

## ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ДИМОВОЇ ТРУБИ БІОПАЛИВНОЇ ТЕС

**С. В. Атаєв**

Рівненський державний гуманітарний університет

вул. Степана Бандери, 12, м. Рівне, 33000, Україна. E-mail: atajev@ukr.net

Розглянуто особливості поширення продуктів згорання біопалива на теплових (конденсаційних) електричних станціях (ТЕС). Встановлено, що масштаб впливу біопаливних ТЕС визначається особливостями конструкції димової труби, видом та властивостями біопалива. Розглянуті екологічні наслідки переведення вітчизняних ТЕС на газове або рідке паливо, альтернативні види палива (біопаливо). В рамках техніко-економічного обґрунтування ТЕС, що спалює дерев'яну щепу, розглянуто основні продукти згорання, визначено закономірності їх поширення у навколишньому середовищі, наведено перелік критеріїв, на основі яких визначається екологічно безпечна конструкція димової труби. При виборі та обґрунтуванні основних параметрів труби ТЕС (висота та діаметр) розглядаємо всі допустимі сценарії забруднення повітря, які враховують обмеження аеродинамічних та теплових розрахунків. Поряд із розрахунками розсіювання складових димових газів екологічно безпечна конструкція димової труби біопаливної ТЕС має враховувати результати аеродинамічних розрахунків газовідвідного ствола, теплового розрахунку труби та розрахунку її оболонки на міцність. Практика показує, що не завжди результати обґрунтування екологічно безпечної конструкції димової труби співпадають із обмеженнями технічного характеру на основі аеродинамічних та теплових розрахунків. Процес порівняння варіантів конструкції димової труби біопаливної ТЕС, які відповідають різним сценаріям забруднення повітря, надає можливість визначити обґрунтовані технічні параметри найоптимальнішої з точки зору розсіювання забруднюючих речовин конструкції труби.

**Ключові слова:** тепла електростанція, параметри труби, біопаливо, продукти горіння, розсіювання.

## ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ КОНСТРУКЦИИ ДЫМОВОЙ ТРУБЫ БИОТОПЛИВНОЙ ТЭС

**С. В. Атаев**

Ровенский государственный гуманитарный университет

ул. Степана Бандеры, 12, г. Ровно, 33000, Украина. E-mail: atajev@ukr.net

Рассматриваются особенности распространения продуктов сгорания биотоплива на тепловых (конденсационных) электрических станциях (ТЭС). Установлено, что масштаб влияния биотопливных ТЭС определяется особенностями конструкции дымовой трубы, видом и свойствами биотоплива. Рассмотрены экологические последствия перевода отечественных ТЭС на газовое или жидкое топливо, альтернативные виды топлива (биотопливо). В рамках технико-экономического обоснования ТЭС, которая сжигает деревянную щепу, рассматриваются основные продукты сгорания, определены закономерности их распространения в окружающей среде, приведен перечень критериев, на основе которых определяется экологически безопасная конструкция дымовой трубы. При выборе и обосновании основных параметров трубы ТЭС (высота и диаметр) рассматриваем все допустимые сценарии загрязнения воздуха, которые учитывают ограничение аэродинамических и тепловых расчетов. Вместе с расчетами рассеивания составных димовых газов экологически безопасная конструкция дымовой трубы биотопливной ТЭС должна учитывать результаты аэродинамических расчетов газоотводящего ствола, теплового расчета трубы и расчета ее оболочки на прочность. Практика показывает, что не всегда результаты учета экологически безопасной конструкции трубы совпадают с ограничениями технического характера на основе аэродинамических и тепловых расчетов. Процесс сравнения вариантов конструкции дымовой трубы биотопливной ТЭС, которые отвечают разным сценариям загрязнения воздуха, предоставляет возможность определить обоснованные технические параметры самой оптимальной с точки зрения рассеивания загрязняющих веществ конструкции трубы.

**Ключевые слова:** тепловая электростанция, параметры трубы, биотопливо, продукты горения, рассеивание.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Димові труби теплових електростанцій (ТЕС, ТЕЦ) є унікальними та відповідальними інженерними спорудами, оскільки впливають на надійність експлуатації теплоенергетичного господарства, визначають рівень рентабельності генерації енергії [1-4]. До облаштування та експлуатації димових труб при будівництві нових ТЕС (ТЕЦ), реконструкції та модернізації існуючих станцій висувається ціла низка умов та критеріїв, які мають врахувати не лише стійкість та довговічність конструкції труби,

надійність її експлуатації, але і дотримання вимог екологічної безпеки прилеглих територій.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Світова практика експлуатації ТЕС, що працюють на різних видах палива, свідчить, що вихід із ладу одного із елементів газовідвідного тракту може призводити до значного зниження енергетичної потужності об'єктів [1, 2]. Переведення станцій на газове або рідке паливо, альтернативні види палива (біопаливо), нестабільні режими експлуатації котлів, робота ТЕС на понижених навантаженнях пришвидшують руйнування конструкцій димових

труб. Незадовільний стан димових труб призводить до збільшення масштабів поширення продуктів горіння палива [5, 6]. Для ТЕС, що експлуатуються, однією із причин виникнення екологічних загроз може бути невідповідність конструкції димової труби режимам експлуатації. Для об'єктів, що проєктуються, при обґрунтуванні конструкції димової труби окрім технічних факторів (ефективна робота газоочисного та тягодутного обладнання) необхідно враховувати рельєф та характер прилеглих територій, мікроклімат регіону, теплотворну здатність та властивості палива тощо. Масштаби поширення продуктів згорання палива за різних режимів експлуатації ТЕС можна зменшити, створюючи допустимий рівень загроз для довкілля, формуючи позитивну громадську думку або на рівні впровадження нових енергетичних проєктів, або при продовженні терміну експлуатації старих ТЕС. Важливо при цьому раціонально обґрунтувати параметри конструкції димових труб.

На вітчизняних ТЕС експлуатуються димові труби різних конструкцій – металеві, цегляні та залізобетонні із футеруванням, вентиляційним зазором, із металевими газовідвідними стволами та ін. Найбільшою димовою трубою на Україні є димовідвідний тракт Харківської ТЕЦ-5 (рис. 1) висотою 330 м. Для порівняння, це така ж висота, як і у Ейфелевої вежі (Франція). Крім цієї труби по території України експлуатуються щонайменше 25 димових труб ТЕС та ТЕЦ, де мінімальна висота складає 180 м. За даними Центру досліджень енергетики понад 90% всіх встановлених потужностей теплової енергетики знаходяться за межами граничного моторесурсу, а понад 60% – взагалі за межами фізичного зносу [4]. Старіння вітчизняних ТЕС призводить до погіршення стану довкілля цілих регіонів. До об'єктів теплової енергетики зростає громадська недовіра навіть у ситуаціях, коли на ТЕС переходять на більш безпечні види палива (наприклад, біопаливо).

Розвиток біоенергетики є актуальним для України з її значним потенціалом запасів біомаси, доступних для отримання енергії. Основними складовими потенціалу біомаси є соломка (5,6 млн. т. у. п./рік) та інші відходи сільського господарства (стебла, початки, лушпиння та ін. – 4,7 млн. т. у. п./рік), а також відходи деревини. Першочергового використання в якості альтернативного палива на вітчизняних ТЕС (ТЕЦ) потребують наявні відходи твердої біомаси – деревини [7, 8], тоді як вирощування і використання енергетичних культур (верба, тополя, міскантус), рідкого палива з біомаси – це, скоріше за все, справа найближчих 5-10 років.

Із біомаси на практиці експлуатації ТЕС (ТЕЦ) можна отримувати електричну, теплову та механічну енергію. Однією із таких біопаливних станцій, яка в якості палива буде використовувати дерев'яну щепу, є теплова (конденсаційна) електростанція (ТЕС) у Рівненській обл. При розробці техніко-економічного обґрунтування ТЕС розглядали різні територіальні та технологічні альтернативи, види біопалива, технології оборотного водопостачання та охолодження води,

шляхи знешкодження біозоли та очистки пилогазоповітряної суміші і т.д. Але серед усіх цих альтернатив головна роль була відведена пошуку оптимальних параметрів димової труби ТЕС – її висоти та діаметру, матеріалу конструкції, що в кінцевому рахунку гарантувало б рентабельність роботи станції та допустимий рівень і масштаб впливу продуктів згорання біопалива.



Рисунок 1 – Димовідвідна труба Харківської ТЕЦ-5 висотою 330 м

Основним призначенням димової труби ТЕС є розсіювання токсичних речовин, що містяться у складі димових газів, з метою формування безпечних їх концентрацій у приземному шарі повітря [2, 3]. Такі параметри, як висота та діаметр димової труби, потребують уточнення не лише з точки зору аналізу та оцінки масштабів поширення продуктів згорання біопалива. Димові труби, з однієї сторони, є будівельною конструкцією, з іншої сторони – невід'ємним елементом технологічного циклу ТЕС, пов'язаним із викидами нагрітих і, як правило, агресивних димових газів. Конструкція димової труби повинна забезпечити необхідний рівень надійної роботи ТЕС, розрідження у газоходах та відсутність надлишкового тиску у трубі, можливість проведення профілактичних оглядів та ремонтів. Поряд із обрахунками розсіювання складових димових газів екологічно безпечна конструкція димової труби біопаливної ТЕС має враховувати результати аеродинамічних розрахунків газовідвідного ствола, теплового розрахунку труби та розрахунку її оболонки на міцність. Практика показує, що не завжди результати обрахунків екологічно безпечної конструкції димової труби співпадають із обмеженнями технічного характеру на основі аеродинамічних та теплових розрахунків.

На обґрунтування параметрів димової труби біопаливної ТЕС впливають особливості самого біопалива – його теплотворна здатність, вміст шкідливих компонентів, вологість, зольність і т.д. Біопаливо має свої характерні особливості [9, 10]. Воно є менш однорідним за своїми

характеристиками (розміром, вмістом вологи, теплотворною здатністю тощо), ніж викопні види палива. Така відмінність вимагає створення специфічної конструкції установок, контролю технологічного процесу з використанням біомаси.

Досить поширеним видом біопалива при експлуатації сучасних ТЕС (ТЕЦ) є дерев'яна щепка (рис. 2). На вітчизняних ТЕС (ТЕЦ) в якості біопалива перевагу надають саме такому виду палива [1, 4]. Властивості дерев'яної щепи, її хімічний склад описуються у різних вітчизняних нормативних документах, науково-технічній літературі, однак у національних стандартах не має чіткої інформації про вміст шкідливих компонентів у відходах деревини, відсутні дані щодо вмісту золи, вологості та теплотворної здатності окремих порід деревини. На Україні також є проблеми із роботою акредитованих та сертифікованих центрів, що здійснюють детальний аналіз властивостей того чи іншого виду біопалива. При цьому властивості деревини визначають спектр викидів токсичних газів, їх масу, і в кінцевому рахунку можливості розсіювання через димову трубу із певними параметрами. За відсутності чітких даних по дерев'яній щепі масштаб впливу ТЕС (ТЕЦ) може бути визначений невірно, а параметри димової труби, що обраховані для таких викидів, сприятимуть формуванню завищених концентрацій токсичних газів у повітрі населених пунктів.



Рисунок 2 – Загальний вигляд дерев'яної щепи, яка використовується в якості біопалива

На практиці обґрунтування екологічно безпечної конструкції димової труби ТЕС скористалися положеннями європейського стандарту EN 14961-1-2010 «Solid biofuel. Fuel specifications and classes. Part 1. General requirements» (далі – стандарту) [9]. У стандарті розрізняють властивості відходів деревини, які обробляються спеціальними реактивами, були використані раніше у господарській діяльності, не були задіяні у технологічних процесах. Адже біопаливо для потреб ТЕС можна отримувати із підприємств, які утилізують промислову деревину, займаються обробкою зрізаного деревостою із використанням спеціальних хімічних реактивів тощо. При спалюванні такого біопалива спектр викиду важких металів і таких специфічних речовин, як хлор ( $Cl_2$ ) та бенз(а)пірен ( $C_{20}H_{12}$ ), кардинально відрізняється від деревини, яка свіжо

зрізана та подрібнена на тріску. Є відмінності і по таких властивостях, як вологість та зольність, теплотворна здатність. Все це впливає і на обґрунтування конструкції димової труби ТЕС.

З метою зменшення масштабів забруднення повітря в районі розташування ТЕС (ТЕЦ), скорочення капітальних затрат на зведення та експлуатацію димової труби бажано використовувати дерев'яну тріску із деревини, яка раніше не використовувалась, не оброблювалась хімічними реактивами, не містить фарб та інших матеріалів. Відповідно до стандарту [9] у складі такого біопалива сірка буде відсутня, що не передбачатиме надмірний вміст оксидів сірки ( $SO_2$ ) у димових газах при спалюванні такого палива. Це збільшуватиме надійність та стійкість димової труби, оскільки основним агресивним компонентом, здатним до її корозії, є оксиди сірки ( $SO_2$ ). У викидах при спалюванні такого палива буде відсутній хлор ( $Cl_2$ ) та бенз(а)пірен ( $C_{20}H_{12}$ ). При використанні деревини, що раніше була задіяна у виробництві та оброблялась певними матеріалами, для безпечного розсіювання викидів цих речовин конструкція димової труби буде потребувати більшої висоти, затрат на захист від корозії, профілактичні огляди і поточний ремонт.

Важливим показником для екологічного обґрунтування димової труби є зольність біопалива, від якого залежить вміст твердих частинок у димових газах. Відповідно до вітчизняних стандартів зольність відходів деревини складає не більше 0,7% [10]. У стандарті [9] вміст золи у щепі складає не більше 0,3%. Це вимагає проведення детального аналізу щепи від постачальників на вміст зольності та інших компонентів у сертифікованих центрах.

Всі переваги використання дерев'яної щепи в якості альтернативного виду палива на ТЕС пов'язані із додатковими затратами ресурсів, оскільки корисна дія енергетичних об'єктів на альтернативному виді палива менше від теплових електростанцій, які працюють на вугіллі або природному газі [1, 8]. Так, при спалюванні викопних видів органічного палива на практиці отримуємо більшу масу викидів порівняно із дерев'яною щепкою, вміст та спектр забруднюючих речовин у димових газах при спалюванні щепи набагато менший, порівняно із вугіллями. Порівняно із природним газом одним із негативних аспектів біопаливних ТЕС є накопичення значної маси відпрацьованої біозоли. Така біозола відрізняється за своїм складом від золи, що утворюється при спалюванні викопних твердих видів палива, вона менше насичена важкими металами [5]. Після первинної обробки біозола може вноситись на сільськогосподарські угіддя в якості органічного добрива. Задача утилізації біозоли завжди залишається актуальною при експлуатації біопаливних ТЕС [7]. Об'єми утвореної біозоли при роботі станцій визначаються величиною зольності.

Органічне паливо складається в основному із трьох елементів – вуглецю, водню та сірки. При горінні щепи відбувається швидке поєднання

кисню із цими горючими елементами, що супроводжується виділенням тепла. При спалюванні щепи практично вся її маса перетворюється у відходи (біозолу та димові гази), причому продукти згорання у декілька разів перевищують масу використаного палива за рахунок включень азоту і кисню повітря [8]. У загальному об'ємі забруднення повітря відходами експлуатації біопаливних ТЕС на пил припадає 20-35%, оксиди вуглецю до 50%, оксиди азоту 30-35%.

Небезпечними токсичними газами при згоранні щепи є оксиди азоту. Утворення оксидів азоту при горінні деревини представляє собою складний процес, який залежить від умов горіння. Важливими факторами є система подачі повітря, температура реакції та розподіл температури. На виході із димової труби ТЕС викиди оксидів азоту при спалюванні вугілля будуть складатися до 85-90% із викидів оксиду азоту (NO) і на 10-15% із викидів діоксиду азоту (NO<sub>2</sub>). При спалюванні деревини співвідношення оксидів азоту у тричі менше [8]. Порушення режимів спалювання біопалива призводить до появи у складі димових газів сажі (C), смолистих сполук, канцерогенів, зокрема таких як бенз(а)пірен (C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>).

Іншим небезпечним фактором при спалюванні всіх видів твердого палива є утворення пилу – твердих суспендованих частинок. Тверда фаза викидів ТЕС може мати у своєму складі алюмосилікати, негорючу сульфатну сірку а також деякі вільні мікроелементи. Вміст вільного діоксиду кремнію (SiO<sub>2</sub>) у пиловій складовій викидів коливається від 10 до 82%. Пил негативно впливає на дихальні шляхи живих організмів [5, 6]. Тверді частинки розміром більше ніж 12 мкм практично повністю затримуються у дихальних шляхах та погано виводяться із організму. Результати дослідження процесу самоочистки атмосферного повітря від твердих частинок в районі розташування біопаливних ТЕС показують, що частинки розміром 10 мкм відносно швидко опускаються на землю. Частинки розміром 4-10 мкм можуть підніматись із димовими газами та поширюватися на великі відстані від димової труби. Для затримки пилової фракції на практиці використовують різноманітні газоочисні технології, де головне місце відводиться циклонам [3, 4].

При горінні деревини у теплогенеруючих установках ТЕС може виникати недолік кисню, що призводить до утворення оксиду вуглецю (CO) та різноманітних вуглеводнів, які на практиці контролю та моніторингу викидів забруднюючих речовин мають назву неметанових летких органічних сполук (НМЛОС). Такі включення у димових газах створюють неприємний запах та можуть викликати проблеми для здоров'я населення, що проживає в районі ТЕС [5, 6]. Деревина, порівняно із вугіллям, має високий вміст летючих та смолистих сполук, тому уникнути викидів (НМЛОС) навіть при спалюванні екологічно чистих видів палива не вдається. В залежності від повноти спалювання деревини концентрація згаданих вище сполук може

зменшуватись. Чим повніше процес спалювання деревини, тим менший вміст (НЛОС) у відпрацьованих димових газах.

Відповідно до європейського Керівництва з інвентаризації викидів CORINAIR більшість біопаливних ТЕС відноситься до точкових джерел за групою 010100 «Установки з тепловою потужністю топки менше 50 МВт. Електростанції загального користування» код SNAP 010103. При спалюванні відходів деревини необхідно враховувати викиди наступних речовин: речовини у вигляді суспендованих твердих частинок, оксиди сірки у перерахунку на діоксид сірки (SO<sub>2</sub>), оксиди азоту у перерахунку на діоксид азоту (NO<sub>2</sub>), двоокис вуглецю (вуглекислий газ) (CO<sub>2</sub>) – парниковий газ, неметанові леткі органічні сполуки (НМЛОС), метан (CH<sub>4</sub>) – парниковий газ, азоту оксид (N<sub>2</sub>O) – парниковий газ, оксид вуглецю (CO).

Вагомим фактором і показником викидів біопаливної ТЕС є величина нижчої теплоти згорання дерев'яної щепи. Нижча теплота згорання щепи – кількість тепла, що виділяється одним її кілограмом з урахуванням згорання водню у водяну пару і випаровування вологи палива [1-3, 7, 8, 10]. Дана характеристика біопалива окрім розрахунків маси продуктів згорання використовується для визначення мінімально необхідного запасу дерев'яної щепи для рентабельної роботи ТЕС. Стандарт Європейського Союзу [9] для відходів деревини (первинні дерев'яні матеріали із невеликим вмістом кори дерева, листя, гілок та хвої або без хвої) встановлює величину нижчої теплоти згорання щепи в залежності від породи дерева у діапазоні від 6,84 до 12,06 МДж/кг.

У штатному режимі експлуатації об'єктів інфраструктури біопаливних ТЕС (ТЕЦ) окрім димової труби джерелами забруднення повітря виступатимуть склади палива, майданчики для складування відпрацьованої біозоли. Особливою загрози для повітря прилеглих територій, в тому числі і населених пунктів, склади палива та біозоли не представляють. Безпечна експлуатація ТЕС має передбачати гарантований запас дерев'яної щепи, можливості тимчасового складування біозоли. Якщо на території ТЕС питання гарантованого запасу щепи не вирішено, це призводитиме до простою станції та технологічного обладнання, що в кінцевому рахунку сприяє зниженню надійності експлуатації котлів та димових труб. При надмірному накопиченні і неправильному зберіганні біозоли до моменту утилізації пил розсіюється по території промислових майданчиків, ускладнює експлуатацію обладнання та створює професійні ризики для персоналу ТЕС [4-6].

Неорганізовані викиди забруднюючих речовин із складів палива та біозоли не представляють такої загрози, як викиди із димових труб ТЕС. Як правило, масштаб міграції біозоли обмежується промисловим майданчиком, максимум буферними територіями санітарно-захисної зони (СЗЗ). Токсичні гази при спалюванні біопалива із урахуванням особливостей рельєфу та мікрокліматичних параметрів мають здатність

поширюватись на значні відстані за межі промислових майданчиків ТЕС.

При прогнозуванні масштабів забруднення повітря продуктами спалювання деревини на ТЕС в районі населених пунктів Рівненської обл., промислового майданчика ТЕС (для повітря робочої зони існують свої стандарти на вміст продуктів спалювання) скористалися наступними сценаріями (табл. 1 та табл. 2): **сценарій №1** – при викидах пилогазоповітряної суміші від димової труби висотою 35 м та діаметром 0,8 м; **сценарій №2** – при викидах пилогазоповітряної суміші від димової труби висотою 35 м та діаметром 1,0 м; **сценарій №3** – при викидах пилогазоповітряної суміші від димової труби висотою 35 м та діаметром 1,2 м; **сценарій №4** – при викидах пилогазоповітряної суміші від димової труби висотою 40 м та діаметром 0,8 м; **сценарій №5** – при викидах пилогазоповітряної суміші від димової труби висотою 40 м та діаметром 1,0 м; **сценарій №6** – при викидах пилогазоповітряної суміші від димової труби висотою 40 м та діаметром 1,2 м; **сценарій №7** – при викидах пилогазоповітряної суміші від димової труби висотою 45 м та діаметром 0,8 м; **сценарій №8** – при викидах пилогазоповітряної суміші від димової труби

висотою 45 м та діаметром 1,0 м; **сценарій №9** – при викидах пилогазоповітряної суміші від димової труби висотою 45 м та діаметром 1,2 м.

Всі розглянуті вище сценарії забруднення повітря відповідали критеріям та результатам аеродинамічних розрахунків ствола труби, теплового розрахунку та вимогам міцності оболонки труби [3]. Вибір одного із цих сценаріїв гарантував би нормальну та безаварійну роботу ТЕС, але не відповідав екологічним вимогам.

Порівняння різних варіантів конструкції димової труби ТЕС при визначенні максимально можливих концентрацій основних продуктів спалювання дерев'яної щепи в рамках ТЕО надало можливість визначити економічно обґрунтовані параметри найоптимальнішої з точки зору розсіювання забруднюючих речовин конструкції димової труби. Серед усіх розрахованих сценаріїв забруднення повітря прилеглих до ТЕС територій перевага віддавалась тому сценарію, при якому була визначена мінімально допустима висота димової труби із діаметром, що в кінцевому рахунку гарантує формування безпечних концентрацій продуктів горіння дерев'яної щепи при максимальних теплових навантаженнях.

Таблиця 1 – Результати прогнозування концентрацій продуктів спалювання дерев'яної щепи на межі СЗЗ за різних сценаріїв забруднення повітря прилеглих територій біопаливної ТЕС

Сценарій забруднення повітря	Висота труби	Діаметр труби	Концентрації забруднюючих речовин							
			Діоксид азоту		Оксид вуглецю		Вуглеводні		Пил неорганічний	
			мг/м <sup>3</sup>	долі ГДК	мг/м <sup>3</sup>	долі ГДК	мг/м <sup>3</sup>	долі ГДК	мг/м <sup>3</sup>	долі ГДК
Сценарій №1	35	0,8	0,1862	0,9310	0,5680	0,1136	1,0033	1,0033	0,1759	0,5862
Сценарій №2	35	1,0	0,1890	0,9450	0,5710	0,1142	1,0031	1,0031	0,1768	0,5893
Сценарій №3	35	1,2	0,1909	0,9544	0,5730	0,1146	1,0097	1,0097	0,1774	0,5914
Сценарій №4	<b>40</b>	<b>0,8</b>	<b>0,1501</b>	<b>0,7506</b>	<b>0,5320</b>	<b>0,1064</b>	<b>0,8659</b>	<b>0,8659</b>	<b>0,1639</b>	<b>0,5462</b>
Сценарій №5	40	1,0	0,1523	0,7616	0,5345	0,1069	0,8737	0,8737	0,1646	0,5487
Сценарій №6	40	1,2	0,1538	0,7690	0,5360	0,1072	0,8789	0,8789	0,1651	0,5503
Сценарій №7	45	0,8	0,1231	0,6156	0,5050	0,1010	0,7707	0,7707	0,1549	0,5164
Сценарій №8	45	1,0	0,1249	0,6243	0,5070	0,1014	0,7769	0,7769	0,1555	0,5183
Сценарій №9	45	1,2	0,1260	0,6302	0,5080	0,1016	0,7810	0,7810	0,1559	0,5196

Таблиця 2 – Результати прогнозування концентрацій продуктів спалювання дерев'яної щепи в районі житлової забудови за різних сценаріїв забруднення повітря прилеглих територій біопаливної ТЕС

Сценарій забруднення повітря	Висота труби	Діаметр труби	Концентрації забруднюючих речовин							
			Діоксид азоту		Оксид вуглецю		Вуглеводні		Пил неорганічний	
			мг/м <sup>3</sup>	долі ГДК	мг/м <sup>3</sup>	долі ГДК	мг/м <sup>3</sup>	долі ГДК	мг/м <sup>3</sup>	долі ГДК
Сценарій №1	35	0,8	0,0676	0,3378	0,4495	0,0899	0,5748	0,5748	0,1365	0,4549
Сценарій №2	35	1,0	0,0678	0,3392	0,4500	0,0900	0,5758	0,5758	0,1366	0,4552
Сценарій №3	35	1,2	0,0680	0,3402	0,4500	0,0900	0,5765	0,5765	0,1366	0,4554
Сценарій №4	40	0,8	0,0618	0,3090	0,4440	0,0888	0,5545	0,5545	0,1346	0,4485
Сценарій №5	40	1,0	0,0621	0,3104	0,4440	0,0888	0,5554	0,5554	0,1346	0,4488
Сценарій №6	<b>40</b>	<b>1,2</b>	<b>0,0622</b>	<b>0,3112</b>	<b>0,4440</b>	<b>0,0888</b>	<b>0,5560</b>	<b>0,5560</b>	<b>0,1347</b>	<b>0,4490</b>
Сценарій №7	45	0,8	0,0570	0,2852	0,4390	0,0878	0,5377	0,5377	0,1330	0,4432
Сценарій №8	45	1,0	0,0573	0,2864	0,4395	0,0879	0,5385	0,5385	0,1331	0,4435
Сценарій №9	45	1,2	0,0574	0,2872	0,4395	0,0879	0,5391	0,5391	0,1331	0,4436

Вибір оптимальних параметрів димової труби ТЕС здійснювався згідно наступних міркувань та критеріїв: 1) для сценарію забруднення концентрація шкідливих речовин на межі СЗЗ, поряд із житловою забудовою населених пунктів не має перевищувати норму ГДК; 2) для сценарію забруднення концентрація пилу має поширюватися до межі селітебної зони; 3) на промисловому майданчику концентрація забруднюючих речовин не має перевищувати норму для повітря робочої зони; 4) для сценарію забруднення мають дотримуватись всі вимоги щодо ефективної та безпечної експлуатації технологічного обладнання.

На межі житлової забудови в районі розташування ТЕС прогнозовані концентрації всіх продуктів згорання деревини не перевищували встановлені норми для всіх сценаріїв забруднення (табл. 2). Прийнятними були такі параметри труби, за яких пил неорганічний при спалюванні деревини не виходив на межі зони селітебної зони. За умови одночасного розгляду рівня забруднення повітря на межі СЗЗ (табл. 1), поряд із житловою забудовою найбільш прийнятним був варіант конструкції димової труби із висотою 40 м. Звісно, що допустимим є діаметр 0,8 м такої труби, але він не гарантував нормальну роботу обладнання ТЕС.

За другим критерієм відбору оптимальних параметрів димової труби, які гарантують безпечно розсіювання твердих суспендованих частинок, недопустимими були **сценарії №1, 2, 3 та 4**. За таких сценаріїв при спалюванні біопалива продукти згорання мігруватимуть на територію населеного пункту. Всі інші сценарії забруднення дозволяли скоротити масштаб поширення пилу. Із урахуванням концентрацій інших продуктів спалювання деревини та масштабів поширення твердих суспендованих частинок прийнятим з екологічної точки зору виявився **сценарій №5**.

В рамках третього критерію відбору безпечної конструкції димової труби було враховано можливе забруднення повітря безпосередньо на території промислового майданчика ТЕС – на відстані 30 м від труби. Зупинились на **сценарії №4**, для якого концентрації забруднюючих речовин були менше від норми ГДК, а робота тягодутного обладнання сприяла ефективному розсіюванню речовин.

**ВИСНОВКИ.** В рамках ТЕО біоенергетичних проектів, які спрямовані на генерацію електроенергії, можна розглядати різні територіальні та технологічні альтернативи. Саме перебір альтернативних рішень із наслідками впливу продуктів біопалива дозволяє знайти компроміс між спеціалістами теплоенергетиками і екологами. Вибір та реалізація неправильно обґрунтованих параметрів димової труби (труб) ТЕС може мати комплексні наслідки для експлуатації всього циклу роботи, починаючи від запасів біопалива, умов його зберігання, та закінчуючи рівнем генерації електроенергії. На сьогодні стоїть задача продовження терміну експлуатації старих ТЕС за рахунок використання альтернативних видів біопалива, але при модернізації обладнання не звертають увагу на

параметри димових труб, що в кінцевому рахунку призводить не лише до падіння рентабельності вироблення електроенергії, але і збільшення масштабів поширення продуктів спалювання, погіршення умов проживання населення тощо.

В результаті детального дослідження наслідків та масштабів поширення продуктів згорання дерев'яної щепи при роботі ТЕС тепловою потужністю 14 МВт було встановлено, що найбільш оптимальною висотою єдиної димової труби є висота 40 м, діаметр труби, що враховує всі критерії безпеки повітря прилеглих територій та нормальної експлуатації технологічного обладнання, приймався 1,2 м. За таких параметрів труби при максимальних навантаженнях технологічних процесів концентрації продуктів спалювання дерев'яної щепи не порушуватимуть санітарно-гігієнічні нормативи. Екологічно обґрунтована конструкція труби дозволила зекономити на матеріалах для її облаштування, затратах на антикорозійний захист.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Малярєнко В.А. Енергетичні установки. Загальний курс: Навчальний посібник. – 2-е видання. Харків. Видавництво «Сага», 2008. 320 с.
2. Рихтер Л.А. Газовоздушные тракты тепловых электростанций. Москва: Энергия, 1969. 270 с.
3. Рихтер Л.А., Елизаров Д.П., Лавыгин В.М. Вспомогательное оборудование тепловых электростанций: Учебное пособие для вузов. Москва: Энергоатомиздат, 1987. 216 с.
4. Степанов Д.В., Корженко Є.С., Бондар Л.А. Котельні установки промислових підприємств: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2011. 120 с.
5. Бойченко М.В. Анализ каменного угля, как источника попадания токсичных соединений в организм человека и сельскохозяйственных животных. *Актуальные вопросы судебной медицины и экспертной практики*, Барнаул-Новосибирск, 2011. Вып. 17. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://journal.forens-lit.ru/node/470>.
6. Екологічний ризик: методологія оцінювання та управління: Навч. посібник/ Лисиченко Г.В., Хміль Г.А., Барбашев С.В., Забулонов Ю.Л., Тищенко Ю.Є. Київ: Наук. Думка, 2014. 328 с.
7. Біоенергетичні проекти: від ідеї до втілення. Практичний посібник / Під загальною редакцією Тормосова Р.Ю. Київ: ТОВ «Поліграф плюс», 2015. 208 с.
8. Дзяди́кевич Ю.В., Розум Р.І., Буряк М.В. Особливості процесу спалювання деревної біомаси та шляхи його покращення. *Альтернативные источники энергии*. 2010. №10(80). С. 41-45.
9. EN 14961-1-2010 «Solid biofuel. Fuel specifications and classes. Part 1. General requirements».
10. Саранчук В.І., Ільшов М.О., Ошовський В.В., Білецький В.С. Основи хімії і фізики горючих копалин. Донецьк: Східний видавничий дім, 2008. 640 с.

## GROUNDING OF ENVIRONMENTALLY SAFETY CONSTRUCTION PARAMETERS THERMAL PIPES OF BIOPULLED TPS

**S. Atajev**

Rivne State University of Humanities

vul. Stepana Bandery, 12, 33000, c. Rivne, Ukraine. E-mail: atajev@ukr.net

**Purpose.** The peculiarities of distribution of products of combustion of biofuels on thermal (condensing) electric power stations are considered. It was established that the scale of the impact of biofuel thermal power plants is determined by the features of the design of the chimney, the type and properties of biofuels. The ecological consequences of the transfer of domestic thermal power plants to gas or liquid fuels, alternative fuels (biofuels) are considered. **Methodology.** Within the framework of the feasibility study of the thermal power plant burning wood chips, the main combustion products are considered, the patterns of their distribution in the environment are determined, the list of criteria on the basis of which the ecologically safe design of the chimney pipe is determined. When choosing and substantiating the main parameters of a pipe of a thermal power plant (height and diameter) we consider all permissible air pollution scenarios that take into account the limitations of aerodynamic and thermal calculations. Finding the optimal height and diameter of the chimney pipe of the tiled power plant is a complex process, whose participants operate on different criteria of heat and energy and the safety of adjacent areas. **Result.** When substantiating the operating modes of a biofuel thermal power plant that burns a wood chip, the most optimal design of the chimney pipe was established. The height and diameter of the pipe take into account the distance from the industrial sites to the nearest building, the nature of the adjacent areas, determine the minimum required fuel supply and projected volumes of ash and flue gases. Among the different variants of the height and diameter of the pipe, the results of the heat energy calculations were oriented on the ratio of height and diameter, where the height was greater and the diameter smaller. Environmental calculations assumed a smaller height for a safe pipe structure but with a larger diameter. **Originality.** To determine the environmentally safe design of the chimney of biofuel thermal power stations, the most important parameters are height and diameter, since such parameters determine the work of the station as a whole, the cost-effectiveness of the generation of electric energy. They are the limit of the collision of the criteria of mechanical and ecological nature, in fact, if the data are rationally selected, then the normal operation of the auxiliary equipment of the thermal power plant is guaranteed. Different technical alternatives can be considered in the construction and operation of heat and power facilities, but ignoring of the parameters of the chimney can not only threaten the neighboring population but also reduce the life of the objects themselves. **Practical value.** The process of comparing different variants of the construction of a smoke tube of biofuel TPS, which correspond to different air pollution scenarios, provides an opportunity to determine economically justified parameters of the most optimal in terms of diffusion of pollutants in the pipe structure. *References 10, tables 2, figures 2.*

**Key words:** thermal power plant, pipe parameters, biofuels, combustion products, scattering.

### REFERENCES

1. Malyarenko, V.A. (2008), *Enerhetychni ustanovky. Zahal'nyy kurs: Navchal'nyy posibnyk* [Power plants. General course: Tutorial], Saga Publishing House, Kharkiv, Ukraine.
2. Richter, L.A. (1969), *Gazovozdushnyye trakty teplovykh elektrostantsiy* [Air-gas paths of thermal power plants], Energiya, Moscow, Russia.
3. Richter, L.A., Elizarov, D.P., and Lavygin, V.M. (1987), *Vspomogatel'noye oborudovaniye teplovykh elektrostantsiy* [Auxiliary equipment of thermal power plants], Energoatomizdat, Moscow, Russia.
4. Stepanov, D.V., Korzhenko, Ye.S., Cooper, L.A. (2011), *Kotel'ni ustanovky promyslovykh pidpryyemstv: navchal'nyy posibnyk* [Boiler installation of industrial enterprises: a training manual], Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine.
5. Boychenko, M.V. (2011), "Analysis of coal, as a source of toxic compounds in the human body and farm animals", [*Current issues of forensic medicine and expert practice*], Barnaul-Novosibirsk, 2011. <http://journal.forens-lit.ru/node/470>.
6. Lisichenko, G.V., Khmil, G.A., Barbashev, S.V., other (2014), *Ekolohichnyy ryzhok: metodolohiya otsynuyannya ta upravlinnya: Navch. Posibnyk* [Environmental risk: assessment and management methodology: Teaching. manual], Scientific thought, Kiev, Ukraine.
7. Tormosov, R.Yu. (2015), *Bioenerhetychni proekty: vid ideyi do vtilennya. Praktychnyy posibnyk* [Bioenergy projects: from idea to implementation. Practical guide], Polihraf plyus, Kyiv, Ukraine.
8. Dzyadikevich, Yu.V., Rozum, R.I. and Buryak M.V. (2010) "Particularly process spalyvannya tree biomas that shit yogo pokraschennya", *Al'ternativnyye istochniki energii*, vol. №10 (80), pp. 41-45.
9. EN 14961-1-2010 «Solid biofuel. Fuel specifications and classes. Part 1. General requirements».
10. Saranchuk, V.I., Ilyashov, M.O., Oshovsky, V.V. and Biletsky, V.S. (2008), *Osnovy khimiyi i fizyky horyuchykh kopalyn* [Establish the chemical and combustible copalin fizik]. Skhidny Vidavnychy House, Donetsk, Ukraine.