

<https://doi.org/10.31649/1997-9266-2025-178-1-137-144>

УДК 536.2

А. Ю. Рачинський¹
О. В. Баранюк^{1,2}
О. Ю. Черноусенко¹

ТЕРМОНАПРУЖЕНИЙ СТАН БАРАБАНА КОТЛА ДКВР-10-13 У РАЗІ ЗАМІНИ ШТАТНОГО ПАЛЬНИКА НА СТРУМЕНЕВО-НІШЕВИЙ

¹Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

²Інститут теплоенергетичних технологій Національної академії наук України, Київ

Проаналізовано термонапружений стан барабан-сепаратора котла типу ДКВР-10-13 за допомогою CFD-моделювання з використанням програмного пакета Ansys Fluent. У дослідженні основну увагу приділено вивченню впливу конструктивних і експлуатаційних факторів на міцність і стабільність роботи барабана котла, оснащеного струменево-нішевими пальниками. Аналіз здійснювався для двох режимів роботи котла: номінального навантаження та у разі 60 % навантаження потужності. Використовувалася технологія стабілізованого горіння без попереднього змішування в пальнику. Газорозподіл здійснювався через круглі отвори, перпендикулярно до потоку окислювача, що сприяло ефективнішому змішуванню палива та повітря. Різниця між максимальною та мінімальною температурою поверхні барабана не перевищувала 30 °С, що забезпечує стабільність роботи конструкції. Візуалізація полів швидкості, температури та концентрацій продуктів реакції (зокрема NOx) показала, що струменево-нішева технологія сприяє зменшенню викидів шкідливих речовин та більшому згорянню палива. Відсутність нестабільності полум'я або зміщення його положення підтверджує надійність режиму горіння. Досліджено вплив температурного поля, внутрішнього тиску та теплового потоку на міцність барабана з урахуванням ослаблювальних отворів. Максимальне еквівалентне напруження за критерієм Мізеса становило 75 МПа, що значно нижче границі міцності матеріалу. Максимальна деформація барабана — 1,1 мм, що не становить загрози руйнування. Паспортна товщина стінки барабана (10 мм) є достатньою для забезпечення міцності в обох досліджуваних режимах.

Заміна стандартних пальників котла типу ДКВР-10-13 на струменево-нішеві сприяє: підвищенню ефективності та рівномірності згорання палива, поліпшенню екологічних показників завдяки зменшенню викидів NOx, при цьому забезпечується термічна міцність барабана навіть у змінних режимах роботи. Результати дослідження є вагомим підґрунтям для вдосконалення пальникових пристроїв у котлах подібного типу та підвищення їхньої енергоефективності.

Ключові слова: теплообмін, числове моделювання, міцність, ресурс, барабан котла.

Вступ

Попри перехід до безвуглецевої енергетики, спалювання вуглеводневого палива залишається значним джерелом енергії. Тому модернізація котлів для зменшення шкідливих викидів є актуальною задачею.

У сучасних умовах експлуатації застарілих парових котлів типу ДКВр, що широко використовувалися в 60—70-х роках, виникає низка проблем, які впливають як на їхню ефективність, так і на надійність роботи. Для продовження експлуатації котлів після вироблення їхнього ресурсу робочий тиск знижено до 0,6...0,8 МПа, а іноді підтримується на рівні 1...2 атм. Такий низький тиск знижує температуру насичення, що негативно впливає на циркуляцію теплоносія, підвищуючи частку пароутворення, до того ж можливе утворення накипу в екранних трубах, збільшуючи ризик перепалювання. Під час роботи на низькому тиску (1...3 атм) виникає ризик пароутворення в ча-

вунних водяних економайзерах. Це змушує відключати економайзери, що погіршує теплову ефективність котлів. Відомо, що у нормальних умовах ККД старих котлів не перевищує 80...82 %, а за наявності сильного забруднення труб знижується до 70...75 %. Це підвищує витрати палива та негативно впливає на економіку експлуатації. І саме головне — через вичерпаний ресурс обладнання потрібне регулярне проведення технічних оглядів та експертизи промислової безпеки для продовження терміну експлуатації.

Підвищення ефективності роботи котла часто виконується за рахунок зміни конструкції пальників. Це необхідно також для підвищення гнучкості вугільних генерувальних установок, підвищення гнучкості енергетичної системи та сприяння скороченню викидів забруднювальних частинок. В роботі [1] проводилось порівняння стабільної здатності запалювання пальників з плавним корпусом і щільним пальником з прямим корпусом. До того ж досліджено застосування пальників зі щільним плавним корпусом у глибокому зменшенні піків котла електричної установки потужністю 330 МВт. Результати дослідження показали, що температура паливо-повітряної суміші в пальнику зі щільним корпусом буде вищою ніж у пальника з плавним корпусом. Це підвищить його здатність до постійного горіння. Виявлено, що результати випробування горіння узгоджуються з результатами аналізу, вказуючи на те, що коли пальник зі щільним корпусом використовується на установці потужністю 330 МВт. У цьому випадку він має стабільну потужність згоряння 66 МВт (що на 20 % економічно доцільніше).

Модернізація пальника суттєво впливає на функціонування котлової системи, що доведено в роботі [2], де автори визначили ефективність модифікованого пальника, форсунки для наджарового повітря (OFA) і каналу вторинного повітря. Це продемонстровано за допомогою чисельного моделювання. Автори запропонували, що основний повітропровід можна розділити на три менших повітроводи, встановивши два дефлектора на куті вторинного повітропроводу. Ця схема ефективно зменшує падіння тиску на межі розділу між кутами пальника з 337,4 до 254,3 Па.

У роботі [3] запропоновано впорскування повітря тангенціально для поліпшення горючості та викидів NO_x у котлі потужністю 500 МВт. Розташування інжекційних отворів визначено на основі траєкторії частинок вуглецю, чий вплив досліджено чисельними методами. Витрата субповітря встановлювалася на рівні 0, 5 і 10 % від загального повітря для горіння. Швидкість потоку вторинного повітря відповідно зменшено, щоб забезпечити постійність загальної кількості повітря для горіння. Результати моделювання показали, що тангенціальне впорскування повітря поліпшило горючість частинок вуглецю. До того ж за допомогою цього методу досягнуто зниження NO_x на 6,3 і 13,2 %, коли рівень субповітря становив 5 і 10 % повітря для горіння відповідно. Це зниження пояснюється зниженням пікової температури в результаті ширшої області горіння.

Як згадувалось вище, використання закручених потоків в пальниках сприяє як стабільності горіння, так і зниженню викидів NO_x . Так, щоб спалити антрацит і зменшити викиди NO_x , нову систему згоряння застосовано до котла Babcock & Wilcox (B&W) потужністю 300 МВт, внаслідок зменшення площі потоку внутрішнього та зовнішнього каналів вторинного повітря шляхом встановлення вихрових пальників [4], завдяки чому досягнуто значного зниження викидів NO_x на 47 % без збільшення вмісту вуглецю в летючій золі.

У роботі [5] розроблено та впроваджено заходи щодо зниження токсичних викидів оксидів азоту в атмосферу з використанням котла ДКВР-20-13 з трьома мазутними пальниками ГМГ-5, 6. У своїй роботі автори [5] розглянули та проаналізували низку варіантів зменшення викидів оксидів азоту в атмосферу. Рекомендовано як ефективний спосіб зниження викидів оксидів азоту ДКВР для котлів, що працюють у промисловому та опалювальному режимах, метод впорскування пари в зону горіння або рециркуляцію димових газів. Авторам вдалося визначити оптимальний режим роботи системи зниження викидів, який дозволив досягти необхідного, передбачуваного, 30 % зниження викидів NO_x . Рекомендований на практиці режим для зниження викидів оксидів азоту не знижує ККД котла.

Щоб підвищити ефективність згоряння та мінімізувати викиди, як свідчить аналіз доступної літератури, дослідниками розроблено різноманітні конструкції пальників. Наприклад, автори роботи [6] засобами CFD моделювання визначали температуру полум'я та температуру в паливні за різних умов потоку суміші метан-повітря. Для моделювання процесу спалювання вони використовували модель горіння без попереднього змішування. Автори [6] досліджували фізичний механізм розгорання полум'я та межі стабільності під час горіння без попереднього змішування за допомогою теоретичного та чисельного моделювання. Одномірний розрахунок полум'я використано для побудови діаграми стабільності, а три окремих межі стабільності використано для дослідження

механізму спалаху полум'я. Автори [7] досліджували поведінку горіння попередньо змішаної пропан-повітряної суміші за допомогою моделі $k-\epsilon$ та моделі зменшених хімічних речовин. Результати показали, що найвища температура спостерігається в зонах з сильним завихренням.

Як свідчить аналіз доступної літератури, для зниження емісії шкідливих речовин окрім вдосконалення конструкції пальника варто враховувати можливість заміни метану на інші види палива. Так, до прикладу, автори [8] досліджували поведінку горіння пропану та метану за допомогою моделі горіння без попереднього змішування на основі CFD. Вони запропонували пропан як ефективне паливо замість метану для розробленої ними камери згорання.

В подальших дослідженнях, вважається перспективним провести моделювання термонапруженого стану барабану у разі спалювання в котлі непроектних видів палива, а саме часткової або повної заміни природного газу як палива на водень та його суміші з метаном (або природним газом). Оскільки, як свідчить робота [9], є можливість використання одного дифузійного пальника на природному газі, водні або їхньої суміші в будь-якому співвідношенні. При цьому буде близька теплова потужність пальника на метані (або природному газі) і водні або їхньої суміші за однакового тиску газу.

Відомо, що призначений термін служби водогрійних котлів у випадку, коли підприємства-виробники не вказали його у паспорті котла, становить 16 років. Роботи з продовження терміну безпечної експлуатації котла, який відпрацював призначений термін служби, здійснюються відповідно до положень нормативних документів та включають розрахунки на міцність елементів конструкції. Ці розрахунки можна виконати засобами числового моделювання. Серед обладнання котла окремо варто виділити барабан-сепаратори, які є надзвичайно важливою і вартісною частиною котельного обладнання. В зарубіжній літературі достатньо мало інформації щодо подовження ресурсу котельного обладнання радянської доби. Тому, найближчою до цієї роботи є роботи авторів [10], [11], які висвітлили розробку методики дослідження можливості подальшої експлуатації барабанів котельних теплових електростанцій після вичерпання їхнього паркового ресурсу. Автори на основі методу розрахунку просторово-тривимірних коефіцієнтів термопружності за допомогою скінчено-елементного аналізу запропонували методику комп'ютерного моделювання процесів деформування барабана котла високого тиску за різних режимів його роботи. Запропонована методика моделювання дозволить встановити залишковий ресурс роботи барабанів котлоагрегатів теплових електростанцій та намітити шляхи їхньої економічнішої експлуатації. Автори [10], [11] досліджували барабан котла високого тиску системи ТП-100 Бурштинської ТЕС.

Таким чином реконструкція котельні із застарілими паровими котлами дозволить зменшити шкідливі викиди (зокрема NO_x) відповідно до сучасних екологічних норм, підвищити ККД обладнання та зменшити експлуатаційні витрати і уможливити безпечну та надійну роботу котлів з продовженим ресурсом. Ці заходи сприятимуть збереженню балансу між економічними та екологічними вимогами в умовах сучасної енергетики.

Методика дослідження

Дослідження виконувалось шляхом моделювання багатокомпонентних сумішей у середовищі програмного комплексу ANSYS-Fluent. Першим кроком створення CFD-моделі є розробка геометричної моделі. Геометрична модель водогрійного котла типу ДКВР-10-13, побудована згідно з кресленнями, опублікованими на сайті [12] без урахування топкових екранів, показана на рис. 1.

Як керувальні рівняння, що використовуються в математичній моделі процесу, взято рівняння нерозривності, Нав'є–Стокса для течії в'язкої рідини, що стискається, зі змінними властивостями, рівняння енергії та рівняння збереження компонентів суміші [13], що розв'язується чисельними методами в середовищі Ansys-Fluent. У процесі моделювання також використовувалася стандартна методика Ansys-Fluent для прогнозування утворення NO_x . А саме, розраховувалась генерація як теплових, так і швидких NO_x . Стандартна методика Ansys-Fluent враховує турбулентно-хімічну взаємодію, дозволяє обчислювати NO_x з урахуванням впливу турбулентних пульсацій на усереднені за часом швидкості реакції. Для прогнозування концентрації радикала O , необхідного для прогнозування теплового NO_x , використано модель часткової рівноваги.

Як алгоритм рішення вибрано неявний алгоритм встановлення (Pressure Based Implicit). Розрахунок зроблено в стаціонарній постановці (Steady).

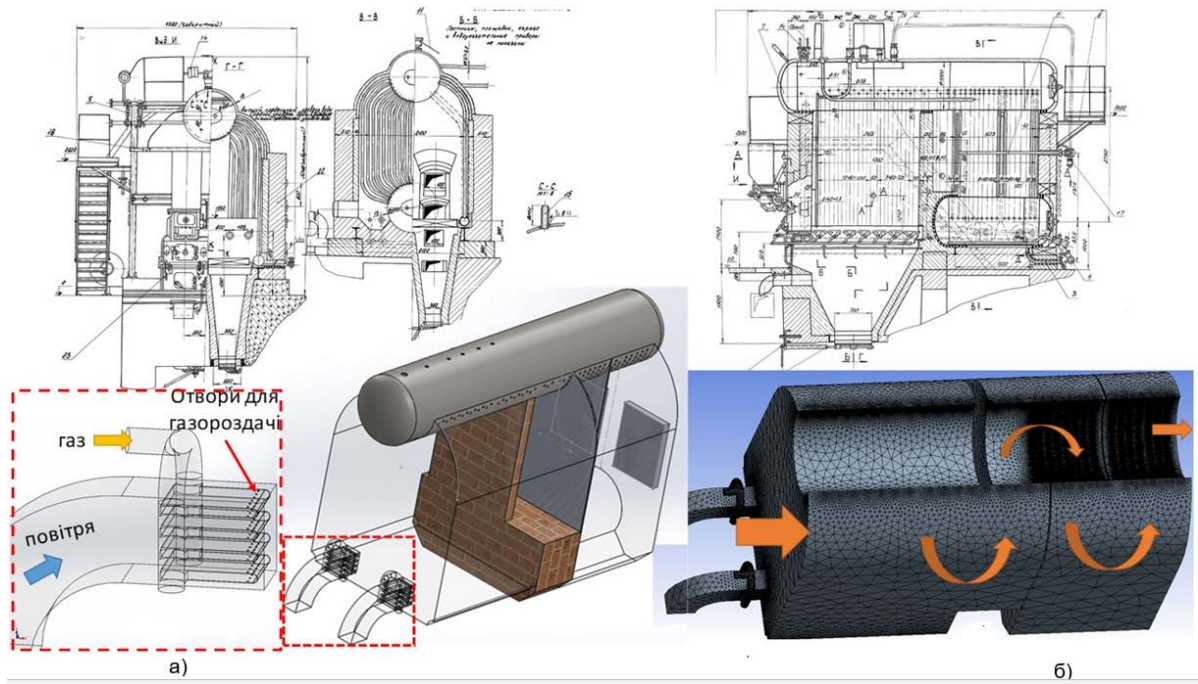


Рис. 1: а — зображення пальника; б — розрахункова модель

Як розрахункову модель автори використовували Realizable k-ε модель турбулентності в модифікації realizable, оскільки вона розроблена для потоків, що містять струмені (вприскування паливо-повітряної суміші).

Як граничні умови на непроникних стінках задано умову рівності нулю всіх компонентів вектора швидкості і нерівномірний розподіл температури на поверхні стінок. Для його визначення задано температурний напір між нижнім роздатковим колектором і барабаном, що вибрано з паспортних характеристик котла.

На вході в розрахункову область задано масову витрату (Massflow inlet) і температуру. На виході — статичний тиск (Pressure outlet). Значення параметрів потоків, що реагують, подані в таблиці.

Числові значення граничних умов, що задавались в роботі і значення емісії NOx і CO, що вибирались для верифікації моделі

Параметр	Позначення	Розмірність	Навантаження, %	
			100	63
Теплове навантаження	Q_k	Гкал	9,39	5,86
Витрата газу	G_g	м ³ /год	1215	760
Температура газу	t_g	°C	18	18
Коефіцієнт надлишку повітря	α'	—	1,27	1,33
Витрата повітря	$G_{пов}$	м ³ /сек	4,11	2,69
Температура повітря	$t_{пов}$	°C	21	21

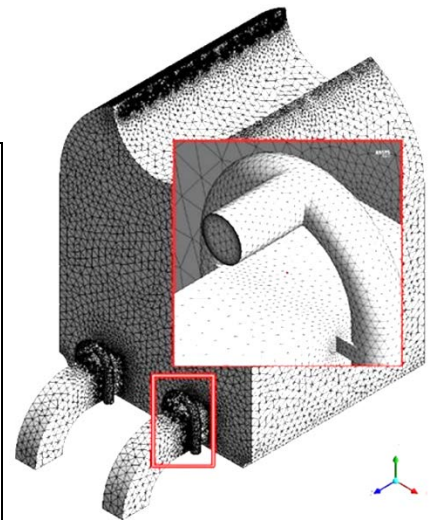


Рис. 2. Використана скінченно-елементна сітка

Відомо, що результат моделювання залежить від багатьох параметрів, проте одними з найважливіших є щільність розрахункової сітки, скошеність і співвідношення сторін скінчених елементів, а також їх тип.

На рис. 2 показана CFD-модель паливни зі встановленим струменево-нішевим стабілізатором полум'я, який використовується як пальник. Для апроксимації розрахункової зони використовувалась гібридна скінченно-елементна сітка (в пристінній зоні, моделювання прилежого шару

здійснювалось за допомогою структурованої розрахункової сітки (як тип скінченного елемента використано паралелепіпед), а для апроксимації іншого простору всередині паливни котла використано неструктуровану скінченно-елементна сітку (де як тип скінченного елемента використано тетраедр)). Значення «якості» скінченно-елементної сітки — параметри співвідношення сторін (AspectRatio) скінченного елемента, ортогональна якість (Orthogonal Quality) та скошеність (Orthogonal Skew) — знаходяться по середині референтного інтервалу, що видає програма для перевірки. Щільність розрахункової сітки вибрана максимальною, в рамках дозволеного версією ANSYS-Student.

Результати дослідження

Згідно з експериментальною роботою [14] використано значення NO_x (рис. 3а) за економайзером котла осереднене по площі «газового вікна». Ці значення автори вибрали для верифікації CFD-моделі. Так, засобами CFD-моделювання за номінального навантаження на «виході» з паливни рівень генерації NO_x становить 94 ppm. Згідно з експериментальними даними це значення становить 86 ppm. Похибка в 9 % в цьому випадку є допустимою. Таке порівняння допускається оскільки створені в зоні дії високих температур окисли азоту не руйнуються і з паливни потрапляють в конвективну шахту котельного агрегата і разом з потоком димових газів омивають економайзер котла, де є можливість провести експериментальні вимірювання.

Розрахунок генерації NO_x за 60 % тепловому навантаженні проводився також.

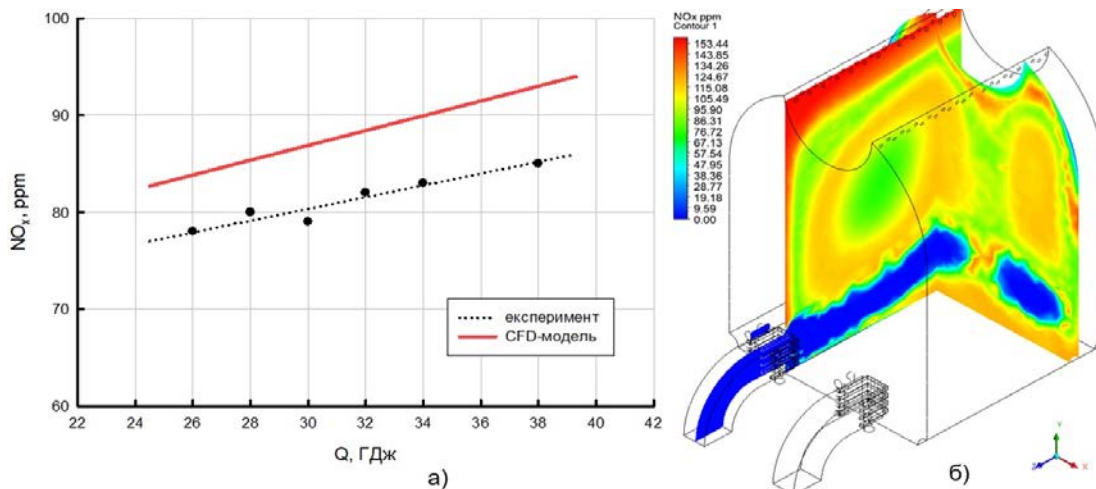


Рис. 3: а — осереднені по площі значення NO_x на «виході» з паливни; б — розподіл NO_x в характерних перерізах паливни

Розподіл окислів азоту NO_x в двох взаємоперпендикулярних перерізах — крізь середину паливника і переріз «виходу» потоку з паливни показано на рис. 3б, який свідчить, що максимальна концентрація забруднювальних речовин спостерігається на периферії паливни. Оскільки, як показує розрахунок на моделі, потік рухається з достатньо низькими (4...7 м/с) локальними швидкостями. Тут же спостерігається зона з високою температурою (1800 °C). Отже, в центрі паливни, над струменем факела утворюється зона з циркуляційною течією і високими температурами, що впливає на генерацію окислів азоту NO_x . Це не суперечить уявленням про генерацію в паливни котла окислів азоту, які, якщо не застосовувати засоби з очищення, можуть потрапити в атмосферу.

Результати розрахунку на міцність і ресурс барабану

Для моделювання напружено-деформованого стану барабану котла ДКВР-10-13 в залежності від рівня теплового навантаження котла на стінку барабану, яка контактує з розжареними газами, що рухаються в паливни котла, конвертувались розподіли локальних теплових потоків та температур. Результат моделювання показано на рис. 4, 5. З цих рисунків випливає, що розподіл полів напружень має суттєво неоднорідний характер. Концентрація напружень відбувається на внутрішній частині поверхні труби в місці її найбільшої кривизни. Рівень напруг, що виникають в навантаженому елементі, знаходиться в межах 50...100 МПа, що значно нижче допустимого напруження ($[\sigma] \leq 540$ МПа для сталі 12Х1МФ), за заданої температури.

З аналізу рис. 4, 5 найбільша напруга виникає поблизу ослаблювальних отворів діаметром

100 мм, що відповідають опускним трубам для нижнього роздаткового колектора. Поблизу ряду отворів, розташованих в шаховому порядку і відповідають трубам бічних екранів, напруження досягає лише 25 МПа. Аналізуючи розподіл деформації стінок барабана, внаслідок дії тиску і нагрівання, матеріал «вгинається» між рядами отворів, а ряд отворів «вгинається» в середину барабана. Отже, у цьому контексті ряд цих отворів може грати роль так званого ребра жорсткості. Проте максимальна деформація стінок барабана за діючого напруження 75 МПа становить 1,1 мм, що не зможе призвести до руйнації і розриву барабана під внутрішнім тиском.

Найнапруженішими зонами на барабані котла ДКВЕР-10-13 як в номінальному режимі роботи, так і в 60 % навантаженню є зона переходу циліндричної частини оболонки барабана в еліптичну та зона поблизу рядів отворів для екранних труб (рис. 4).

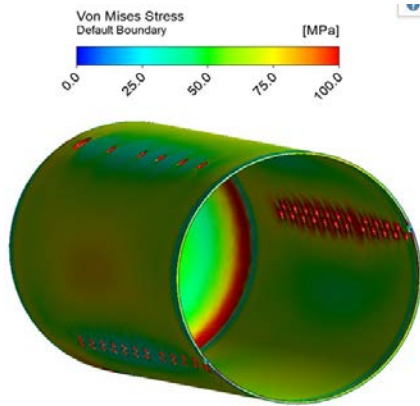


Рис. 4. Розподіл напруги за Мізесом стінок барабана, що розміщений над паливною котла, оснащеного струменеві-нішевіми пальниками за номінального навантаження

Причому максимальні значення напружень в згаданих зонах досягають відповідно 105 і 108 МПа. Визначення еквівалентних напружень в товщі металу барабану показано на рис. 5.

Продовження ресурсу барабана котла в цій роботі виконано згідно з методикою, регламентованою нормативним документом РД [15], що базується на визначенні еквівалентних місцевих напружень повзучості за програмними комплексами ANSYS та часу до настання граничного стану під дією еквівалентних напружень, визначених за допомогою діаграми довготривалої міцності матеріалу [16]. Згідно з діаграмою довготривалої міцності, час настання згаданого граничного стану має становити $[t_{p1}]$ 200000 год (рис. 5). За опалювальний сезон котел може напрацювати $\tau_{год} = 5088$ год. Таким чином, статична пошкоджуваність може бути розрахована за формулою

$$\Pi'_{ст} = \frac{\tau_{год}}{[t_{p1}]}, \tag{1}$$

яка в цих умовах становить 0,025. Таким чином, згідно з [15], якщо котел пропрацював 16 років, його остаточний ресурс становитиме 13 тис. год.

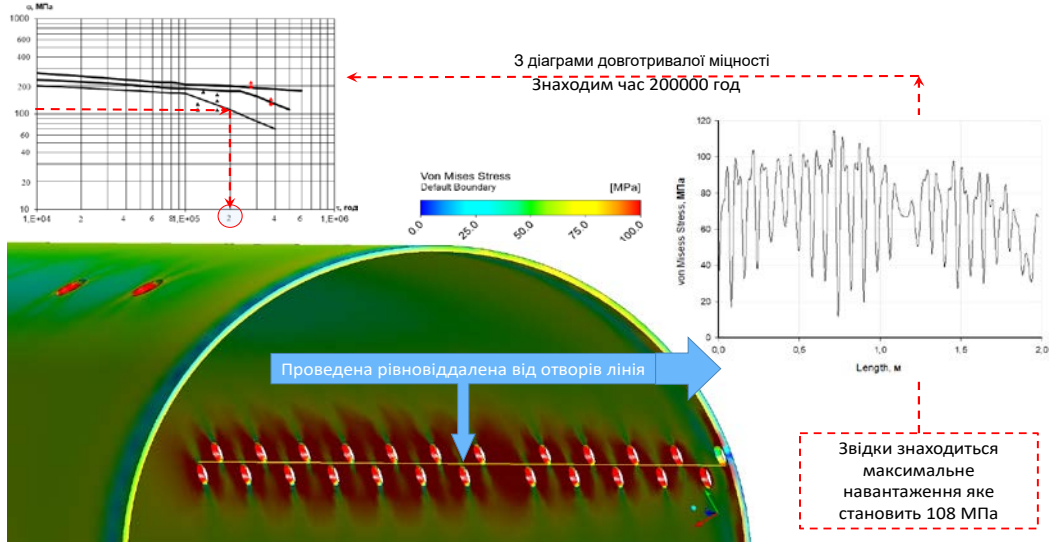


Рис. 5. Визначення максимальних значень напруг

Висновки

В результаті проведеної роботи дійшли висновків:

– найбільші напруження виникають поблизу ослаблювальних отворів діаметром 100 мм, що відповідають опускним трубам з барабана до нижнього роздаткового колектора. Поблизу ряду отворів, розташованих в шаховому порядку і відповідають трубам бічних екранів, напруження досягає лише 25 МПа;

– моделювання деформації зі збільшенням внутрішнього тиску в 200 разів дозволяє прогнозувати форму зруйнованого барабана і визначити місце виникнення руйнівних тріщин на поверхні барабана;

– з проведеного розрахунку випливає, що паспортної товщини стінки у 10 мм для барабана котла ДКВР-10-13 як за номінального, так і у разі 60 %-го теплового навантаження цілком достатньо, щоб забезпечити міцність барабана.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Tianlong Wang, Chaoyang Wang, Zhiqiang Liu, Show Shuai Ma and Huibo Yan, “Experiment Study and Industrial Application of Slotted Bluff-Body Burner Applied to Deep Peak Regulation,” *International Journal of Information Technologies and Systems Approach*, no. 17 (1), pp. 1-15, 2024. <https://doi.org/10.4018/IJITSA.332411> .

[2] Xinyu Ning, et al., “Numerical study on optimization of secondary air box in a 600 MW opposed wall-fired boiler,” *AIP Advances*, no. 13 (10), 2023. <https://doi.org/10.1063/5.0166006> .

[3] Kang-Min Kim, Seok-Gi Ahn, Gyu-Bo Kim, and Chung Hwan Jeon, “Development of Subair Technique for Combustibility Enhancement and NOx Reduction in a Pulverized Coal-Fired Boiler,” *ACS Omega*, no. 4 (1), pp. 2291-2301, 2019. <https://doi.org/10.1021/acsomega.8b03405> .

[4] Zhichao Chen, et al., “Industrial-scale investigations of anthracite combustion characteristics and NOx emissions in a retrofitted 300 MWe down-fired utility boiler with swirl burners,” *Applied Energy*, vol. 202, pp. 169-177, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.05.138> .

[5] Alexander Shkarovskiy, Sylwia Anna Janta-Lipińska, and Renata Gawin, “Annual Set,” *The Environment Protection*, vol. 18 no. 1. pp. 565-578, 2016. ISSN 1506-218X. [Electronic resource]. Available: <https://sdr.tu.koszalin.pl/info/article/KUT40c8e2c5c27e45df926faa1a1012dbd9/> .

[6] D. Li, and M. Ihme, “Stability diagram and blow-out mechanisms of turbulent non-premixed combustion,” *Proceedings of the Combustion Institute*, <https://doi.org/10.1016/j.proci.2020.06.225> .

[7] Lucky Anetor, Edward Osakue, and Christopher Odetunde, “Reduced mechanism approach of modeling premixed propane-airmixture using ANSYS fluent,” *Engineering Journal*, vol. 16, iss. 1, Jan., 2012, <https://doi.org/10.4186/ej.2012.16.1.67> . ISSN 0125-8281. (<http://www.engj.org>).

[8] A. S. Nair, B. Mohan Krishna, and S. Ajith Kumar, “Study of non-Premixed combustion of propane and methane using CFD,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 46, Part 10, 2021, pp. 4593-4597, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.713> .

[9] A. Sumalatha, K. Sudha Rani, and Ch. Jayalakshmi, “Dynamic modeling of Boiler drum using nonlinear system identification approach,” *Measurement Sensors*, no. 28(9), pp.100845. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2023.100845> .

[10] Б. Дробенко, С. Будз, І. Кузьо, Ю. Шоловій, і І. Будз, «Вплив накопичуваної пошкоджуваності на експлуатаційний ресурс барабана котлоагрегата теплоелектростанції», *ISTCIPA*, вип. 56, с. 19-26 2022. <https://doi.org/10.23939/istcipa2022.56.019>

[11] С. Будз, і І. Будз, «Оцінка експлуатаційного ресурсу барабана котлоагрегату енергоблоку ТЕС, пошкодженого при його експлуатації», *Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології*, вип. 38, с. 5-10, 2023. <https://doi.org/10.15407/fmmit2023.38.005> .

[12] *Energetik. Steam boilers: boilers series DKVr with a pressure up to 1,3 MPa (gas, liquid, coal) DKVR-4-13, DKVR-6,5-13, DKVR-10-13, DKVR-20-13*. [Electronic resource]. Available: https://energetik.ua/en/catalog/parovi_kotly/dkvr-1-3/ Accessed: 11.12.2024 р.

[13] *ANSYS FLUENT 14.5 Theory Guide*, ANSYS Inc. ANSYS Help, 2012. <https://ansyshelp.ansys.com> .

[14] М. З. Абдулін, «Розроблення теплофізичних засад технологій спалювання палив з застосуванням струменевонішових систем.» дис. д-ра техн. наук: 05.14.06 «Технічна теплофізика і промислова теплоенергетика», ІТТФ НАН України. Київ, 2019, 390 с.

[15] V. Peshko, et al., “Comprehensive rotor service life study for high & intermediate pressure cylinders of high power steam turbines,” *Propulsion and Power Research*. China: National Laboratory for Aeronautics and Astronautics, vol. 5, iss. 4. pp. 302-309, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jprr.2016.11.008> .

[16] М. Г. Шульженко, *Визначення розрахункового ресурсу та оцінки живучості роторів та корпусних деталей турбіни: СОУ-Н МЕВ 40.1-21677681-52:2011, метод. вказівки*. Київ, Україна: ГРІФРЕ, М-во палива та енергетики України, 2011, 27 с.

Рекомендована редколегією журналу «Вісник Вінницького політехнічного інституту», ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 24.12.2024

Рачинський Артур Юрійович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри теплової та альтернативної енергетики, e-mail: arturrachinskiy@gmail.com ;

Баранюк Олександр Володимирович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри теплової та альтернативної енергетики; Інститут теплоенергетичних технологій Національної академії наук України, Київ, e-mail: AleksandrW@i.ua ;

Черноусенко Ольга Юрійвна — док. техн. наук, професор, завідувач кафедрою теплової та альтернативної енергетики, e-mail: chernousenko20a@gmail.com .

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ

A. Yu. Rachynskiy¹
A. V. Baranyuk^{1,2}
O. Yu. Chernousenko¹

Thermo-Stressed State of the DKVR-10-13 Boiler Drum when Replacement of the Standard Burner with a Jet-Niche One

¹National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”;

²Institute of Thermal Energy Technologies of the National Academy of Sciences (NAS) of Ukraine

This work is devoted to the analysis of the thermally stressed state of the drum-separator of the DKVR-10-13 boiler type using CFD modeling using the Ansys Fluent software package. The main attention in the study was paid to studying the influence of structural and operational factors on the strength and stability of the boiler drum equipped with jet-niche burners. The analysis was carried out for two boiler operating modes: nominal load and at 60% power. The technology of stabilized combustion without pre-mixing in the burner was used. Gas distribution was carried out through round holes, perpendicular to the oxidant flow, which contributed to more efficient mixing of fuel and air. The difference between the maximum and minimum temperature of the drum surface did not exceed 30 °C, which ensures the stability of the structure. Visualization of the fields of velocity, temperature and concentrations of reaction products (in particular NO_x) showed that the jet-niche technology contributes to the reduction of emissions of harmful substances and more complete combustion of fuel. The absence of flame instability or displacement of its position confirms the reliability of the combustion mode. The influence of the temperature field, internal pressure and heat flow on the strength of the drum was studied, taking into account the weakening holes. The maximum equivalent stress according to the Mises criterion was 75 MPa, which is significantly lower than the ultimate strength of the material. The maximum deformation of the drum was 1.1 mm, which does not pose a threat of destruction. The passport thickness of the drum wall (10 mm) is sufficient to ensure strength in both studied modes.

Replacing standard burners of the DKVR-10-13 boiler type with jet-niche ones contributes to: Improving the efficiency and uniformity of fuel combustion, increasing environmental performance due to reducing NO_x emissions, while ensuring the thermal strength of the drum even in variable operating modes. The results of the study are a solid basis for improving burner devices in boilers of this type and increasing their energy efficiency.

Keywords: heat transfer, numerical modeling, strength, resource, boiler drum.

Rachynskiy Artur Yu. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Heat and Alternative Power Engineering, e-mail: arturrachinskiy@gmail.com ;

Baranyuk Oleksandr V. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Heat and Alternative Power Engineering, e-mail: AleksandrW@i.ua ;

Chernousenko Olga Yu. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Heat and Alternative Power Engineering, e-mail: chernousenko20a@gmail.com