

УДК 624.07

DOI: 10.30838/J.PMNTM.2413.241120.59.692

ДОСВІД ОБСТЕЖЕННЯ НЕСНИХ КОНСТРУКЦІЙ КАРКАСА КОТЛА БКЗ 210-140 ІЗ ВИЗНАЧЕННЯМ ЇХ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА РОЗРОБЛЕННЯМ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ПОДАЛЬШОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

КОЗЛОВ С. В.^{1*}, канд. техн. наук, с. н. с.,
КОЗЛОВА О. М.², канд. техн. наук.

^{1*} ТОВ «Науково-виробниче об'єднання «УКРБУДЕКСПЕРТ»», вул. Пшенична, 4, оф. 218, 03148, Київ, Україна, тел. +38 (050) 208-42-81, e-mail: kozlovsv@ukr.net, www.nvo-ukrbudexpert.com.ua, ORCID ID: 0000-0002-4194-6121

² ТОВ «Науково-виробниче об'єднання «УКРБУДЕКСПЕРТ»», вул. Пшенична, 4, оф. 218, 03148, Київ, Україна, тел. +38 (050) 246-91-89, e-mail: Olechka_Kiev2017@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-0372-7059

Анотація. Постановка проблеми. Футерування котлоагрегату проводиться для забезпечення захисту поверхонь несного каркаса (колон, балок) від можливих механічних, термічних, фізичних і хімічних пошкоджень. У ході експлуатації за впливу високих температур і хімічних шлаків футерівка котлів поступово зношується. Вчасно зроблений якісний ремонт футерівки котлів убезпечить обладнання від серйозних пошкоджень конструкцій каркаса і термінової заміни окремих елементів котельного обладнання. **Мета дослідження** – роботи з технічного обстеження елементів каркаса котла БКЗ 210-140 зумовлені необхідністю визначення їх фактичного технічного стану та розроблення рекомендацій щодо подальшої безпечної експлуатації. Для визначення напружено-деформованого стану, що виникає в колонах каркаса, виконувались перевірни розрахунки з використанням програмного комплексу «Lira – Windows». **Висновок.** За результатами технічного обстеження і перевірних розрахунків встановлено, що колони каркаса внаслідок значних пластичних деформацій на окремих ділянках, які викликані, у свою чергу, дією локального високотемпературного впливу, не здатні більше сприймати максимальні експлуатаційні навантаження. Запропоновано варіант підсилення колон каркаса котла БКЗ 210-140 методом збільшення перерізу.

Ключові слова: надійність; міцність і стійкість; елементи каркаса; футерівка

ОПЫТ ОБСЛЕДОВАНИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ КАРКАСА КОТЛА БКЗ 210-140 С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ИХ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И РАЗРАБОТКОЙ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ДАЛЬНЕЙШЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

КОЗЛОВ С. В.^{1*}, канд. техн. наук, с. н. с.,
КОЗЛОВА О. М.², канд. техн. наук.

¹ ООО «Научно-производственное объединение «УКРСТРОЙЭКСПЕРТ»», ул. Пшеничная, 4, оф. 218, 03148, Киев, Украина, тел. +38 (050) 208-42-81, e-mail: kozlovsv@ukr.net, www.nvo-ukrbudexpert.com.ua, ORCID ID: 0000-0002-4194-6121

² ООО «Научно-производственное объединение «УКРСТРОЙЭКСПЕРТ»», ул. Пшеничная, 4, оф. 218, 03148, Киев, Украина, тел. +38 (050) 246-91-89, e-mail: Olechka_Kiev2017@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-0372-7059.

Аннотация. Постановка проблемы. Футеровка котлоагрегата производится для обеспечения защиты поверхностей несущего каркаса (колонн, балок) от возможных механических, термических, физических и химических повреждений. В ходе эксплуатации под воздействием высоких температур и химических шлаков футеровка котлов постепенно изнашивается. Вовремя сделанный качественный ремонт футеровки котлов обезопасит оборудование от серьезных повреждений конструкций каркаса и срочной замены отдельных элементов котельного оборудования. **Цель исследования** – работы по техническому обследованию элементов каркаса котла БКЗ 210-140 обусловлены необходимостью определения их фактического технического состояния и разработкой рекомендаций по дальнейшей безопасной эксплуатации. Для определения напряженно-деформированного состояния, которое возникает в колоннах каркаса, выполнялись проверочные расчеты с использованием программного комплекса «Lira – Windows». **Вывод.** По результатам технического обследования и проверочных расчетов установлено, что колонны каркаса из-за значительных пластических деформаций на отдельных участках, вызванных, в свою очередь, действием локального высокотемпературного

воздействия, не способны более воспринимать максимальные эксплуатационные нагрузки. Предложен вариант усиления колонн каркаса котла БКЗ 210-140 методом увеличения сечения.

Ключевые слова: надежность; прочность и устойчивость; элементы каркаса; футеровка

EXPERIENCE IN INSPECTION OF LOADING STRUCTURES OF BOILER FRAME BBP 210-140 WITH DETERMINATION OF THEIR TECHNICAL STATE AND DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS FOR FURTHER OPERATION

KOZLOV S.V.^{1*}, *Cand. Sc. (Tech.), Senior Researcher*
KOZLOVA O.M.², *Cand. Sc. (Tech.)*

^{1*} LLC “Scientific and Production Association “UKRBUDEXPERT””, 4, Pshenychna St., off. 218, 03148, Kyiv, Ukraine, tel. +38 (050) 208-42-81, e-mail: kozlovsv@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4194-6121

² LLC “Scientific and Production Association “UKRBUDEXPERT””, 4, Pshenychna St., off. 218, 03148, Kyiv, Ukraine, tel. +38 (050) 246-91-89, e-mail: Olechka_Kiev2017@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-0372-7059

Abstract. Formulation of the problem. The boiler unit is lined in order to protect the surfaces of the supporting frame (columns, beams) from possible mechanical, thermal, physical and chemical damage. The importance of high-quality lining of thermal units has been known for a long time and there is a huge amount of information on this topic. It should be noted that the main load falls on the lining – this is the effect of high temperatures, aggressive chemical environment, mechanical stress and other factors during the operation of the heating unit. Particular attention should be paid to the lining device if the unit is metal, since the thermal expansion of the metal is much greater than that of the brick, which must be taken into account. There must be a gap for thermal expansion between the lining layer and the metal walls of the heating unit, otherwise the lining may simply collapse when the metal is heated. The gap is sealed with basalt wool in the form of bundles or sheets. The efficiency of the thermal boiler equipment fully depends on how durable, heat-resistant, energy-efficient, and repairable the lining will be. During operation, under the influence of high temperatures and chemical slags, the boiler lining gradually wears out. A timely high-quality repair of the boiler lining will protect the equipment from serious damage to the frame structures and urgent replacement of individual elements of the boiler equipment. **The purpose** of the article is to work on the technical inspection of the elements of the boiler frame BBP 210-140 due to the need to determine their actual technical condition and the development of recommendations for further safe operation. Assessment of technical condition is carried out on the basis of technical inspection (visual and instrumental) and verification calculations. To determine the stress strain state that occurs in the columns of the frame, test calculations were performed using the software package "Lira – Windows". **Conclusion.** Based on the results of technical inspection and verification calculations, it was found that the columns of the frame, due to the presence of significant plastic deformations in certain areas, caused in turn by the action of local high-temperature exposure, are no longer able to perceive the maximum operational loads. A variant of strengthening the columns of the boiler frame BBP 210-140 by the method of increasing the cross section is proposed.

Keywords: reliability; durability and stability; elements of a framework; lining

Постановка проблеми. Наразі все частіше виникає потреба у роботах із реконструкції або відновлення експлуатаційної придатності окремих елементів чи будівель і споруд у цілому. Також необхідно вирішувати комплексні питання, пов'язані з визначенням напружено-деформованого стану (НДС) і виконанням робіт з подовженням терміну експлуатації. Технічний стан оцінюється на основі технічного обстеження (візуального та інструментального) та проведення перевірних розрахунків. Елементи каркаса котла БКЗ 210-140, що обстежувались, були

введені в експлуатацію з 1961 по 1974 роки.

Основне паливо для котлів – кам'яне вугілля (антрацитовий штиб). За роки експлуатації обладнання проходило поточні ремонти, але наразі виникла необхідність у проведенні капітального ремонту (реконструкція або заміна) всіх елементів котлоагрегатів для забезпечення надійної та безпечної експлуатації комплексу в цілому.

Робота являє собою дослідження проблеми подовження терміну експлуатації несних будівельних конструкцій за дії різних факторів силових, температурних та інших впливів.

Аналіз публікацій. Діагностика та подовження терміну експлуатації будівельних конструкцій будівель і споруд – це складна та трудомістка праця. Дослідження, присвячені зазначеній темі, наведені у статті А. В. Канигіна [1], де проводиться ґрунтовний аналіз котельного обладнання, яке працює в теплових мережах України. У статті авторів Ю. Губара, Л. В. Винарчука [2] виконано дослідження методів визначення зовнішнього зносу спеціалізованої нерухомості.

Для обстеження враховано вимоги Технічного регламенту будівельних виробів, будівель і споруд, а також ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016 «Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану» [3; 4].

Мета дослідження – оцінення технічного стану несних будівельних конструкцій

каркаса котлоагрегата БКЗ 210-140 з розробленням рекомендацій щодо подальшої експлуатації обстежуваного котлоагрегату. Дослідження виконувалось із застосуванням класичних правил розрахунків будівельної механіки, а також із використанням програмного комплексу «Lira-Windows», в основу якого покладено метод скінченних елементів (МСЕ) у переміщеннях. Скінченно-елементну модель конструкцій виконували в лінійній постановці.

Виклад матеріалу. Згідно з технічною документацією [6; 7], будівельні конструкції каркаса котлоагрегату БКЗ 210-140 виконані за проектом Дніпропетровського Ордена Трудового Червоного Прапора заводу металоконструкцій ім. Бабушкіна. Схематичний план каркаса котла, розріз та загальний вид показано на рисунках 1–3.

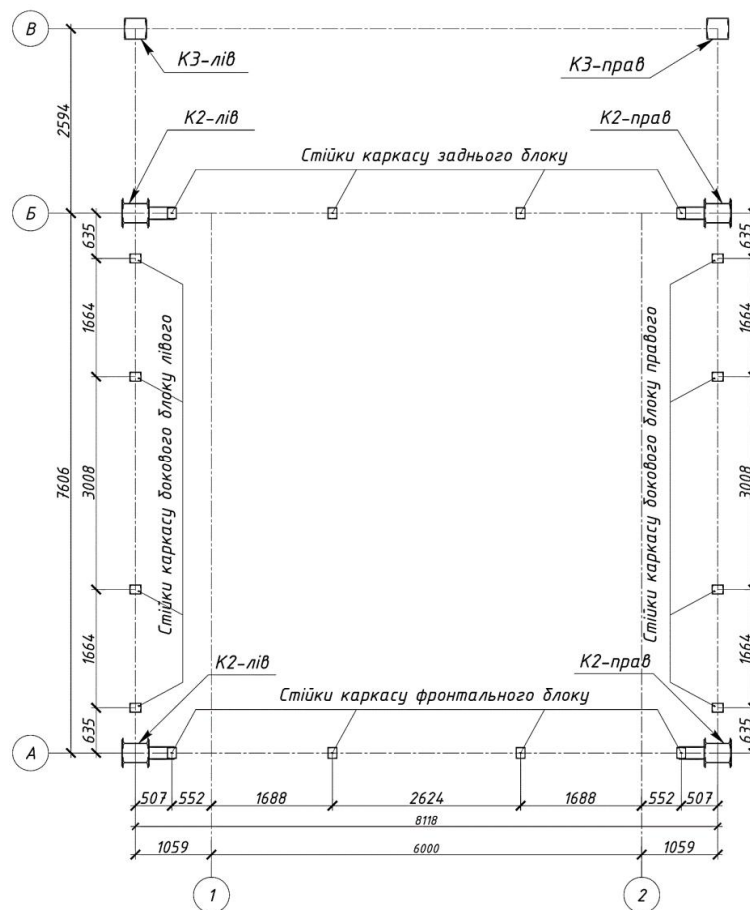


Рис. 1. Схематичний план каркаса котлоагрегату БКЗ 210-140

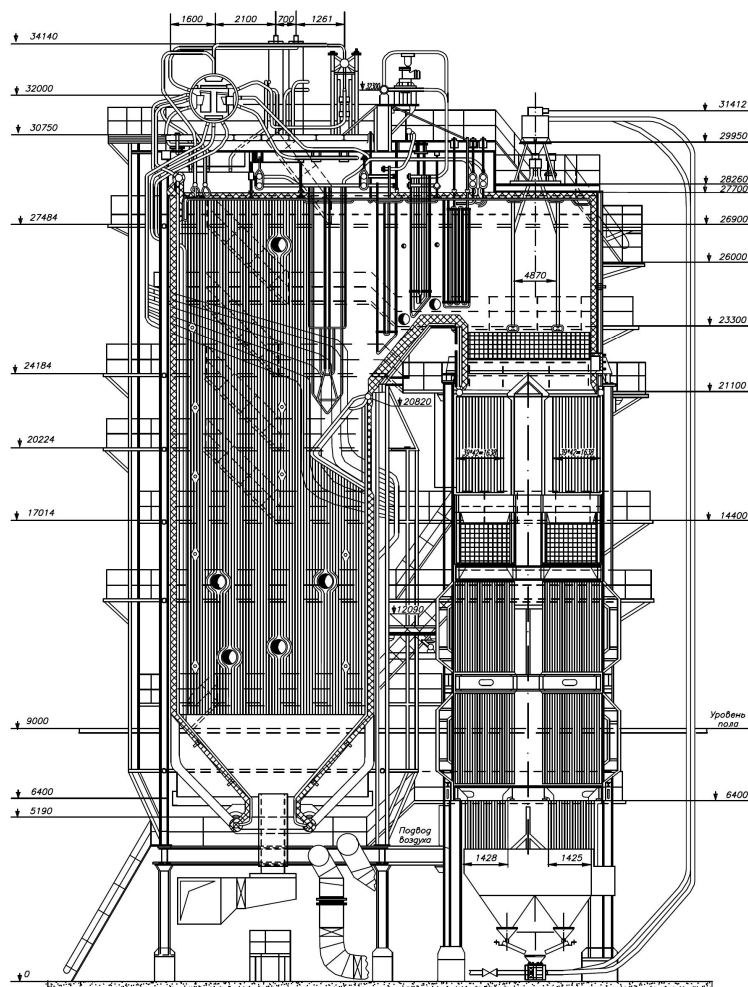


Рис. 2. Поздовжній розріз котлоагрегату БКЗ 210-140

Каркас котла являє собою просторову сталеву конструкцію прямокутної конфігурації в плані. Висота котла 30,5 м. За відмітку 0.000 прийнято відмітку підлоги першого поверху. Каркас складається зі стійок порталу (СП1п, СП1л, СП3п, СП3л, СП2), балок порталу (БПр-1, БПр-2), колон (К-1лів, К-1пр, К-2лів, К-2пр, К-3лів, К-3пр), стійок каркаса, горизонтальних балок, хребтової балки, стельових балок. Стійки порталу СП1п, СП1л, СП3п, СП3л виконані з двох двотаврів № 36 $L = 2\,760$ мм, зварених накладками. Стійки порталу СП2 виконані з двох швелерів № 24, зварених накладками. Балки порталу БПр-1 та БПр-2 виконані з двох двотаврів № 36, зварених накладками. Колони К-1лів, К-1пр, К-2лів, К-2пр виконані з двох двотаврів № 36, зварених накладками. Колони К-3пр, К-3лів виконані з двох швелерів № 30, зварених суцільними накладками у «коробку». Стійки бокових блоків виконані з двох швелерів № 24,

зварених сухарями. Балки бокових блоків виконані з двох швелерів № 24. Хребтова балка виконана у вигляді зварного двотавра: стінка перерізом $1\,610 \times 10$ мм, полиці 500×10 мм. Стельові балки виконані з двотаврів № 55, а в межах колон К-2, К-3 виконані зі швелерів № 24, які з боку колон К-2 спираються на хребтову балку, а з боку колони К-3 – на двотаврову балку № 55, підсилену суцільними накладками, привареними до полиць двотавра.

Аналіз конструктивної системи котлоагрегату БКЗ 210-140, результатів виконаного обстеження дозволив зробити такі висновки:

– внаслідок неналежної теплоізоляції технологічної частини котельного агрегату та порушення температурного режиму експлуатації несних будівельних конструкцій котла виникли пластичні деформації (вигини) колон каркаса котла, прогорання сталевих елементів обшивки;

– просторова жорсткість і геометрична незмінність каркаса котлоагрегату БКЗ 210-140 забезпечується за рахунок сумісної роботи колон, стійок блоків каркаса, балок блоків каркаса, стельових

балок, хребтової балки та майданчика РЗ. Основні дефекти будівельних конструкцій каркаса котла БКЗ 210-140 наведені на рисунках 4–7.



Рис. 3. Загальний вигляд котлоагрегату БКЗ 210-140



а



б

Рис. 4. Вигин стійок каркаса заднього блока, стінки та полиць швелерів у площині каркаса на позначці +9.320



Рис. 5. Дефекти на ділянках колон К-2 ліва, К2-прав у площині конструкції на позначках 21.200...28.900:
а – вигин колони К-2 ліва в площині конструкції на 160 мм в рівні позначок 21.200...28.900;
б – місцеве змінання стінки та полиць двотаврів, вигин із площини на 100...110 мм колони
К2-прав на позначці +23.80



Рис. 6. Місцеве змінання стінки двотавра колони К2-прав на 60...80 мм на позначці +16.0

Виконувались перевірені розрахунки несної здатності найбільш деформованих колон К2 каркаса котлоагрегату БКЗ 210-140. Згідно з проектною документацією на каркас котлоагрегату БКЗ 210-140 [6], переріз колон К2 складений із двох прокатних двотаврів № 36, що поєднуються по полицях між собою смугами із листової сталі товщиною

10 мм. Колони каркаса виготовлені зі сталі С235. Розраховувалась ділянка колони К2 по висоті в межах позначки 20,74...28,90 м оскільки в колоні К2-ліва, яка внаслідок високотемпературного впливу отримала максимальний вигин 160 мм у площині стінки двотавра на ділянці між позначками 21,20...23,80 м.

Для визначення напружено-деформованого стану (НДС), що виникає в колонах К2, вибрано програмні засоби, розроблено методику розрахунку і комп'ютерну модель. Розрахунок колони К2 виконано з використанням програмного комплексу «Lira-Windows», в основу якого покладено МСЕ в переміщеннях. Скінченноелементну модель колони К2 розроблено в лінійній постановці. Колону К2 складено перерізу із двох прокатних двотаврів № 36, що поєднуються

по полицях між собою смугами із листової сталі товщиною 10 мм, змодельовано плоскими оболонковими СЕ типу 41 «універсальний прямокутний скінченний елемент оболонки», а також СЕ типу 42 «універсальний трикутний скінченний елемент оболонки» відповідної товщини.

Комп'ютерна модель колони К2 складалася із 2 300 скінченних елементів і 1 668 вузлів. Об'ємний вигляд розрахункової моделі наведений на рисунку 8.

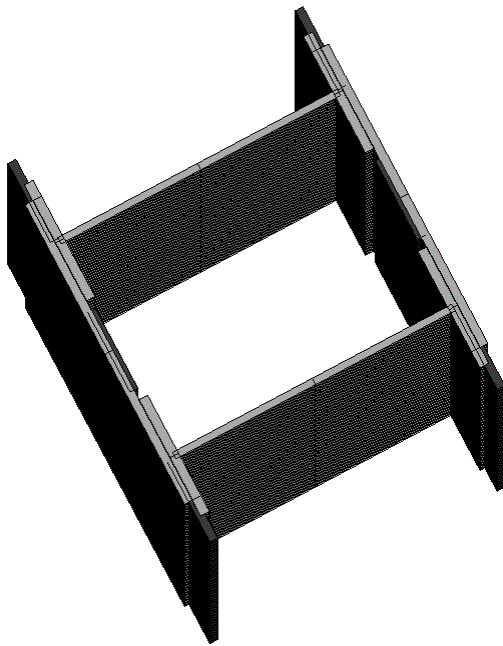


а



б

Рис. 7. Відрив балок кріплення перекриття стельової футерівки пароперегрівача на позначці +24.500



а



б

Рис. 8. Об'ємний вигляд розрахункової моделі колони К2: а – переріз колони (фрагмент моделі); б – загальний вид

Розрахункове навантаження на колону К2 складає 330,0 тс. За результатами розрахунків, напружено-деформований стан колони К2 наведено на рисунках 9 та 10 до підсилення за станом на час проведення обстеження конструкцій каркаса котлоагрегату з урахуванням існуючого вигину. Максимальні переміщення в колоні К2 з урахуванням дії розрахункового навантаження на колону, а також додаткової дії високотемпературних впливів на певну ділянку колони в межах позначок 21,20...23,80 м складають: горизонтальні – 111,0 мм; вертикальні – 63,2 мм.

Максимальні вертикальні напруження в колоні К2 в межах ділянки на позначках 20,74...28,90 м складають

730...760 кН/см². Ці напруження для сталі С235 недопустимі і перевищують розрахунковий опір сталі.

Як показують отримані результати, необхідно виконувати підсилення колон. Підсилення колон виконується металевими листами товщиною 10 мм зі сталі С245. Два листи шириною 570 мм приварюють до полиць двотаврів у площині вигину таким чином, щоб утворити прямокутний переріз колони. Ще один лист, також товщиною 10 мм, приварюють до листів підсилення з боку котла. Результати розрахунку напружено-деформованого стану колони К2 з урахуванням включення в роботу елементів підсилення показані на рисунку 11.

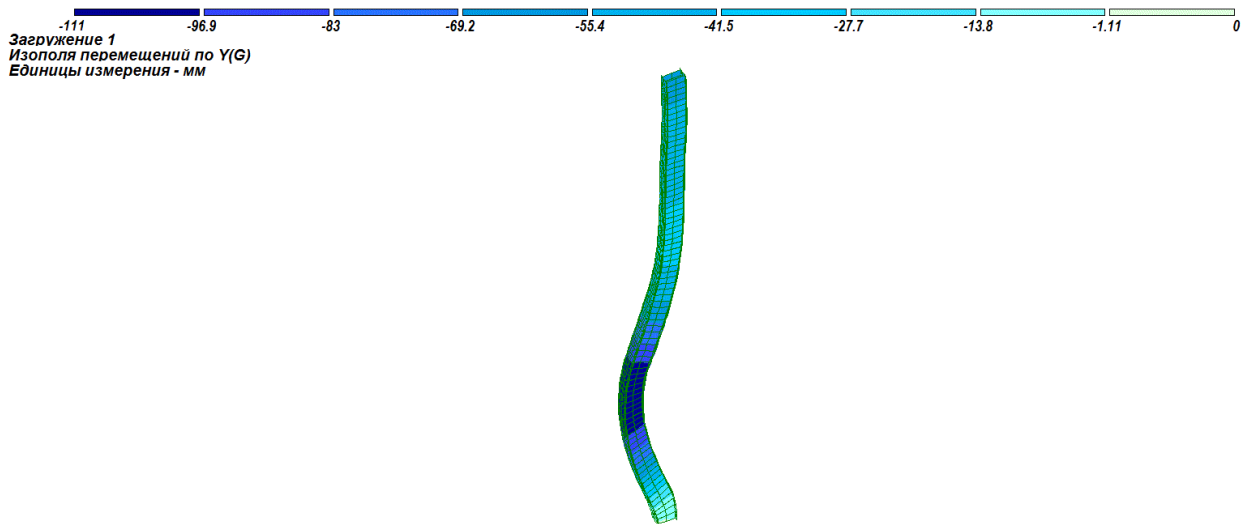


Рис. 9. Горизонтальні переміщення в колоні К2 в межах ділянки на позначках 20,74...28,90 м

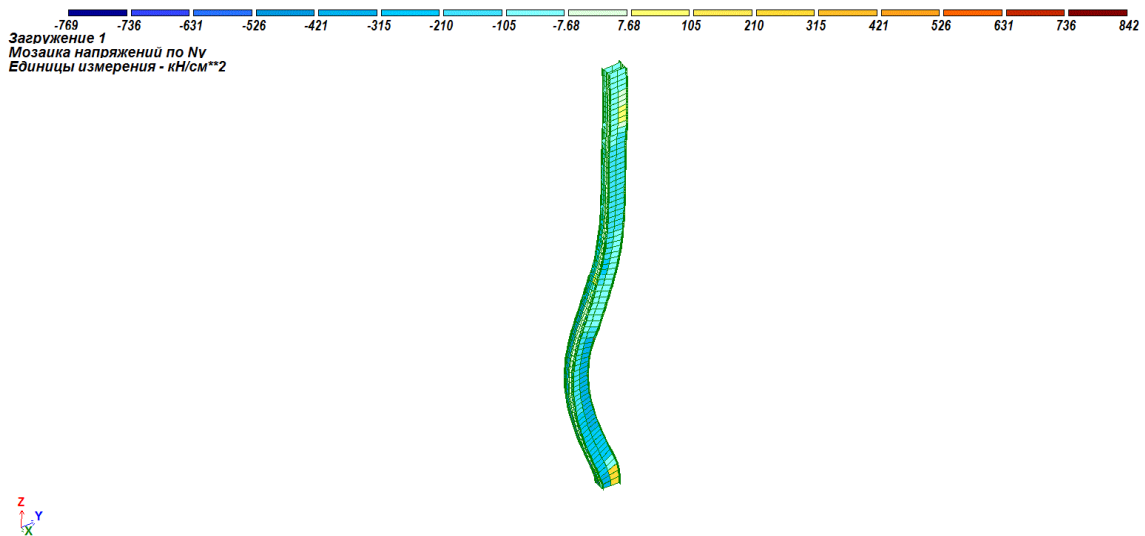


Рис. 10. Вертикальні напруження в колоні К2 в межах ділянки на позначках 20,74...28,90 м

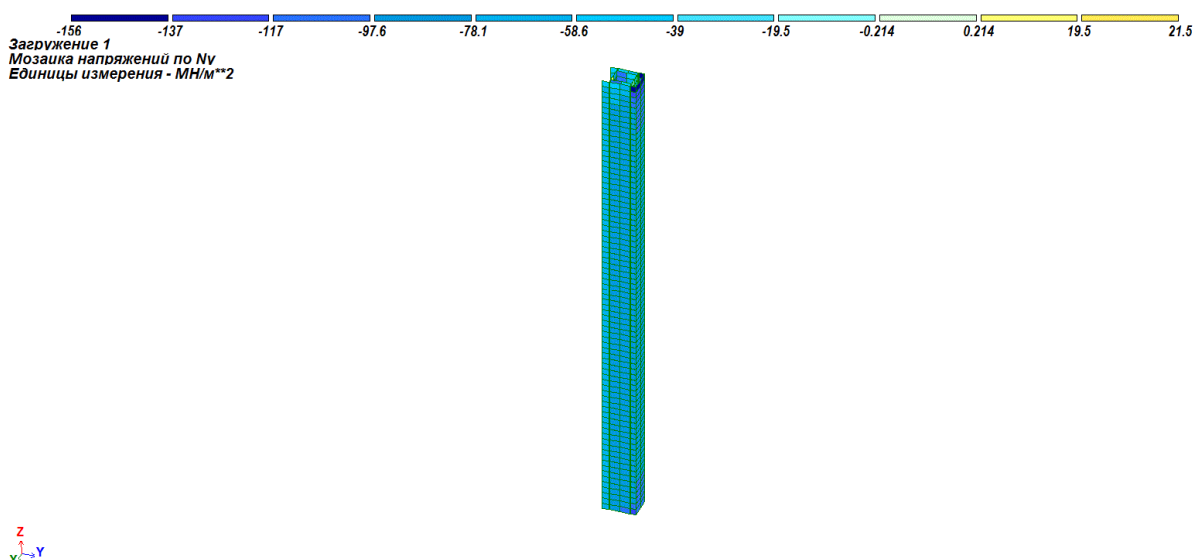


Рис. 11. Напруження в колоні К2 в межах ділянки на позначках 20,74...28,90 м з урахуванням елементів підсилення

Максимальні переміщення в колоні К2 з урахуванням дії елементів підсилення колони в межах позначок 20,74...28,90 м складають: вертикальні 4,32 мм; горизонтальні 0,59 мм.

Максимальні вертикальні напруження в колоні К2 з урахуванням дії елементів підсилення в межах ділянки на позначках 20,74... 28,90 м складають 156,0 МПа. Ці напруження для сталі С235 та С245 допустимі і не перевищують розрахунковий опір сталі.

Висновки. 1. За результатами аналізу проектно-конструкторських рішень [6] та діагностики технічного стану будівельних конструкцій каркаса котла БКЗ 210-140 ТЕЦ встановлено:

- внаслідок зношеної, частково зруйнованої теплоізоляції технологічної частини котельного агрегату та порушення температурного режиму експлуатації несних будівельних конструкцій котла виникли пластичні деформації (вигини) колон каркаса котла, прогорання сталевих елементів обшивки;

- окремі ділянки колон К2, К3 каркаса котлоагрегату БКЗ 210-140 внаслідок високотемпературного впливу мають значні деформації, а саме колона К2 ліва має максимальний вигин 160 мм в площині стінки двотавра на ділянці між позначками 21,20... 23,80 м (рис. 5). В цілому, колони К2, К3, а також окремі ділянки балок настилу та елементи бокових

блоків перебувають у не придатному для нормальної експлуатації стані (ІІІ категорія технічного стану);

- в аварійному стані перебувають балки кріплення перекриття стельової футерівки пароперегрівача на позначці +24,50 м, окремі з яких на момент обстеження частково або повністю обвалені (рис. 7).

2. За результатами виконаних перевірок розрахунків встановлено, що колони К2, К3 через наявність значних пластичних деформацій на окремих ділянках не здатні сприймати максимальні експлуатаційні навантаження. Для забезпечення несної здатності та подальшої безпечної експлуатації колони К2, К3 потребують підсилення. У відповідності з п. 5.2, 5.3 [3] технічний стан каркаса котла БКЗ 210-140 в цілому розглядається як не придатний до нормальної експлуатації і відповідає ІІІ категорії технічного стану.

Для усунення зазначених недоліків та забезпечення подальшої безпечної експлуатації котла БКЗ 210-140 необхідно здійснити комплекс ремонтних робіт та заходів до підвищення роботоздатності будівельних конструкцій та надійності споруди в цілому відповідно до Технічного регламенту та діючих нормативних актів і документів за окремо розробленим проектом, враховуючи розроблені рекомендації щодо підсилення конструкцій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Каныгин А. В. Какое котельное оборудование должно работать в централизованных тепловых сетях Украины? *Енергетика та електрифікація : науковий журнал*. Київ : Мін. палива та енергетики України, 2009. С. 8–13.
2. Губар Ю., Винарчук Л. В. Дослідження методів визначення зовнішнього зносу спеціалізованої нерухомості. Національний університет «Львівська політехніка» : ISTCGCAP, 2018. Вип. 88, № 8. 2018. С. 47–54. URL : <https://doi.org/10.23939/istcgcap2018.02.047>.
3. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. Київ : Мінрегіон України, 2017. 43 с.
4. Технічний регламент будівельних виробів, будівель і споруд (затверджений постановою КМУ від 20.12.2006 № 1764, ст. 3415). *Офіційний вісник України*. № 51, 2006.
5. ДБН В.1.2-14:2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд. [Чинний від 2019-01-01]. Київ : Мінрегіон України, 2018. 33 с.
6. Робоча документація. Окремі копії креслень робочого проекту конструкцій каркаса котлоагрегату БКЗ 210-140 ПТ ст. № 3, інв. № 20.0121. Чернігівської ТЕЦ; Дніпропетровського Ордена Трудового Червоного Прапора заводу металоконструкцій ім. Бабушкіна. 1971. 103 с.
7. Технічний звіт за результатами обстеження будівельних конструкцій каркасу котлоагрегату БКЗ 210-140 ПТ з визначенням їх технічного стану та розробкою рекомендацій щодо подальшої експлуатації котлоагрегату БКЗ 210-140 ПТ ст. № 4, інв. № 21.0121 (договір № 72/21 від 01 липня 2019 р.) у м. Києві. Київ : ТОВ «НВО «УКРБУДЕКСПЕРТ», 2019. 44 с.

REFERENCES

1. Kanygin A.V. *Kakoe kotelnoe oborudovanie doljno rabotat v centralizovanih teplovix setax Ukrainy?* [What boiler equipment should work in the centralized heating networks of Ukraine?]. *Energetika ta elektrifikaciya : Naukoviy jurnal* [Power engineering and electrical engineering : Science journal]. Kyiv : Ministry of Energy of Ukraine, 2009, pp. 8–13. (in Russian).
2. Gubar U., Vinarchuk L.V. *Doslidjennya metodiv viznachennya zovnishnogo znosy specializovanoj neruxomosti* [Research of methods for determining the external wear of specialized real estate]. *Nacionalniy universitet «Lvivska politexnika»* [Lviv Polytechnic National University]. Vol. 88, no. 8, 2018, pp. 47–54 URL : <https://doi.org/10.23939/istcgcap2018.02.047>. (in Ukrainian).
3. *DSTU-N B V.1.2-18:2016 Nastanova shchodo obstezhennya budivel i sporud dlya vyznachennya ta otsinky yikh tekhnichnogo stanu* [Guidelines for inspection of buildings and structures to determine and assess their technical condition]. Kyiv : Ministry of Regional Development of Ukraine, 2017, 43 p. (in Ukrainian).
4. *Texnichnij reglament budivelnix virobiv, budivel i sporud (zatverdzeniy postanovoyu KMY vid 20.12.2006 № 1764, st. 3415)* [Technical regulations for construction products, buildings and structures (approved by the Cabinet of Ministers of 20.12.2006 no. 1764, st. 3415)]. *Ofitsiyiniy visnik Ukrainy* [Official Gazette of Ukraine]. 2006, no. 51. (in Ukrainian).
5. *DBN V.1.2.-14:2018. Zagalni principy zabezpechennya nadiynosti ta konstruktivnoi bezpeki budivel, sporud. Chinniy vid 2019-01-01* [General principles of ensuring the reliability and structural safety of buildings and structures. Valid from 2019-01-01]. Kyiv : Ministry of Regional Development of Ukraine, 2018, 33 p. (in Ukrainian).
6. *Robocha dokumentaciya. Okremi kopi kreslen robochogo proeknu konstrukcij karkasy kotloagregaty BKZ 210-140 PT st. №3, inv. № 20.0121, Chernigovskoi TEC; Dniprovskogo ordena trydovogo chervonogo prapory zavody metalokonstrykcij im. Babyshkina* [Working documentation. Separate copies of drawings of the working design of constructions of a framework of a boiler unit BBP 210-140 PT st. no. 3, inv. no. 20.0121; Chernihiv Heat and Power Plant; Dnipropetrovsk Order of the Red Banner of Labor of the Babushkin Metal Construction Plant]. 1971. 103 p. (in Ukrainian).
7. *Texnichnij zvit za rezyltatami obstegenya bydivelnix konstrykcij karkasy kotloagregaty BKZ 210-140 PT z viznachenniam ix tekhnichnogo stanu ta rozrobkoyu rekomendacij shodo podalshoi eksplyatacii kotloagregaty BKZ 210-140 PT st. № 4, inv. № 21.0121* [Technical report on the results of inspection of building structures of the frame of the boiler unit BBP 210-140 PT with determination of their technical condition and development of recommendations for further operation of the boiler unit BBP 210-140 PT st. no. 4, inv. no. 21.0121]. Contract no. 72/21 dated July 1, 2019. Kyiv : LLC “SPA “UKRBUDEXPERT”, 2019, 44 p. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції 02.11.2020.