

Колієнко А.Г. Крошка О.В.

ПАЛЛІВО ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЙОГО ВИКОРИСТАННЯ

Науково-виробниче видання



Колієнко А.Г.

Крошка О.В.

ПАЛИВО ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЙОГО ВИКОРИСТАННЯ

Науково-виробниче видання

Полтава

ТОВ «АСМІ» 2025

УДК 662.2/9
К-60

Колієнко А.Г. **Паливо та ефективність його використання** : наук.-
виробн. вид. / А.Г. Колієнко, О.В. Крошка. – Полтава : АСМІ, 2025. –
476 с.
ISBN 978-966-182-739-3

Висвітлено основні характеристики викопних і альтернативних видів палива, викладено методики визначення параметрів процесів їх горіння. Сформовано рекомендації щодо підвищення ефективності використання палива. Розглянуто принципи, методи й пристрої для спалювання палива та розроблено рекомендації щодо їх вибору. Викладено методику виконання режимно-налагоджувальних робіт на паливоспалювальному обладнанні. Висвітлено екологічні аспекти впровадження проєктів з чистої енергії.

Книга призначена для фахівців, які займаються проєктуванням, монтажем, експлуатацією та налагодженням роботи паливоспалювального обладнання на об'єктах комунально-побутової та промислової теплоенергетики. Видання може використовуватися як навчальний посібник для здобувачів вищої освіти за відповідними спеціальностями.

УДК 662.2/9

ISBN 978-11966-182-739-3

© ТОВ «АСМІ»,
© Колієнко А.Г. 2025
© Крошка О.В. 2025

ЗМІСТ

Передмова	6
Розділ 1. Основні характеристики палива	8
1.1. Поняття про паливо і джерела енергії.....	8
1.2. Склад палива.....	18
1.2.1. Склад твердого і рідкого палива.....	19
1.2.2. Склад газового палива	41
1.3. Основні характеристики палива. Питомі витрати палива.....	47
1.3.1. Тепловий ефект реакцій горіння.....	54
1.3.1.1 Теплота згоряння твердого і рідкого палива	58
1.3.1.2. Теплота згоряння газоподібного палива	62
1.3.1.3. Залежність між органічним складом, виходом летких речовин і теплою згоряння	66
Розділ 2. Матеріальний баланс процесу горіння палива	68
2.1. Витрати повітря на горіння. Коефіцієнт надлишку повітря.....	69
2.1.1. Визначення витрат повітря для згоряння твердого палива.....	69
2.1.2. Визначення витрат повітря для згоряння горючих газів.....	81
2.1.3. Рекомендації з вибору коефіцієнта надлишку повітря.....	85
2.1.4. Визначення присосів повітря у паливоспалювальних установках	91
2.2. Визначення складу і кількості продуктів згоряння палива.....	93
2.2.1. Визначення об'єму продуктів згоряння твердого палива	94
2.2.2. Визначення об'єму продуктів згоряння газового палива.....	96
2.2.3. Теплоємність, ентальпія і ентропія продуктів згоряння палива	98
2.2.4. Аналіз показників вологості продуктів згоряння палива.....	101
Розділ 3. Види палива	109
3.1. Горючі гази	113
3.1.1 Природні гази	113
3.1.2. Скраплений природний газ.....	116
3.1.3 Гірничий (шахтний) газ	117
3.1.4 Газ гідратів.....	120
3.2. Штучні гази.....	120
3.2.1 Гази високо- і середньотемпературної перегонки палива	121
3.2.2. Гази беззалишкової газифікації	125
3.2.2.1. Основи розробки газогенераторів – печей тривалого горіння	129
3.2.3. Скраплені вуглеводневі гази	132
3.3. Синтетичні гази	146
3.4. Водень	155

3.5 Тверді види палива.....	158
3.5.1. Деревина.....	158
3.5.2 Агробіомаса	163
3.5.3 Тверді побутові відходи. Паливо з відходів.....	173
3.5.4. Викопне вугілля.....	185
3.5.5. Торф.....	187

Розділ 4. Принципи, способи і пристрої спалювання палива..... 191

4.1. Основні поняття процесів горіння.....	193
4.1.2. Максимальний вміст триатомних газів RO_2^{\max} у продуктах згоряння.....	193
4.2. Коефіцієнт надлишку повітря.....	202
4.3. Кінетика реакцій горіння.....	210
4.4. Межі спалахування і температура спалахування.....	214
4.5. Швидкість поширення полум'я.....	217
4.6. Взаємозамінність горючих газів	221
4.6.1 Взаємозамінність горючих газів, як спосіб підвищення енергоефективності на етапі генерації теплоти	238
4.7. Принципи спалювання палива.....	244
4.7.1. Дифузійний спосіб спалювання.....	247
4.7.2. Кінетичний спосіб спалювання.....	250
4.7.3. Проміжні способи спалювання (кінетично-дифузійне горіння).....	252
4.7.4. Класифікація і вимоги до газових пальників.....	255
4.7.5. Основні вимоги до газових пальників і їх технічні характеристики	256
4.7.6. Стійкість горіння. Стабілізація факела горючого газу.....	266
4.7.7. Принципові схеми топок і їх газоходів для спалювання газового палива.....	271
4.7.7.1. Рекомендації з відведення продуктів згоряння палива	272
4.7.7.2. Порівняння водотрубних і жаротрубних котлів	275
4.8. Процес горіння твердого палива.....	283
4.8.1. Вплив товщини шару палива на колосниковій решітці	290
4.9. Рекомендації щодо вибору пристроїв для спалювання палива.....	292
4.10. Мікрофакельні випромінювальні пальники для спалювання газоподібного палива	303

Розділ 5. Енергетична ефективність використання палива.

Режимно-налагоджувальні роботи на паливоспалювальних

установках

5.1. Визначення енергетичної ефективності роботи паливоспалювальних установок.....	310
5.1.1. Визначення втрат теплоти з відхідними газами.....	317
5.1.2. Визначення втрат теплоти з хімічним недопалом	322

5.1.3. Визначення втрат теплоти з механічним недопалом.....	327
5.1.4. Визначення втрат теплоти у навколишнє середовище через огорожувальні конструкції	329
5.2. Виконання режимно-налагоджувальних робіт на паливоспалювальних установках	334
5.3. Вибір потужності котельні і теплогенерувального обладнання. Розробка режимної карти котельні.....	342
5.4. Особливості визначення показників ефективності використання палива для установок комбінованого вироблення теплової і електричної енергії.....	353
Розділ 6. Пристрої і заходи з підвищення ефективності використання палива	365
6.1. Утилізація теплоти продуктів згоряння паливоспалювального обладнання	368
6.1.1. Утилізація теплоти продуктів згоряння в неконденсаційному теплообміннику для нагрівання мережної води.....	372
6.1.2. Утилізація теплоти відхідних продуктів згоряння в неконденсаційному теплообміннику для нагрівання дуттьового повітря	374
6.1.3. Утилізація теплоти відхідних продуктів згоряння в конденсаційному теплообміннику.....	376
6.1.4. Використання теплових ВЕР для потреб комунально-побутових і інших споживачів теплоти.....	384
6.1.5. Схеми утилізації теплових ВЕР в органічному циклі Ренкіна (ORC).....	391
6.2. Вибір потужності котлів опалювальних котелень.....	393
Розділ 7. Енергетична і екологічна ефективність використання палива	396
7.1. Показники екологічної небезпеки викидів в атмосферу при спалюванні палива.....	401
7.2. Визначення кількості діоксиду вуглецю при спалюванні палива	405
7.3. Зменшення утворення шкідливих речовин при спалюванні палива	412
7.3.1. Зниження викидів шкідливих речовин при спалюванні газу в побутових газових плитах	412
7.3.2. Зниження викидів шкідливих речовин при спалюванні газу в котлах та промислових печах.....	417
Додатки.....	423
Список літератури	468

ПЕРЕДМОВА

Спалювання палива і підвищення ефективності його використання – це вид діяльності, у якому і професіонали й аматори постійно пробують свої сили та можливості, застосовують набуті знання і досвід, порівнюють і аналізують. Перелік сфер застосування даного виду діяльності досить широкий, починаючи з користування газовою плитою й автономним котлом системи опалення і закінчуючи спалюванням палива в потужних енергетичних котлах і печах промисловості.

Паливо є найпоширенішим джерелом енергії, що використовують за необхідності одержувати теплоту високого потенціалу або електричну енергію у значній кількості. І навіть за умови використання відновлювальних, альтернативних і інших фізичних ресурсів для виробництва електричної та теплової енергії створюються системи управління з розподіленими джерелами енергії (що включає використання як традиційних, так і відновлювальних джерел), які об'єднують в єдину мережу для забезпечення стабільного та стійкого тепло- й електропостачання.

Паливо посідає центральне місце в історії людства. Упродовж тисячоліть змінювалися джерела енергії, вдосконалювалися технології, зростали масштаби споживання. Та попри всі досягнення сучасності, питання ефективного використання палива залишається одним із ключових викликів сьогодення.

Для сучасності характерним є широке різноманіття видів джерел енергії і доступних видів палива. Енергетика базується на поєднанні традиційних і відновлюваних джерел енергії. Вугілля, нафта, природний газ, генераторний газ, біомаса, водень, біометан – мають власні переваги та обмеження, визначають економічний і геополітичний ландшафт світу. Проте головна проблема полягає не лише у доступності чи вартості палива, а й у тому, як раціонально й безпечно його використовувати. Витрати енергії без належної оптимізації спричиняють колосальні втрати: як фінансові, так і екологічні. Простий перехід з одного виду палива на інше, як правило, не вирішує проблем низької ефективності їх використання.

В природі панує закон збереження енергії. Тому ми використовуємо таку кількість енергії, яку споживаємо. Основні заходи щодо зменшення витрат палива необхідно спрямувати саме на зменшення рівня споживання енергії за рахунок впровадження інженерних, організаційних і інших заходів та проєктів. Оптимізація етапів генерації енергії також дає можливість скоротити витрати палива. Таким чином, формування цілісної картини сприйняття інженерних систем – основа сучасного підходу при визначенні та забезпеченні їх енергетичної ефективності.

У XXI столітті питання ефективності використання палива набуває особливої актуальності. Глобальне потепління, викиди парникових газів, залежність економік від імпорту енергоресурсів, зростаючий попит на енергію в умовах урбанізації та цифровізації – усі ці фактори змушують переосмислити роль палива. Сучасні технології дають можливість не лише здобувати більше енергії, а й зменшувати втрати, робити енергоспоживання більш раціональним, а отже – більш відповідальним.

Ця книга має на меті допомогти читачеві глибше зрозуміти сутність палива як джерела енергії та особливості його використання. Вона розкриває питання класифікації палив, їхнього хімічного складу, теплотворної здатності, розрахунків процесу горіння, впливу на навколишнє середовище. Особливу увагу приділено методам підвищення енергоефективності: від вдосконалення технологій спалювання та використання відходів тепла до впровадження альтернативних джерел енергії.

Окремо варто наголосити на ролі наукових досліджень і технічних інновацій. Саме вони дозволяють зробити крок від простого використання палива до створення систем, де кожен джоуль енергії приносить максимальну користь. Це завдання потребує міждисциплінарного підходу – поєднання знань у галузі фізики та хімії, інженерії та екології, економіки та енергетичної політики.

Книга, яку ви тримаєте в руках, є не лише виданням із теорії використання палива. Вона покликана стати містком між науковими знаннями та практичними потребами. У цій книзі знайдуть корисну інформацію як студенти та дослідники, так і інженери, енергетики, фахівці промислових підприємств, а також усі, хто цікавиться сучасними викликами у сфері енергоспоживання. Але в ній не варто шукати відповіді на всі питання, які виникають на практиці, зокрема через їх багатогранність. Видання розраховане на одержання базових знань про комплексний взаємозв'язок між причинами й наслідками в системах і установках спалювання палива. Розв'язання практичних задач для конкретних умов повинно здійснюватися фахівцями на основі цього видання і власного досвіду.

Сьогодні перед нами стоїть вибір: або ми продовжимо й надалі споживати енергетичні ресурси без огляду на наслідки, або ж навчимося раціонально використовувати паливо, впроваджуючи принципи сталого розвитку. Від цього залежить не лише економічне майбутнє окремих держав, але й екологічне благополуччя всієї планети.

В межах одного видання неможливо висвітлити увесь комплекс складних інженерно-технічних й економічних питань, які характеризують сучасні види палива. Тому в цій роботі будуть розглянуті лише задачі, присвячені складу, особливостям спалювання і підвищення ефективності роботи паливоспалювальних установок на найбільш поширених видах палива.

У книзі використаний досвід компанії ТМ "Колві" з будівництва, монтажу, режимного налагоджування та експлуатації котлів на всіх видах палива. Автори щиро вдячні колективу компанії за створення сприятливих умов для творчої роботи й всебічну допомогу. Особлива вдячність колезі Турченку Віталію Сергійовичу за професійні зауваження, які поліпшили зміст цього видання, і за технічну допомогу в його оформленні.

РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАЛИВА

1.1. ПОНЯТТЯ ПРО ПАЛИВО І ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

До **палива** відносять природні або штучні горючі речовини, які спалюються для одержання тепла. Ці речовини можуть перебувати у *твердому, рідкому або газоподібному стані*.

Наведене формулювання є особливо актуальним сьогодні, коли значну частину горючих органічних речовин використовують не як паливо, а як сировину для хімічної та інших галузей промисловості. У сучасному світі спостерігаємо постійне зростання споживання енергії і всіх видів палива, в тому числі збільшення витрат штучних видів палива.

Енергія відіграє фундаментальну роль в усіх життєвих процесах. Зростання чисельності населення на планеті Земля супроводжується пропорційним збільшенням всіх видів палива та енергії (рис. 1.1).

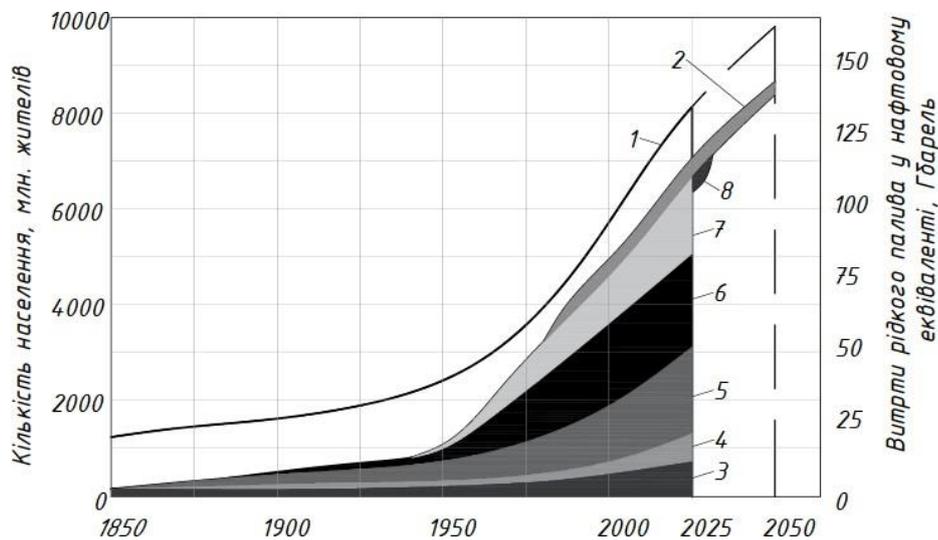


Рис. 1.1 Залежність кількості мешканців Землі і кількості спожитого палива на планеті за роками:

1 – чисельність населення планети; 2 – загальні витрати різних видів палива у нафтовому еквіваленті в гігабарелях (160 млрд.л); 3 – витрати біомаси; 4 – еквівалентні витрати гідроенергії; 5 – витрати вугілля; 6 – витрати нафти; 7 – витрати природного газу;

Серед основних видів природного викопного органічного палива – антрацити, кам’яне і буре вугілля, сланці, нафта, продукти нафтопереробки, природний газ. Але сьогодні уже існує низка штучних палив, які підпадають, у тому числі, під категорію **альтернативних видів палива** [1].

До цих видів палива відносять: кам’яновугільний кокс і напівкокс, деревне вугілля, тверде, рідке та газове паливо, яке є альтернативою природним традиційним видам палива і виробляється з нетрадиційних та

поновлювальних джерел і видів енергетичної сировини (включаючи біомасу), або є сумішшю традиційного палива з альтернативним.

Важливим видом альтернативного палива є **біомаса**. Відповідно до [1], біомаса – це "невикопна біологічно відновлювана речовина органічного походження, здатна до біологічного розкладу, у вигляді продуктів, відходів та залишків лісового та сільського господарства (рослинництва і тваринництва), рибного господарства і технологічно пов'язаних із ними галузей промисловості, а також компонент промислових або побутових відходів, здатна до біологічного розкладу".

Переважну частину біомаси становить агробіомаса та пожнивні рештки (стебла, листя, корені, солома, тощо). Важливою є і частка біомаси у вигляді : деревини лісів та лісонасаджень, відходів їхньої переробки; продуктів водних середовищ; енергетичних культур (верби, тополі, міскантуса, проса, сорго тощо).

Така біологічно відновлювана сировина може використовуватись як безпосередньо для її спалювання (первинна біомаса), так і для виготовлення біопалива або іншої продукції (вторинна біомаса).

У законодавстві види палива, які виготовлені із біомаси, називаються біопаливом та визначені як "тверде, рідке та газове паливо, виготовлене з біологічно відновлювальної сировини (біомаси), яке можна використовувати як паливо або компонент інших видів палива" [1].

Окрім визначення "біопалива", законом встановлено визначення "**твердого біопалива**". Це тверда біомаса, що використовується як котельно-пічне паливо, у тому числі дрова, торф, тирса, тріска, солома, стебла кукурудзи, стебла соняшника, стрижні качанів кукурудзи, лушпиння соняшника, лушпиння рису інші сільськогосподарські відходи, гранули та брикети, вироблені з біомаси, деревне вугілля та вуглиста речовина.

Показово те, що до альтернативних відносять також паливо, видобуте з нафтових, газових, нафтогазоконденсатних родовищ непромислового значення, вичерпаних родовищ; виготовлене з важких сортів нафти тощо; за своїми ознаками відрізняється від вимог до традиційних видів палива. Якщо таке паливо за своїми характеристиками відповідає вимогам до традиційних видів палива, дія Закону України "Про альтернативні види палива" [1] поширюється лише на його виробництво (видобуток) і не поширюється на споживачів палива.

До альтернативних видів твердого палива належать:

– *продукція та відходи сільського господарства* (рослинництва і тваринництва), лісового господарства та технологічно пов'язаних з ним галузей промисловості, а також гранули, брикети, деревне вугілля та вуглиста речовина, вироблені з цієї продукції та відходів, що використовуються як паливо;