

УДК 624.012.25:539.386

## ОЦІНКА ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ПРИДАТНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ОПОР ОБЕРТОВИХ ПЕЧЕЙ

*В. Караван, к. т. н., А. Григорчук, к. т. н.*

*Національний університет водного господарства та природокористування*

**Постановка проблеми.** В умовах переоснащення існуючих підприємств, заміни технологічних процесів на прогресивніші та продуктивніші, значну увагу приділяють реконструкції існуючих підприємств. Першочерговим завданням при цьому є посилення існуючих та заміна пошкоджених конструктивних елементів будівлі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для ухвалення об'єктивного та остаточного рішення про можливість експлуатації існуючої будівлі чи виконання певних ефективних заходів з відновлення експлуатаційних властивостей будівлі першочерговим завданням є оцінка технічного стану конструкції чи будівлі загалом. Потреба у виконанні таких вирішень виникає за втрати експлуатаційної придатності будівлі внаслідок впливу певних зовнішніх чинників: чи то в умовах реконструкції будівлі, чи за капітального ремонту, чи внаслідок аварійних ситуацій тощо.

Сьогодні питання оцінки технічного стану конструкцій і будівлі загалом залишається до кінця не вирішеним, оскільки відсутня методика розрахункової оцінки технічного стану будівель, виконаних з кам'яних, залізобетонних чи дерев'яних конструкцій. Норми проектування будівельних конструкцій переважно орієнтовані на проектування нових будівель і містять лише загальні вказівки або тільки деякі окремі випадки щодо посилення і реконструкції, особливо у складних інженерно-геологічних умовах. Обстежуючи будівлі, виявляють конструктивні рішення, які не відповідають вимогам, а іноді й не передбачені нормами.

Проблема забезпечення довговічності будівельних конструкцій, з одного боку, пов'язана зі значним терміном експлуатації будівель, а з іншого – з відсутністю належного фінансування, низькою кваліфікацією спеціалістів-експлуатаційників та елементарним людським фактором.

**Постановка завдання.** Завдання нашого дослідження – провести візуально-інструментальні обстеження та теоретичні дослідження опор обертових печей та подати рекомендації щодо їх реконструкції й посилення для подальшої безпечної експлуатації.

**Виклад основного матеріалу.** Обстежували опори обертових печей П № 4, 5, 6 для випалювання сировинної суміші до спікання у клінкер (рис. 1). Кожна піч має сім монолітних залізобетонних опор О1...7 (рис. 2).

Загальна довжина печей в осях опор становить 153,7 м, відстань між печами – 24 м (рис. 2), відстань між опорами – 24, 26, 28 м. Верх плити опор знаходиться на різних відмітках, що збільшуються від О1 – 4,5 м до О7 – 10,665 м (див. рис. 1).



Рис. 1. Загальний вигляд опор обертових печей.

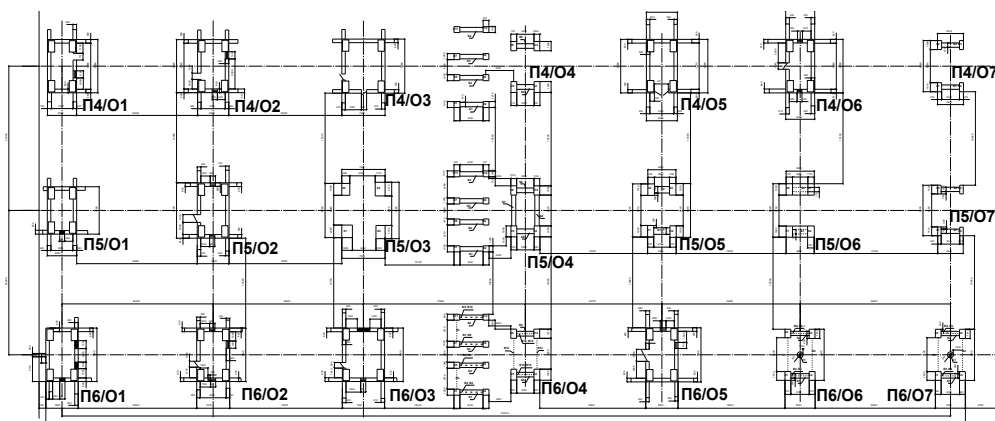


Рис. 2. Обертові печі в плані.

Залізобетонні монолітні опори П6/О4, П5/О4, П4/О4 (рис. 1-4) складаються з таких **конструктивних елементів**:

- монолітної залізобетонної суцільної ребристої фундаментної плити завтовшки 800 мм, низ якої заглиблений на 6000 мм від поверхні землі, та

розмірами в плані 14000×17000 мм. Заармована плита сітками та каркасами з арматури Ø12, Ø20 та Ø32 А-II і кроком стрижнів 200-300 мм;

- залізобетонних колон перерізом 700×1000(1300) мм, посилених сталевими кутиками 150×100×14 мм та арматурними стрижнями обойми Ø25(40) А-II;

- ригелів між колонами перерізом 700×1000 (1300) мм;

- металевих хрестових в'язів в опорі П6/04 (рис. 1, 3) зі швелера №30, що забезпечують просторову жорсткість і стійкість опори;

- монолітного ребристого (балкового) перекриття заввишки 400 мм, що складається з балок завширшки 250 мм з кроком 1100-2000 мм та плити, яка їх об'єднує товщиною 100 мм;

- монолітної суцільної верхньої плити (рис. 1, 3, 4) перемінної товщини: 2200, 2250, 2530, 3270 мм. Плита армується окремими стрижнями Ø16, Ø25, Ø28, Ø32 А-II з кроком 200-350 мм, та каркасами з арматурою Ø12 А-II. Хомутами та розподільчою арматурою слугують стрижні Ø10, Ø12 А-I.

**Міцність бетону** визначали приладом ОНИКС-2,5 безпосередньо на об'єкті. Вимірювання проводили за всіма конструктивним елементами опор, у різних їх місцях; кількість вимірювань за кожною точкою становила не менше п'яти. Робота з приладом ОНИКС-2,5 передбачала ретельний добір, очищення та підготовку поверхні конструкції. Клас бетону конструкцій опор під обертові печі № 4, 5, 6 становить у середньому В30.

**Залізобетонні опори П6/04, П5/04, П4/04**, окрім дефектів, характерних для монолітного залізобетону (нерівність і неплотинність поверхні конструкцій, грубі шви й перерви у бетонуванні, пори, раковини, пустоти, неоднорідність структури бетону, сколення та вибоїни бетону тощо) мають пошкодження, що суттєво знижують їх несучу здатність, жорсткість і придатність до нормальної експлуатації (рис. 3 – 6).

Залізобетонні колони опор мають значні сколення бетону, на ділянках наявні: оголена арматура, поздовжні тріщини з корозією робочої арматури (рис. 3, 4). У місці обпирання верхньої плити переріз колон зруйнований, арматура оголена й піддається корозії (рис. 5), бетон колон зазнав корозії внаслідок агресивної дії проникаючого мастила та зовнішнього середовища.

У монолітному ребристому перекритті наявні пошкодження у вигляді зруйнованого бетону, в цих місцях арматура оголена й зазнає корозії, для робочої арматури де-не-де недотриманий захисний шар бетону. Бетон зазнає агресивного впливу мастила, що просочилося крізь нього, суттєво зменшуючи при цьому його міцність.



Рис. 3. Дефекти і пошкодження опори П6/О4: 1 – сколення бетону; 2 – корозія та руйнування бетону; 3 – тріщини; 4 – оголене (корозія) арматури; 5 – відшарування (руйнування) бетону; 6 – пори, раковини бетону.



Рис. 4. Дефекти і пошкодження опори П5/О4: 1 – сколення бетону; 2 – корозія та руйнування бетону; 3 – тріщини; 4 – оголення (корозія) арматури.



Рис. 5. Обпирання плити на колону опори П5/О4.

Верхня монолітна плита має місцеві сколення та відшарування бетону, наскрізні поздовжні та поперечні тріщини по всій довжині плити (рис. 6), наявні ділянки в нижній зоні плити та по її боковому периметру з оголеною робочою арматурою, що спричинює корозію (руйнування) самого бетону (див. рис. 3, 4) внаслідок дії навколишнього середовища й агресивних факторів, таких, як мастило, що потрапляє на бетон плити зверху від механізмів, пронизує конструкцію наскрізь та руйнує його структуру. Ознаками і наслідками корозії та руйнування бетону плити є білі патьоки на її поверхні, масні плями, тріщини, відшарування бетону, оголення арматури. Відзначимо, що характер тріщиноутворення у плиті П4/О4 багато в чому збігається з плитою опори П5/О4, що пов'язано з незабезпеченістю загальної жорсткості та стійкості споруди від діючих навантажень і відсутністю в'язів за ними.

На залізобетонних опорах П6/О4, П5/О4, П4/О4 розміщено головний привід механізму обертових печей, робота якого створює динамічне навантаження на конструкції опори, спричинюючи їх горизонтальне переміщення та коливання (рис. 1, 7). Зазначена силова дія особливо відчутна під час запуску печей та їх зупинки, що призводить навіть до розриву анкерів (рис. 8).



Рис. 6. Тріщини у нижній зоні верхньої плити опори П5/О4.



Рис. 7. Привід механізму обертових печей.

**Технічний стан** конструкцій, а відтак технічний стан споруд опор, визначили за результатами візуально-інструментального обстеження залежно від ступеня пошкодження та наявних дефектів. Технічний стан опори П5/О4 – непридатний до нормальної експлуатації, а конструкції вимагають заходів із підсилення та відновлення їх експлуатаційних властивостей. Технічний стан опор П6/О4, П4/О4 – задовільний.



Рис. 8. Розрив анкера приводу.

Опора П5/О4 потребує підсилення влаштуванням металевих в'язів по колонах споруди, підсилення самих залізобетонних колон, а також скріплення (обв'язки) монолітної плити по її торцях. Роботи з підсилення передбачають також очищення та зняття шару ушкодженого бетону верхньої й нижньої зон, зароблення тріщин у плиті, торкретування нижньої бетонної поверхні плити торкрет-розчином на клейкій основі, підсилення та вкладання нового бетону верхньої зони тощо. Для опор П6/О4 та П4/О4 рекомендується очистити від мастила і продуктів корозії та зняти шар ушкодженого бетону нижньої й верхньої зон монолітної плити, після чого виконати торкретування бетонної поверхні плити розчином на клейкій основі; для опори П4/О4 у разі збільшення вібрації – влаштування металевих вертикальних в'язів по колонах.

**Навантаження на опори обертових печей.** Згідно з ДБН В.1.2.2:2006 «Навантаження і впливи. Норми проектування» прийнято такі види навантажень на опори печей: а) постійні навантаження; б) змінні; в) епізодичні. До постійних навантажень віднесено власну вагу елементів опор та вагу технологічного обладнання; до змінних – частину технологічного обладнання та вагу сировини (вагу сировини прийнято із розрахунку добової продуктивності – 1200 т); до епізодичних – динамічні навантаження, спричинені порушенням технологічного процесу, несправністю обладнання, падінням сировини в печах.

Схеми навантажень на опори наведено на рис. 9. Числові значення навантажень подано у таблиці.

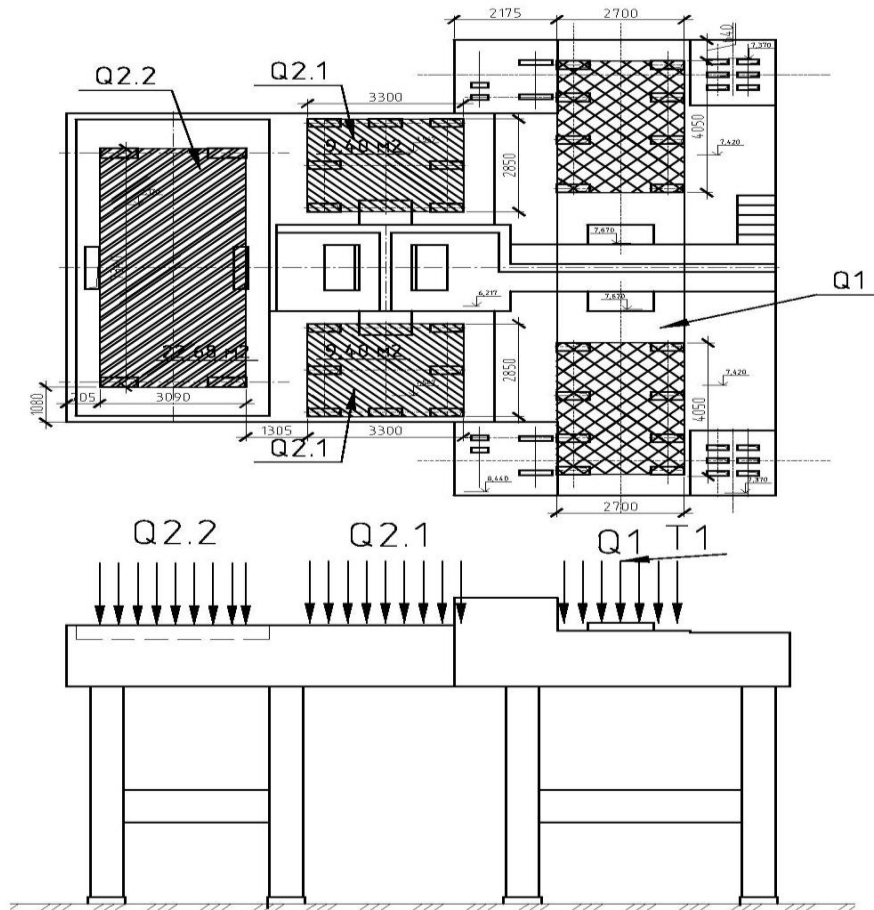


Рис. 9. Схеми навантажень на опору.

Таблиця

Навантаження, що діють на піч, т/м<sup>2</sup>

Позначення	Завантаження		
	1	2	3
Q1	0,43	4,3	4,2
Q2.1	5,36	7,95	4,86
Q2.2	4,47	-	-
T1	-	134 т.	-

Під час розрахунку динамічні навантаження прийнято імпульсними ударними, повторювальними в часі.

Для спрощення врахування динамічних навантажень – маси, що формують імпульс удару, виведено в окреме завантаження, що



характеризується як постійне навантаження, та включене в розрахункове сполучення з коефіцієнтом сполучення 1. Характеристиками удару прийнято технологічні параметри роботи печі, а саме:

- кількість обертів печі – 1,11 об/хв (формує періодичність дії ударного навантаження);
- діаметр печі – 5,5 м;
- продуктивність печі – 1200 т/добу, 50 т/год, 0,83 т/хв;
- ваги сировини – 183,56 т/оп., 7,06 т/м.п.;
- корпус печі – 727,900 т (4,3 т/м.п.);
- технологічне обладнання та корпус печі – 38 + 111,8 = 149,8 т/оп.;
- бандаж – 38,38 т/оп.;
- опорні ролики – 9,353 т/оп.;
- привід печі – 202,47 т;
- зубчасте кільце – 51,8 т;

Крім того, розрахунок, який проводився на одноразовий ударний імпульс у 3000 кг·см, спричинений гальмуванням приводу в момент зупинки печі.

Усі навантаження приведено до розподілених за площею опорних конструкцій.

**Статичний та динамічний розрахунок опор обертових печей** виконували за допомогою програмного комплексу Ліра версії 9.6.

Усі навантаження, що діють, розділено на такі завантаження:

Завантаження 1: власна вага опори печі (враховували в автоматичному режимі на основі геометричних та фізичних характеристик перерізів), вага приводу печі, вага опорних роликів.

Завантаження 2: вага корпусу печі, технологічного обладнання, зубчастого кільця, бандажу.

Завантаження 3: вага сировини.

Завантаження 4: ударне багаторазове повторне з миттєвим прикладанням зусиль.

Через відсутність інформації про частотні характеристики навантаження (адже обладнання працює з відхиленням від технологічного регламенту) та форми можливого коливального впливу – було враховано період повтору – 67 сек., та 4 форму коливання.

Усі навантаження (крім власної ваги опори) прикладено в рівні верху плити у вигляді штампуг навантаження, що відповідає опорній зоні конструкцій технологічного обладнання печі, зокрема приводу печі, опорного ролика та зубчастого кільця.

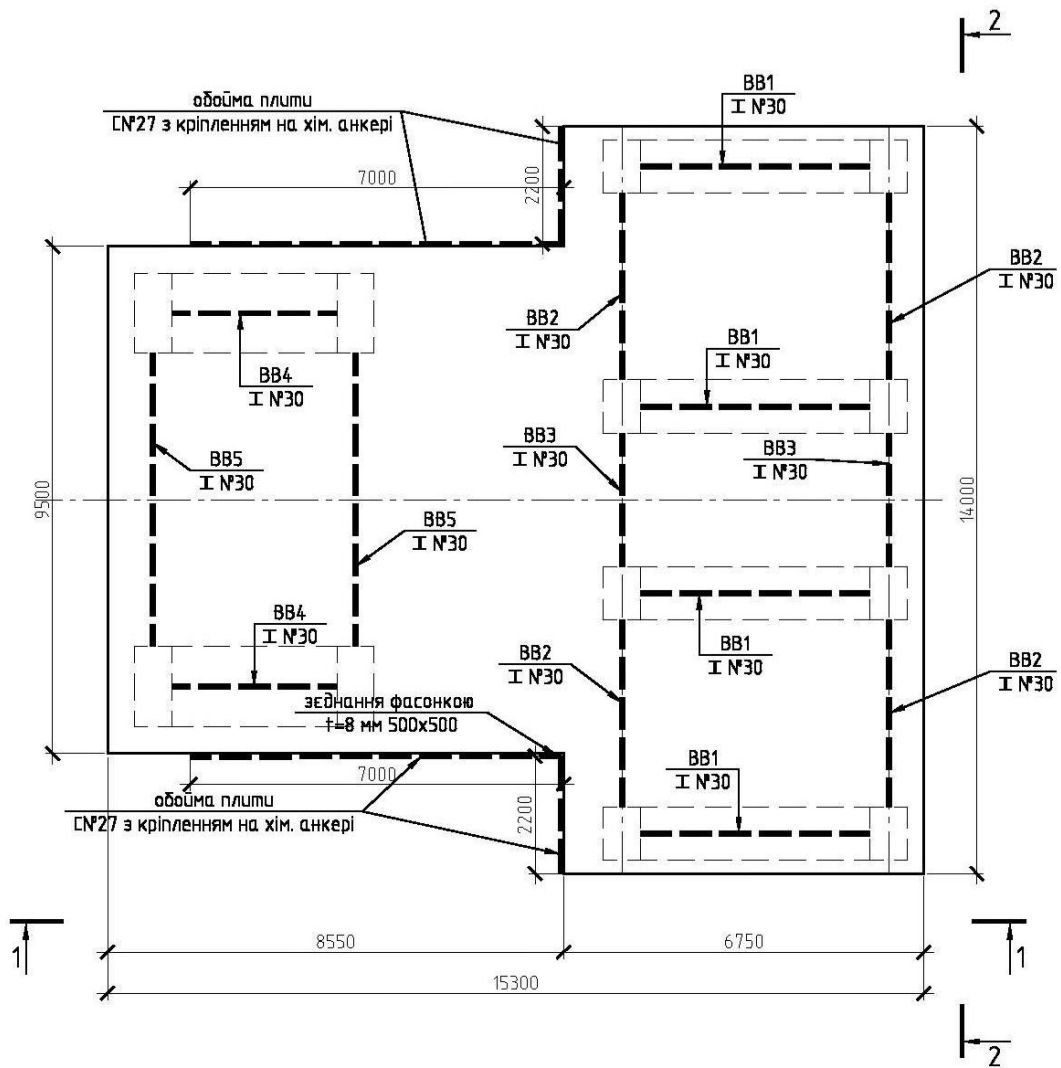


Рис. 10. Схема підсилення конструкції опори.

### Рекомендації з конструктивного підсилення конструкції приводної опори обертової печі

Пошкоджені ділянки бетону нижньої зони плити, колон та ригелів – ретельно очистити, зняти стару фарбу, знежирити, арматуру очистити від іржі, утворені ніші, заробити розчином Sika MonoTop-614 або Drizoro Maxgrite 500 методом торкретування, або ручним нанесенням із дотриманням технології виробника суміші.

Наскрізнi проникні тріщини в бетоні верхньої зони плити очистити від мастил та заповнити розчинами типу Sika MonoTop-614 або Drizoro

Махrite 500 із подальшим заповненням еластичним герметиком із влаштуванням деформаційного шва із жерстяною накладкою згідно з наведеним вузлом.

Кріплення металевих анкерів у бетоні виконувати на системі хімічних анкерів фірми Hilti типу Hit-HVZ зі шпилькою M20x170 та M16x105 виготовлених зі сталі 5.8.

Для уникнення руйнування стійок (колон) опор печей вживають заходів із перерозподілу зусиль: у просторових в'язевих блоках влаштовують траверси з перехресних розпірок, що виконані з парних швелерів №30, що кріпляться до стійок через обойми з листової сталі.

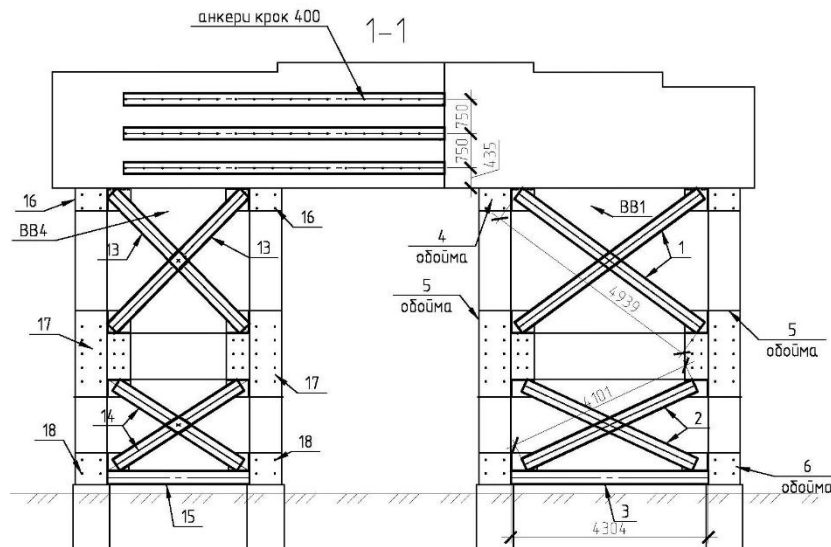


Рис. 11. Розріз 1-1.

**Висновки.** На основі проведених розрахунків та отриманих результатів можна дійти таких висновків:

- конструкція опор печі зазнає значних коливальних навантажень унаслідок зносу технологічного обладнання;
- загальний коефіцієнт запасу стійкості конструкцій знаходиться в межах безпечної експлуатації та становить 2,7979;
- для підвищення надійності роботи печі до заміни або ремонту обладнання варто вжити заходів із перерозподілу зусиль;
- проведені розрахунки вказують на те, що динамічні навантаження не призведуть до руйнування конструкцій під час вживання заходів із підсилення;

- коливальні рухи верху плити опори внаслідок дії ударних навантажень після підсилення не зникнуть, а лише перерозподіляться на основу, якою слугує фундаментна плита;

- для зниження рівня ударних навантажень належить використати демпферні пристрої, що влаштовують у зонах обпирання технологічного обладнання.

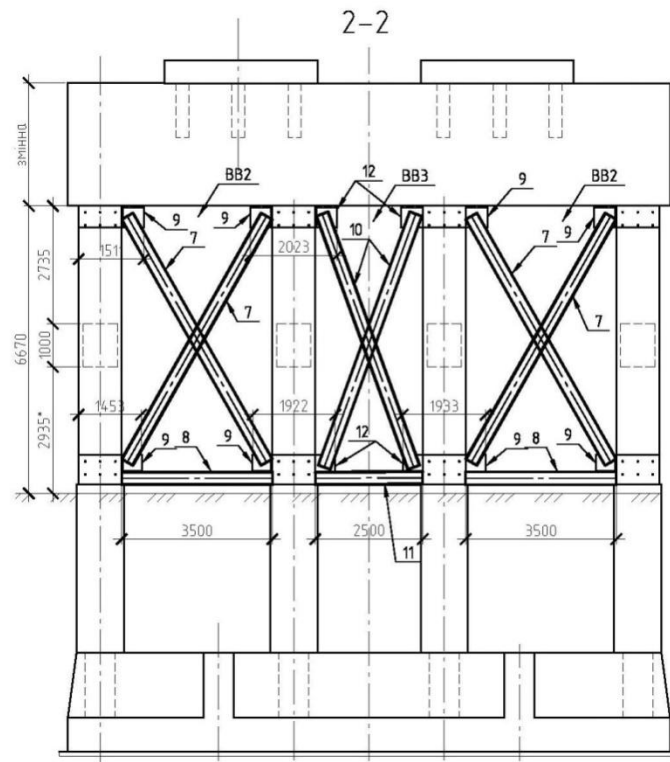


Рис. 12. Розріз 2-2.

#### Бібліографічний список

1. ДБН В.1.2-1-95 Положення про розслідування причин аварій (обвалень) будівель, споруд, їх частин та конструктивних елементів / Державний комітет України у справах будівництва і архітектури. – К., 1995. – С. 22.
- СТТУ БС 01 – 03 Стандарт. Обстеження і оцінка технічного стану будівель і споруд. Організація і виконання робіт. Асоціація незалежних експертів України "Укрексперт", 2003. – 37 с.
- ДБН В.1.2.2:2006 Навантаження і впливи. Норми проектування. – К. : Мінбуд України, 2006. – С. 79.
- ДСТУ Б.В.2.6-145:2010 Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії. Загальні технічні вимоги. – К. : Мінрегіонбуд України, 2010. – 51 с.
- ДСТУ Б.В.2.6-156:2010 Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні

конструкції з важкого бетону. Правила проектування. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – С. 118.

Григорчук А.Б. Оцінка напружено-деформованого стану згинальних залізобетонних елементів при дії малоциклового знакозмінного навантаження з використанням ПК «ЛІРА» / А. Б. Григорчук // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – К. : В-во Національного університету водного господарства та природокористування, 2011. – Вип. 22. – С. 272-277.

**Караван В., Григорчук А. Оцінка експлуатаційної придатності залізобетонних опор обертових печей**

Подано результати обстеження, розрахунку та підсилення залізобетонних конструкцій опор обертових печей.

**Ключові слова:** залізобетон, тріщина, розчин, перекриття, колона, фундамент, в'язь.

**Caravan V., Grigorchuk A. Estimation of serviceability of reinforce-concrete supports of circulating stoves**

The brought results overofinspection, calculation and strengthening of reinforce-concrete constructions of supports of circulatingst oves.

**Key words:** reinforcedconcrete, crack, mortar, ceiling, column, foundation, connection.

**Караван В., Григорчук А. Оценка эксплуатационной пригодности железобетонных конструкций опор оборотных печей**

Приведены результаты обследования, расчета и усиления железобетонных конструкций опор оборотных печей.

**Ключевые слова:** железобетон, трещина, раствор, перекритие, колона, фундамент, связи.