

УДК 62-97

Кобзар С.Г., Халатов А.А.

Институт технічної теплофізики НАН України

ВИЗНАЧЕННЯ ЗОН ПІДВИЩЕНОЇ ЕРОЗІЇ ТОПКОВИХ ЕКРАНІВ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД РЕЖИМУ НАВАНТАЖЕННЯ КОТЛОАГРЕГАТУ ТПП 312 ЛАДИЖИНСЬКОЇ ТЕС

Проведено комп'ютерне моделювання роботи топки котла ТПП 312 Ладижинської ТЕС. Визначено зони підвищеної ерозії топкових екранів для основних режимів навантаження котла. Аналіз причин виникнення зон підвищеної ерозії свідчить, що причиною їх виникнення є взаємодія центральних пальників першого та другого ярусів. Зменшити негативний вплив на труби можна шляхом покращення умов розширення струменів пальників першого ярусу.

M – молярна маса;
 P – абсолютний тиск;
 p – парціальний тиск;
 T – абсолютна температура;
 R – універсальна газова стала;
 x, y, z – координатні осі;
 v – повна швидкість;
 Y_i – масова концентрація;
 μ – динамічна в'язкість;
 ε – дисипація турбулентної енергії;
 ρ – густина.

Енергетика України є основою економіки держави. Встановлена потужність генеруючого обладнання на початок 2007 року складала 52,0 млн. кВт, з яких більше 65 % розміщено на теплових електростанціях (ТЕС).

Стан безпеки теплових електростанцій сьогодні визначається залишковим ресурсом роботи енергоблоків, можливостями їх оновлення чи заміни з використанням високоефективних та екологічно чистих вугільних енерготехнологій та перспективами паливопостачання ТЕС.

Обладнання підприємств теплоенергетики було введено в експлуатацію у 60 – 70 роках минулого століття, спроектоване за нормами

Проведено компьютерное моделирование работы топки котла ТПП 312 Ладыжинской ТЭС. Определены зоны повышенной эрозии топочных экранов для основных режимов нагрузки котла. Анализ причин появления зон повышенной эрозии показал, что причиной их появления служит взаимодействие центральных горелок первого и второго ярусов. Уменьшить негативное воздействие на трубы можно путем улучшения условий расширения струй горелок первого яруса.

The CFD simulation of the boiler TPP 312 of the Ladizninska thermal power-station operation was carried out. The zones of increased furnace tubes erosion have been determined for the basic boiler's loading. The analysis of increased erosion zones has been made showing that the reason of their appearance is interaction of central burners of the first and second rows. To decrease this negative effect one possible by means of conditions of jets expansion of the first row burners.

Індекси нижні:

min – мінімальний;
 mix – суміш;
 1 – газова фаза;
 2 – тверда фаза.

Скорочення:

ВРЧ – верхня радіаційна частина;
 НРЧ – нижня радіаційна частина;
 СРЧ – середня радіаційна частина;
 ТЕС – теплова електростанція.

1950-х років та відпрацювало свій ресурс, морально і фізично застаріло. Експлуатація обладнання ускладнюється при використанні непроектного вугілля підвищеної зольності при частковому навантаженні з постійними зупинками, значними витратами природного газу чи мазуту в процесі спалювання. Залишковий розрахунковий ресурс роботи більшості енергоблоків становить сьогодні 5...15 років, а по деяких – лише 3...5 років.

Проблема продовження ресурсу блоків теплових електростанцій є актуальною задачею. Особливо гостро ця проблема стосується енергоблоків, що працюють на вугіллі. В цих блоках додатковим фактором, який впливає на

стабільність роботи, є вплив часток вугілля та його продуктів горіння на труби радіаційних частин топки, пароперегрівачів та конвективних частин. Руйнівний вплив часток вугілля та його продуктів згоряння на труби котла полягає в їх ерозійному зношуванні. Внаслідок систематичної дії часток вугілля та продуктів його горіння, а саме, коксового залишку та попелу, на окремих ділянках труб спостерігається зменшення товщини стінок, що призводить до їх розриву при досягненні критичної товщини та аварійній зупинці блоку. Зменшити негативний вплив часток на труби можна досягнути шляхом аеродинамічного керування потоком часток біля труб. Основна мета такого керування полягає в забезпеченні сприятливих умов руху твердої фази біля екранів з мінімальним негативним впливом на труби.

Метою роботи є визначення зон підвищеної ерозії топкових екранів в залежності від режиму навантаження котлоагрегату та розробка пропозиції, щодо роботи топки котлоагрегату з метою зменшення ерозії топкових екранів. Для досягнення мети використовувалися методи математичного моделювання з залученням модифікованого пакету прикладних програм Phoenix 2008.

Об'єкт дослідження. Котлоагрегат ТПП-312 виробництва Таганрогського котельного заводу, має П-подібну компоновку, топка котла відкритого типу. Вертикальна компоновка котла представлена на рис. 1. Значення відміток розташування нагрівальних панелей приведені в табл. 1.

Котел оснащений 16-ма пальниками, розташованими у два яруси. На теперішній час котли ТПП-312 Ладижинської ТЕС оснащені реконструйованими силами станції пальниками, креслення одного з яких наведено на рис. 2.

Особливості моделі горіння вугілля. Котли ТПП-312 на Ладижинській ТЕС працюють на вугіллі марок Г та ДГ. Аналіз даних по якості вугілля, яке приходить на станцію, дав можливість вивести осереднені характеристики вугілля, які наведені в табл. 2. Дані табл. 2. використовувалися для вдосконалення

моделі горіння для пакету прикладних програм Phoenix.

Виходячи з хімічного складу вугілля (табл. 2), було визначено склад летких. Для зменшення витрат машинного часу використовувалась модель сурогатного палива, за

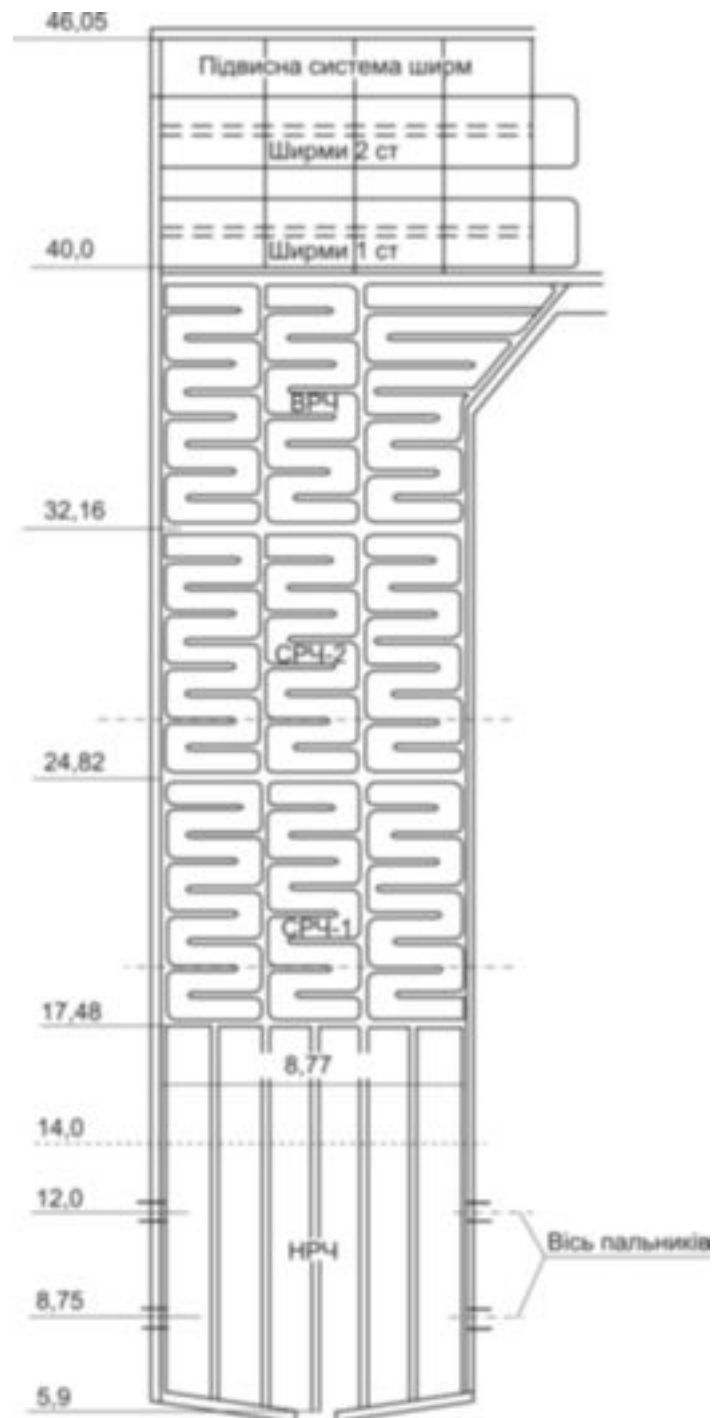


Рис. 1. Вертикальна компоновка топки котла ТПП-312.

Табл. 1. Значення відміток розташування нагрівальних панелей котла ТПП-312

№	Теплообмінна поверхонь	Значення відмітки, м	
		початок	кінець
1	Нижня радіаційна частина (НРЧ)	5,9	17,48
2	Середня радіаційна частина №1 (СРЧ-I)	17,48	24,82
3	Середня радіаційна частина №2 (СРЧ-II)	24,82	32,16
4	Верхня радіаційна частина (ВРЧ)	32,16	40,0
5	Система підвісних ширм	40,0	46,95

Табл. 2. Фізико-хімічні характеристики вугілля

Технічний аналіз						Горюча маса					
$W_p, \%$	$W_{пн}, \%$	$A^c, \%$	$S_{\text{соб}}, \%$	$V_{\Gamma}, \%$	$Q_{\text{нр}}^p, \text{МДж/кг}$	$S_{\Gamma}, \%$	$C_{\Gamma}, \%$	$H_{\Gamma}, \%$	$N_{\Gamma}, \%$	$O_{\Gamma}, \%$	$Q_{\text{нр}}^{\Gamma}, \text{МДж/кг}$
13,2	2,2	23,6	1,8	42,0	20,9	1,21	82,31	5,51	2	8,97	33,94

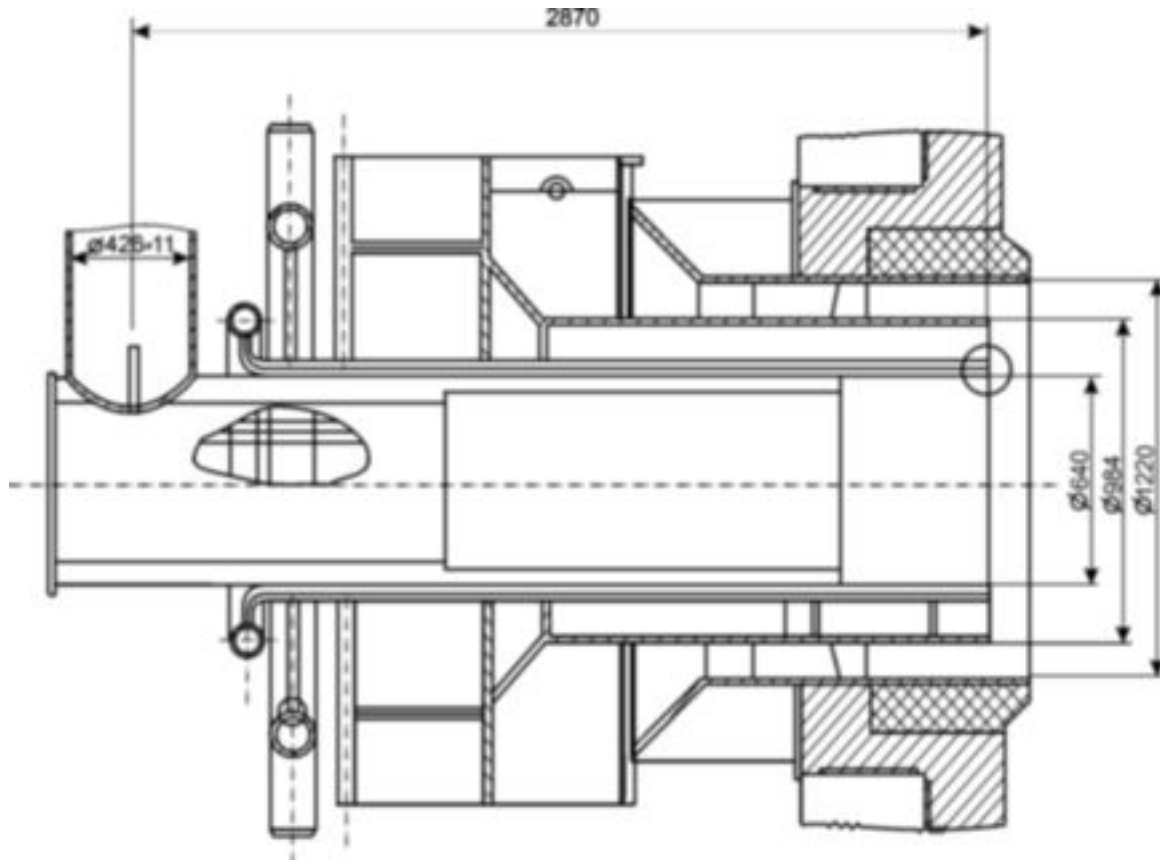
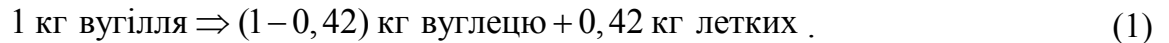


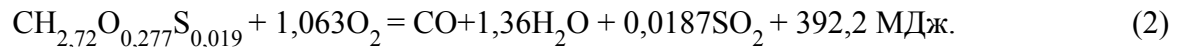
Рис. 2. Геометричні розміри пальника ТПП-312 Ладизинської ТЕС.

якою склад летких було представлено у вигляді однієї речовини, та розраховувався у відповідності до елементного складу вугілля. Масова частка летких у горючій складовій вугілля становила 42 %. При нагріванні вугільної частинки під час термохімічної деструкції палива, 42 % горючої маси вугілля переходить у газову фазу, а 58 % маси залишається в твердій фазі. В даній роботі зроблено припущення, що під час термохімічної деструкції вугілля тверда фаза складається лише з вуглецю. Процес термохімічної деструкції вугілля проходить за наступною схемою.



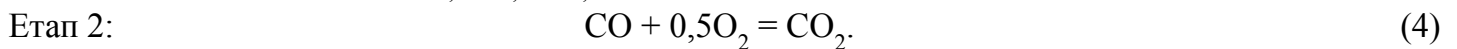
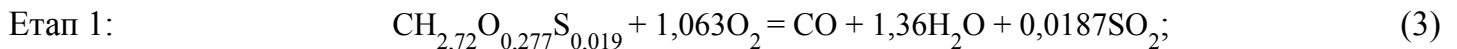
Використовуючи модель сурогатного палива [1] та виходячи з хімічного складу горючої маси летких, молекулярна формула летких представлялася як $C_x H_y O_z S_w N_r$. Так як азот не горить і становить незначну долю у складі летких, в подальшому він вилучався з розгляду і формула летких вугілля представлялася у вигляді $CH_{2,72}O_{0,277}S_{0,019}$. Молекулярна маса летких становить 19,75 кг/кмоль.

Таким чином процес горіння летких за двостадійною схемою можна записати як:



Виходячи з рівняння (2) були зроблені необхідні кодування програмного комплексу по тепловому ефекту реакції та зміні концентрацій летких, кисню, водяної пари, монооксиду вуглецю та оксиду сірки.

Горіння летких трактується як незворотна хімічна реакція, що проходить у два етапи окислення наступним чином:



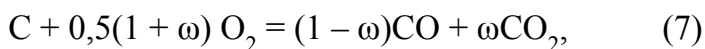
Швидкість реакції горіння знаходиться на основі кінетичного закону Ареніуса та моделі руйнування вихрів:

$$R_{CH_4}^{com} = - \left[(R_{CH_4}^k)^{-1} + (R_{CH_4}^e)^{-1} \right]^{-1} \quad (5)$$

$$R_{CO}^{com} = - \left[(R_{CO}^k)^{-1} + (R_{CO}^e)^{-1} \right]^{-1} \quad (6)$$

де R^k и R^e , в кг/м³с, – швидкості, визначені за законом Ареніуса та моделі дисипації вихрів.

Горіння коксового залишку часток призводить до утворення оксидів вуглецю згідно реакції:



де ω – молярна доля оксидів вуглецю, що утворилися як CO_2 , який зв'язаний з масовими частками наступним чином:

$$\omega = M_{CO} Y_{CO_2} / (M_{CO} Y_{CO_2} + M_{CO_2} Y_{CO}). \quad (8)$$

Тут $M_{CO} = 28$ и $M_{CO_2} = 44$ – молекулярні маси,

відповідно, монооксиду вуглецю та вуглекислого газу.

Масові частки утворених оксидів вуглецю прийняті як функція температури частки:

$$Y_{CO} / Y_{CO_2} = 2500 \exp(-6249/T_2). \quad (9)$$

Швидкість згоряння коксу R_C , (кг м⁻³с⁻¹), визначається за формулою:

$$R_C = C_C A_s [(K^k_C)^{-1} + (K^d_C)^{-1}]^{-1} P_{O_2} R_{CHA} / R_2, \quad (10)$$

де

$A_s = 6R_2/d_2$ – об'ємна поверхня частинки, 1/м;

P_{O_2} – парціальний тиск кисню, Па;

C_C – емпірична константа; R_{CHA} – об'ємна концентрація коксового залишку, яка розраховується як:

$$R_{CHA} = YC m_2 / \rho_2 / V_{cell} \quad (11)$$

Парціальний тиск кисню P_{O_2} визначається за законом Дальтона:

$$P_{O_2} = x_{O_2} \cdot P_1, \quad (12)$$

де мольна доля кисню знаходиться за виразом

$$x_{O_2} = M_{\text{mix}} / M_{CO_2} \cdot YO_2. \quad (13)$$

Коефіцієнт кінетичного масообміну, K^k , с/м, розраховується за залежністю:

$$K^k = 0,1309 \exp(-26850/T_2). \quad (14)$$

Коефіцієнт дифузійного масообміну, K^d , с/м, розраховується за залежністю:

$$K^d = Sh D_{O_2} M_C / (RT_2 d_2), \quad (15)$$

де Sh – критерій Шервуда для частинки; D_{O_2} – коефіцієнт дифузії кисню у повітрі, m^2/s ; $M_C = 12$ – молекулярна маса вуглецю, кг/кмоль; T_2 – температура частинки, К.

Граничні умови. Для задання теплових граничних умов використовувалися дані Ладижинської ТЕС по вхідним та вихідним температурам кожної з радіаційних поверхонь. На кожній радіаційній поверхні температура задавалася сталою, яка визначалася, як середня від вихідної та вхідної температури. За цією температурою задавався питомий радіаційний потік, що сприймала кожна з поверхонь. Міра чорноти труб була прийнята сталою і дорівнювала 0,8. Зміна температур по радіаційним поверхням наведена в табл. 3. Для розрахунку радіаційного теплообміну використовувалася P-1 модель [2]. Температури радіаційних поверхонь були збільшені на значення термічного перепаду в товщині матеріалу труб.

Табл. 3. Зміна температур по радіаційним поверхням

Поверхня	Вхідна температура, °С	Вихідна температура, °С	Середня температура, °С
НРЧ	325	396	360,5
СРЧ-1	396	410	403
СРЧ-2	410	427	418,5
ВРЧ	427	445	436

Тепловий потік, які сприймають ширми першої та другої ступенів, моделювався за допомогою пористого об'ємного об'єкта, який займав в розрахунковій області об'єм ширм, та мав стік тепла, еквівалентний сумарному тепловому потоку обох ширм.

Для розрахунку двофазної течії використовувався метод Ейлера. Було прийнято, що друга фаза – часточки вугілля мають однаковий початковий розмір, який приймався рівним середньому розміру часток. Згідно даних станції середній розмір часток вугілля, яке поступало на пальники, дорівнював 40 мкм.

Результати досліджень. Пиловугільні котли Ладижинської станції в теперішній час працюють на знижених навантаженнях. Основний режим навантаження турбіни зараз становить 210 МВт_е. Було вирішено провести розрахунки двох режимів навантаження турбіни 280 МВт_е, як максимального та 210 МВт_е, як найбільш поширеного на даний час. Так як

при режимі навантаження 210 МВт_е існує можливість відключати частину пальників, то були проведені для цього режиму два розрахунки: в роботі 16 пальників та в роботі 12 пальників. Режим роботи з 12 пальниками моделювався шляхом попарного відключення подачі палива на крайні пальники верхнього ярусу та рівномірним розподілом витрати вугілля та повітря на решту 12 пальників, які залишалися в роботі. На зупинені пальники подавалося вторинне повітря в обсязі 5 % від робочої витрати.

Результати розрахунків гідродинаміки в об'ємі топки котла для основних режимів навантаження наведені на рис. 3 – 5.

Зона підвищеної ерозії визначалася шляхом аналізу значення концентрації другої фази потоку біля труб радіаційних частин та значення його швидкості та напрямку.

Розрахунки дозволили виявити зони підвищеної ерозії труб радіаційних поверхонь

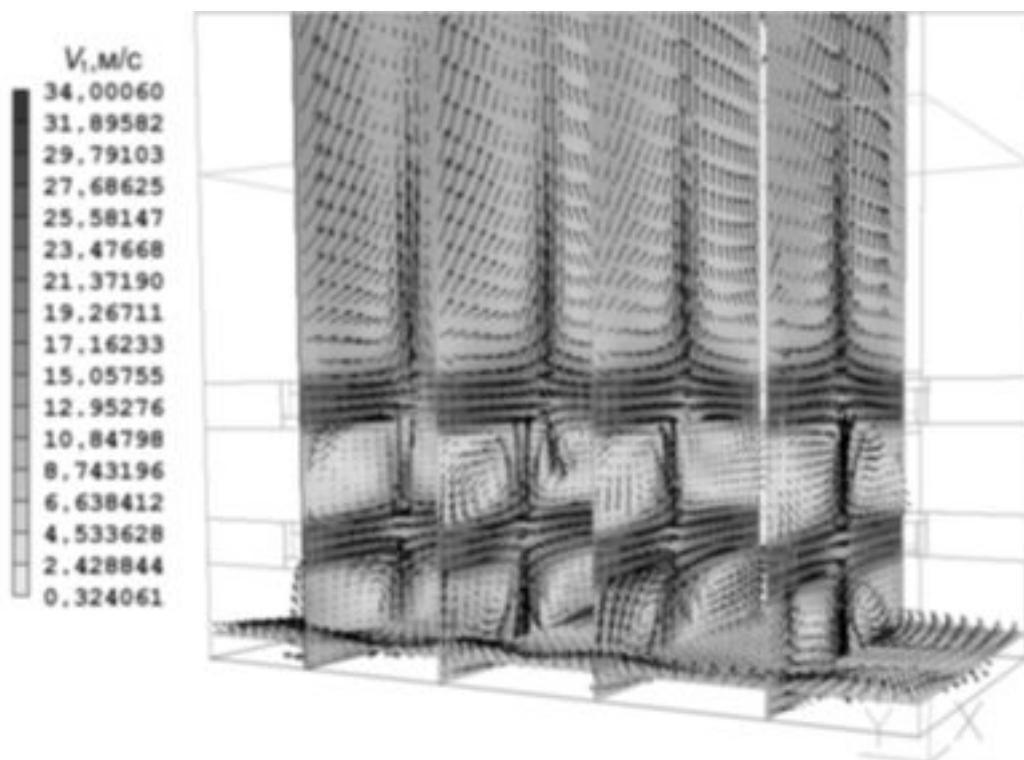


Рис. 3. Поле повної швидкості першої фази в об'ємі топки котла: навантаження на турбіну 280 МВт_е, в роботі 16 пальників.

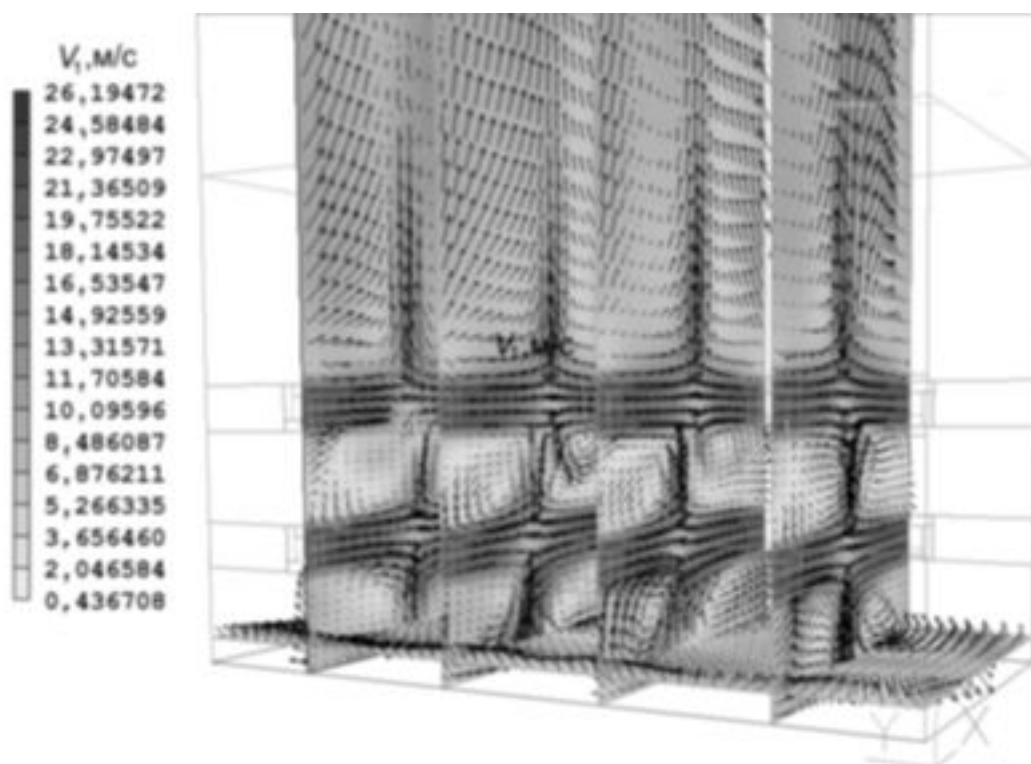


Рис. 4. Поле повної швидкості першої фази в об'ємі топки котла: навантаження на турбіну 210 МВт_е, в роботі 16 пальників.

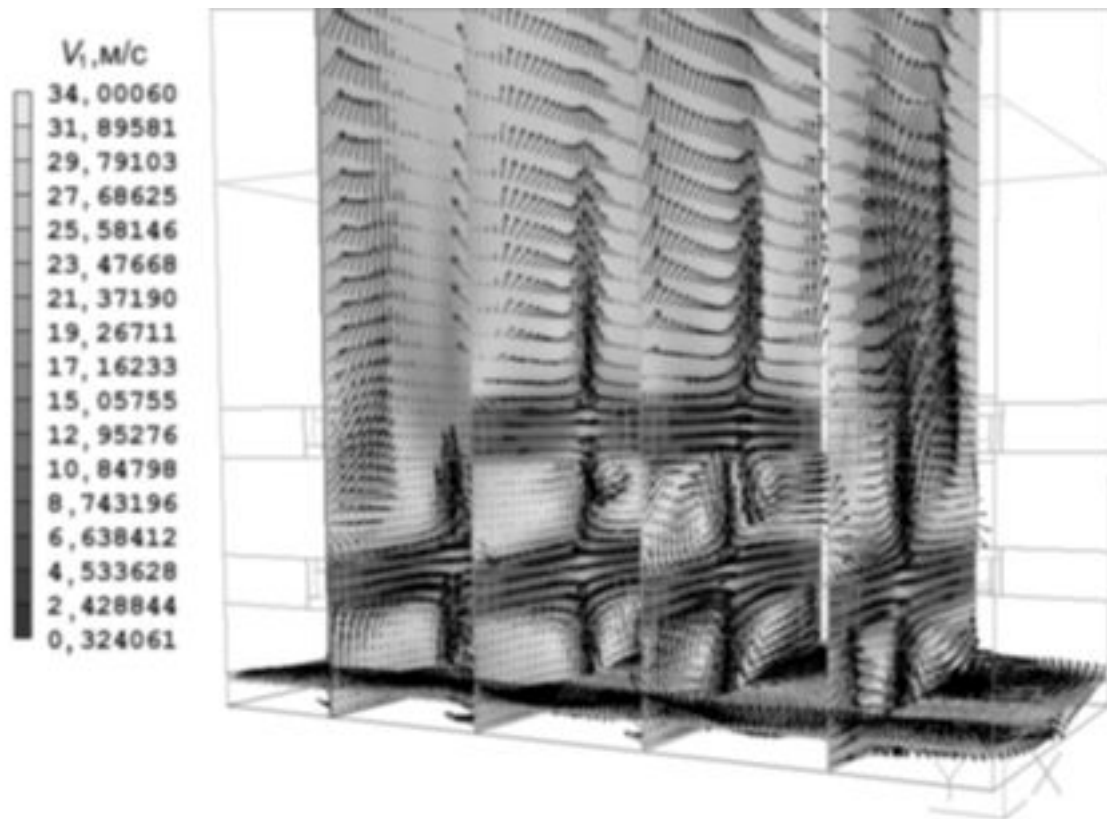


Рис. 5. Поле повної швидкості першої фази в об'ємі топки котла: навантаження на турбіну 210 МВт_е, в роботі 12 пальників.

топки котла. Найбільшого негативного впливу зазнає нижня радіаційна частина. Зведена таблиця результатів приведена в табл. 4.

НРЧ складається з 36 напівпанелей по 41 трубі ($\varnothing 32 \times 6$ мм, сталь 12Ч1МФ) в кожній; подова частина НРЧ містить 12 блоків по 82 труби в кожній. Номінальні параметри експлуатації НРЧ на виході: $P = 299$ ата, $T = 396$ °С. Згідно даних Лабораторії металів Ладжинської ТЕС в період з 1983 по 2008 р.р. основний відсоток виходу з експлуатації труб котлоагрегату приходить саме на НРЧ. Серед 466 пошкоджень близько 37 % (171 випадок) припадає на теплові руйнування, спричинені порушенням тепловідведення, 30 % (142 випадки) – на корозійно-ерозійне зношення, 13,5 % (63 пошкодження) – спричинені розвитком тріщин на ділянках приварки «сухарів». Решта причин пошкоджень є поодинокими і їх відсоток – незначним.

Співставлення результатів розрахунків з даними лабораторії металів Ладжинської

ТЕС підтвердило, що основні випадки руйнування труб НРЧ внаслідок корозійно-ерозійного зносу приходяться на труби, розташовані на висоті 0,5...0,7 м від поду топки як на фронті, так і тилу котла. Відсоток таких пошкоджень на бічних поверхнях топки – незначний.

Зменшення негативного впливу твердої фази на труби може бути досягнуто шляхом відновлення захисного корундового шару в межах запального поясу або аеродинамічним керуванням гідродинамікою потоку біля труб.

Висновки

Аналіз причин виникнення зон підвищеної ерозії (табл. 4.) свідчить, що причиною їх виникнення є взаємодія центральних пальників першого та другого ярусів (рис. 3 – 5). Зменшити негативний вплив на труби можна шляхом покращення умов розширення струменів пальників першого ярусу. Це може бути виконано шляхом управління витратою вугілля на окремі пальники чи встановлення

Табл. 4. Розташування зон підвищеної ерозії

Варіант	Координата підвищеної ерозії, м	Умови взаємодії часток твердої фази з трубами			Причина появи
		Інтенсивність накиду часток, мг/с	Швидкість, м/с	Температура, К	
1	$Z = 0,5 \dots 0,7$	8,0	17,0	1800	взаємодія центральної групи пальників першого та другого ярусу
	$Z = 6,5$	11,4	12,0	1700	зіткнення струменів крайніх пальників другого ярусу
2	$Z = 0,5 \dots 0,7$	6,0	10	1800	взаємодія центральної групи пальників першого та другого ярусу
	$Z = 6,5$	7,0	8,0	1700	зіткнення струменів крайніх пальників другого ярусу
3	$Z = 0,5 \dots 0,7$	7,0	5,0	1800	взаємодія центральної групи пальників першого та другого ярусу

крайніх пальників під кутом $2 \dots 5^\circ$ в напрямку від стінки топки.

Робота виконана в рамках наукового проекту 5.8 «Зменшення ерозії топкових екранів шляхом керування структурою течії в об'ємі топки котла тпн-312» програми «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин (РЕСУРС-2010)»

ЛІТЕРАТУРА

1. Кобзарь С.Г., Халатов А.А. Апробация упрощенной модели расчета горения и формирования оксидов азота при сжигании жидкого топлива // Пром. теплотехника. – 2006. – Т. 28, № 3. – С. 62-69.
2. PHOENICS Reference Guide Version 3.6 – CHAM, London – 2004. – 320 p.

Получено 21.02.2011 р.