.И. Экспериментальные исследования процесса нагрева угля и выхода летучих продуктов при помоле твердого топлива в мельницах барабанного типа / А.И. Морозов // Науковий вісник УкрНДПБ.– Київ, 2008. – № 2(18). – С. 186 – 190.

nuczu.edu.ua

А.Н. Баранов, А.И. Морозов, А.А. Баранова.

Исследование повышения пожаробезопасности и эффективности процесса подготовки угольного топлива.

Приведены исследования, предлагающие пути повышения пожаробезопасности и эффективности процесса подготовки угольного топлива на основе предотвращения возгорания угольной пыли в разных элементах тракта пылеприготовления. Доказано, что процесс нагрева угля и выход летучих веществ при помоле твердого топлива зависит от ассортимента мелющих тел, кроме того при нагреве угля затраты тепла на термические превращения оказываются существенно разными для равнометаморфизованного угля в зависимости от его места добычи.

Ключевые слова: угольное топливо, пожароопасность, мельница, самовозгорание.

A.N. Baranov, A.I. Morozov, A.A. Baranova

Research of fire safety increase and efficiency of coal fuel preparation process.

It is given the researches which offer ways of fire safety increase and efficiency of coal fuel preparation process on the basis of prevention of coal dust ignition in different elements of coal fuel preparation process. It is proved that process of heating of coal and exit of coal-volatile matters when grinding solid fuel depends on assortment of grinding bodies, besides when heating coal an expense of heat on thermal transformations appears to be essentially different for equally metamorphosed coal depending on its place of mining.

Keywords: coal fuel, fire danger, a mill, self-ignition.