

SHIPBUILDING

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-79-2-1.35>

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕЦИРКУЛЯЦІЇ ДИМОВИХ ГАЗІВ НА РОБОТУ СУДНОВОГО ДОПОМІЖНОГО КОТЛА

Пацурковський П. А.

*кандидат технічних наук,
асистент кафедри технічної теплофізики
та суднових паровиробних установок
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна*

В останнє десятиліття значно посилилися вимоги з боку Міжнародної морської організації (ІМО) до викиду шкідливих токсичних речовин (NO_x , SO_2) в складі відпрацьованих газів суднових енергетичних установок [1]. З 2016 набули чинності посилення норм у зонах контролю емісії оксидів азоту на 80% (рівень Tier III). У зв'язку з цим потрібна розробка і впровадження на судах методів зниження викидів забруднюючих речовин в атмосферу.

Актуальність роботи обумовлена відсутністю даних щодо впливу рециркуляції газів на показники економічності та екологічності роботи суднових допоміжних котлів.

Аналіз літературних даних показав, що одним з найбільш ефективних і дешевих методів зниження викидів оксидів азоту є метод рециркуляції відпрацьованих газів (табл.1).

Таблиця 1

Ефективність методів зниження викидів NO_x

Метод	Допалювання палива	Зменшення надлишку повітря	Стадійна подача повітря	Рециркуляція димових газів	Впорскування води або пари
Ефективність, %	50	40	30	50	30

Для оцінки впливу рециркуляції димових газів на техніко-економічні та екологічні показники роботи суднового допоміжного котла було розроблено розрахункову комп'ютерну модель, яка дозволяє визначати: адіабатну і середньоінтегральну температури в зоні активного горіння (ЗАГ), температури на виході з топки та відхідних газів котла, а також температуру змішування дуттєвого повітря і газів рециркуляції; паропродуктивність котла, теплосприйняття топки і конвективного паротвірного пучка; втрату теплоти з газами і коефіцієнт корисної дії котла; аеродинамічний опір газоповітряного тракту, продуктивність і потужність дуттєвого вентилятора; викиди оксидів азоту.

Тепловий та аеродинамічний розрахунки котла виконано на основі рекомендацій [1-4]. Для розрахунку виходу оксидів азоту використані рекомендації робіт [5, 6]. В якості об'єкту дослідження прийнято судновий парової допоміжний котел Aalborg OM-TCi [1].

При теплових розрахунках було прийнято наступне:

- 1) теплові втрати від хімічної неповноти згоряння 0,5%;
- 2) теплові втрати від зовнішнього охолодження котла 1,5%;
- 3) коефіцієнт надлишку повітря прийнято 1,15;
- 4) теплова напруга топкового обсягу 800 кВт/м³.

5) паливо – малосірчастий мазут M40 з нижчою теплотою згоряння $Q_{н}^P=39,8$ МДж/кг і вмістом азоту на робочу масу 0,4%.

На рис.1 наведені графіки залежностей температур, що характеризують роботу топки: адіабатної, середньоінтегральної в ЗАГ і на виході з топки в залежності від коефіцієнта рециркуляції. Як видно з графіків, рециркуляція димових газів в розмірі 20% призводить до зниження адіабатною температури в топці на 273°C, середньоінтегральної температури в ЗАГ на 239 °C і температури газів на виході з топки – на 77°C. Важливо відзначити, що відбувається значне зниження середньоінтегральної температури в ЗАГ, від якої значною мірою залежить утворення оксидів азоту.

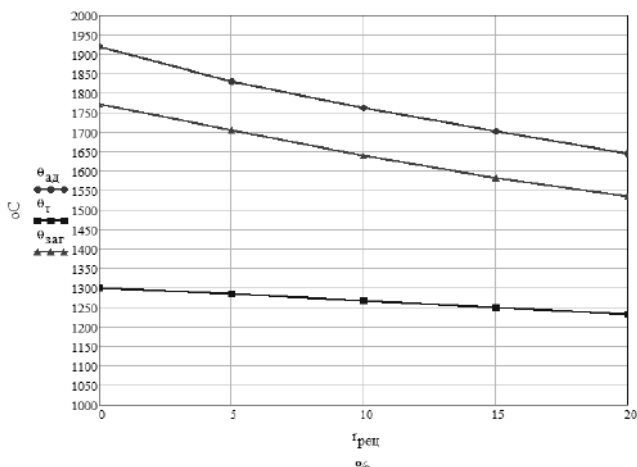


Рис. 1. Залежність адиабатною температури ($\theta_{ад}$) на виході з топки (θ_r) і середньоінтегральної температури в зоні активного горіння ($\theta_{заг}$) від коефіцієнта рециркуляції (r_{rec})

Встановлено, що температура відхідних газів котла підвищується на 11°C , а температура газоповітряної суміші на вході в дуттєвий вентилятор – на 38°C . Це в свою чергу призводить до зменшення коефіцієнта корисної дії котла з $89,2$ до $88,7\%$ (рис. 2).

Розрахунки показали, що рециркуляція газів і підвищення температури газоповітряної суміші призводить до значного зростання продуктивності дуттєвого вентилятора на $36,5\%$. Зі збільшенням коефіцієнта рециркуляції ступінь зниження викидів оксидів азоту сповільнюється, а ступінь підвищення газового опору котла зростає (рис. 3), що обумовлено квадратичною залежністю газового опору котла від швидкості газів.

При коефіцієнті рециркуляції до 15% зниження викидів оксидів азоту досягає 44% , а підвищення опору газоповітряного тракту котла досягає 25% , що є прийнятним з економічної точки зору. З рис. 3 видно, що подальше підвищення ступеня рециркуляції газів в топку більше 15% призводить до досить істотного зростання газового опору котла, що є недоцільним з економічних міркувань.

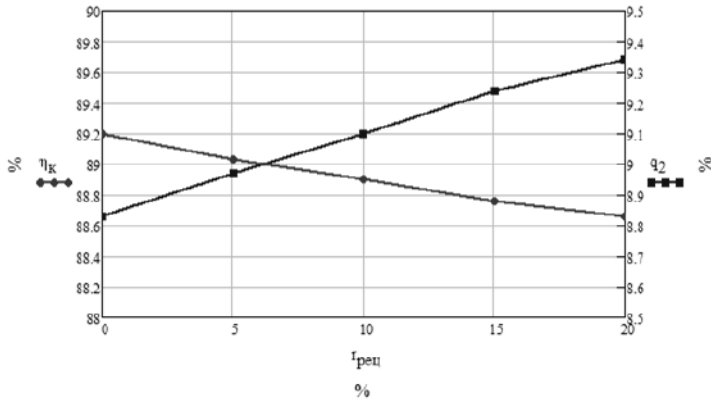


Рис. 2. Залежність коефіцієнта корисної дії котла (η_k) і втрати теплоти з газами (q_2) від коефіцієнта рециркуляції ($r_{\text{рец}}$)

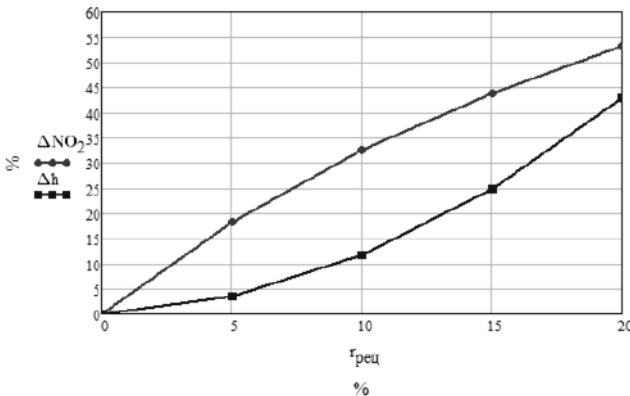


Рис. 3. Залежність зниження викидів окислів азоту (ΔNO_2) і підвищення газового опору котла (Δh) від ступеня рециркуляції газів в топку ($r_{\text{рец}}$)

Таким чином, за результатами дослідження було встановлено, що оптимальний ступінь рециркуляції газів знаходиться в межах 10...15%, що відповідає зниженню викидів окислів азоту в діапазоні від 33% до 44%.

Література:

1. Єпіфанов, О. А. Конструкції судових котлів. Навчальний посібник. Миколаїв: НУК, 2016. 198 с.
2. Тепловой расчет котлов (нормативный метод). (1998). 3-е изд., переработанное и дополненное / РАО ЕС России, ВТИ, НПО ЦКТИ; [редкол.: А. А. Абрютин и др.]. СПб: Изд-во НПО ЦКТИ. 256 с.
3. Аэродинамический расчет котельных установок. (Нормативный метод). Л.: Энергия, 1977. 255 с.
4. Хряпченков, А. С. Судовые вспомогательные и утилизационные котлы: учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. Ленинград: Судостроение, 1988. 296 с.
5. РД 153-34.02.304-2003. Методические указания по расчету выбросов оксидов азота с дымовыми газами котлов тепловых электростанций. Москва: ОАО «ВТИ», 2003. 42 с.
6. Таймаров, М. А., Чикляев, Д. Е. Образование термических окислов азота при сжигании газа. *Вестник Казанского Технологического ун-та*, Т. 16. № 23. 2013. С. 73–75.