

**УДК 624.012.25:539.386**

**ОБСТЕЖЕННЯ ТА ПІДСИЛЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ОПОР  
ОБОРТОВИХ ПЕЧЕЙ ПАТ «ВОЛИНЬ-ЦЕМЕНТ»**

**ОБСЛЕДОВАНИЕ И УСИЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОПОР  
ОБОРОТНЫХ ПЕЧЕЙ ЧАО «ВОЛЫНЬ-ЦЕМЕНТ»**

**SURVEY AND STRENGTHENING REINFORCED CONCRETE  
SUPPORTS ROTARY KILNS PJSC "VOLYN-CEMENT"**

**Борисюк О.П., к.т.н., Григорчук А.Б., к.т.н., Караван В.В., к.т.н.,  
Філіпчук С.В., к.т.н.** (Національний університет водного господарства та  
природокористування, м. Рівне)

**Борысюк О.П., к.т.н., Грыгорчук А.Б., к.т.н., Караван В.В., к.т.н.,  
Филипчук С.В., к.т.н.** (Национальный университет водного хозяйства и  
природоиспользования, г. Ровно)

**Borisyuk O.P., candidate of technical sciences, Grygorchuk A.B., candidate of  
technical sciences, Karavan V.V., candidate of technical sciences, Filipchuk  
S.V., candidate of technical sciences** (National university of water management  
and nature resources use, Rivne)

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

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

**The results of the survey, calculation and strengthening of reinforced concrete  
structures supports circulating ovens.**

**Ключові слова:**

Залізобетон, тріщина, розчин, перекриття, колона, фундамент, в'язь.

Железобетон, трещина, раствор, перекрытие, колона, фундамент, связь.

Reinforced concrete, crack, mortar, ceiling, column, foundation, connection.

**Обстежувались опори обертових печей П № 4, 5, 6 для випалювання  
сировинної суміші до спікання в 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 в осях складає 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 (рис. 1).



Фото. 1. Загальний вигляд опор обертових печей

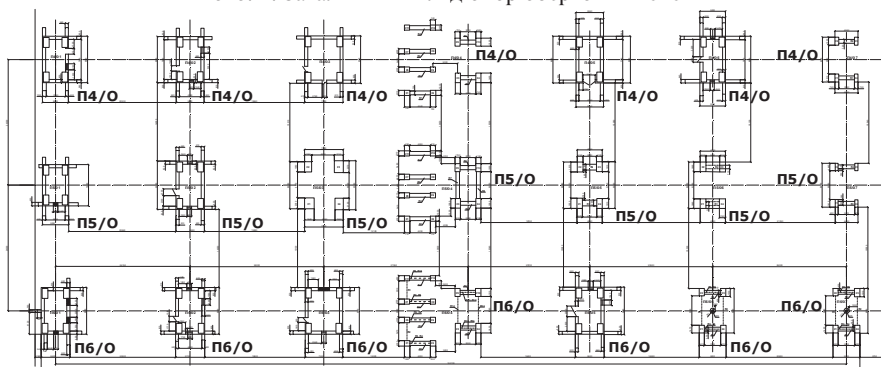


Рис. 2. Обертові печі в плані

Залізобетонні монолітні опори П6/О1, П6/О2, П6/О3, П6/О5, П5/О1, П5/О2, П4/О1, П4/О2, П4/О3, П4/О5, П4/О6 (рис. 1, 2, 4) складаються з наступних конструктивних елементів: монолітної залізобетонної фундаментної плити товщиною 800 мм, низ якої заглиблений на відстань 3,78, 6, 8,5 м від поверхні землі та розмірами в плані 9×12, 10×15(7, 12), 11×14 м; залізобетонних колон перерізом 1500×1000 мм підсилених сталевими кутиками  $\perp$  125×100×14 та арматурними стержнями (залізобетонна обойма); монолітного балочного перекриття висотою 2000 мм, що складається з балок шириною 700 мм та плити, яка їх об'єднує товщиною

500 мм; монолітних залізобетонних стін з контрфорсами, влаштованих по периметру опор, товщиною 600 мм.

Залізобетонні монолітні опори П6/О4, П5/О4, П4/О4 (рис. 1, 2, 3, 6, 9) складаються з наступних конструктивних елементів: монолітної залізобетонної фундаментної плити товщиною 800 мм, низ якої заглиблений на глибину 6 м від поверхні та розмірами в плані 14×17 м; залізобетонних колон перерізом 700×1000(1300) мм посилених сталевими кутиками  $\perp$  150×100×14 та арматурними стержнями об'ємні Ø25 та Ø40 А-ІІ (рис. 7); ригелів між колонами перерізом 700×1000(1300) мм; металевих хрестових в'язів в опорі П6/О4 (рис. 1, 3) зі швелера №30; монолітного ребристого перекриття висотою 400 мм, що складається з балок шириною 250 мм з кроком 1100...2000 мм та плити, яка їх об'єднує товщиною 100 мм; монолітної верхньої плити (рис. 3, 6, 9) перемінної товщини 2200...3270 мм.



Фото. 3. Опора П6/О4

Опора П5/О3 (рис. 1, 2) складається з таких конструкцій: монолітної фундаментної плити товщиною 800 мм та розмірами в плані 10×12 м; залізобетонних підсиленних колон фактичним перерізом 1390...2270 мм; монолітної ребристої верхньої плити висотою 2000 мм, що складається з балок шириною 500 та 700 мм і плити товщиною 500 мм (рис. 11).

Залізобетонні опори П6/О6, П6/О7 (рис. 1, 2, 12) складаються з монолітної фундаментної плити товщиною 700 мм та розмірами в плані 10×12(6) м; підсиленних колон перерізом 1000×1500 мм; металевих хрестових в'язів зі швелера №30; металеві стійки з труби Ø 377 мм, розташовані в центрі опори і на яку спирається балка верхньої монолітної плити; ригелів між колонами перерізом 700×1000 мм; монолітної ребристої верхньої плити висотою 2000 мм.

Залізобетонні монолітні опори П5/О5, П5/О6, П5/О7, П4/О7 (рис. 2, 13) складаються з наступних конструктивних елементів: фундаментної плити

товщиною 800 мм та розмірами в плані 12×10(9) м; підсилених колон перерізом 700×1500, 1100×1900 мм; ригелів між колонами таврового перерізу 1000×1500(700); 1300×1880 мм; монолітної ребристої верхньої плити.

**Міцність бетону** визначалась приладом ОНИКС-2.5 безпосередньо на об'єкті. Вимірювання проводились по всім конструктивним елементам опор, в різних їх місцях, кількість вимірювань по кожній точці становила на менше п'яти. Робота з приладом ОНИКС-2.5 передбачала ретельного добору, очищення та підготовки поверхні конструкції. Клас бетону конструкцій опор під обертові печі №4, 5, 6 становить в середньому В30.

За результатами візуально-інструментального обстеження конструкцій опор обертових печей були встановлені основні дефекти і пошкодження, що впливають на їх несучу здатність та можливість подальшої нормальної експлуатації. Залізобетонні опори П6/О1, П6/О2, П6/О3, П6/О5, П5/О1, П5/О2, П4/О1, П4/О2, П4/О3, П4/О5, П4/О6 мають наступні основні дефекти монолітного залізобетону: нерівності та грубі пористі шви, напливи і виступи бетону, що пов'язано з використанням неструганого дерев'яної опалубки з дощок й щитів, а також перерв при бетонуванні (рис. 4); не площинність поверхні викликана недосконалістю опалубки; прошарки сміття, ґрунту в місцях примикання стін і контрфорсів до поверхні землі; у великій кількості пори, раковини, каверни та чарунки, неоднорідність бетону спричинені низькою якістю виконання будівельних робіт, виготовлення, ущільнення та укладання бетонної суміші тощо (рис. 4); пустоти, утворені в результаті зависання бетону на арматурі та недостатньому ущільненні бетонної суміші; усадочні тріщини, викликані відсутністю догляду за бетоном; тріщини спричинені перервами в бетонуванні; оголення та корозія арматури, як наслідок недостатнього захисного шару бетону, наявності пор і раковин тощо; руйнування бетону викликаного корозією арматури і механічними пошкодженнями. В опорах залишилась замоноліченою частина опалубки.



Рис. 4. Дефекти і пошкодження опори П6/О2: 3-тріщини, 4-оголена (корозія) арматури, 5-відшарування (руйнування) бетону, 6-пори, раковини

Наявні дефекти і пошкодження конструкцій опор П6/О1, П6/О2, П6/О3, П6/О5, П5/О1, П5/О2, П4/О1, П4/О2, П4/О3, П4/О5, П4/О6 суттєво не зменшують несучу здатність споруд і потребують заходів для їх усунення, а саме: шліфування (очищення) та вирівнювання поверхні, затирання і торкретування бетонною сумішшю по закріпленій сітці «Рабиця».

Залізобетонні опори П6/О4, П5/О4, П4/О4 окрім зазначених вище дефектів характерних для монолітного залізобетону мають пошкодження, що суттєво знижують їх несучу здатність, жорсткість та придатність до нормальної експлуатації (рис. 5 – 9).

Залізобетонні колони опори П6/О4 (рис. 3) мають значні зколи бетону, місцями на ділянках оголена арматура, присутні поздовжні тріщини з корозією робочої арматури, бетон верхньої частини частково зруйнований (рис. 5). В монолітному ребристому перекритті присутні пошкодження у вигляді зколів, вибоїн та зруйнованого бетону, в цих місцях арматура оголена і зазнає корозії, для робочої арматура на ділянках недотриманий захисний шар бетону. Верхня монолітна плита має місцеві зколи та відшарування бетону, тріщини, присутні ділянки в нижній зоні плити та по її боковому периметру з оголеною робочою арматурою, що зазнає корозії та корозії (руйнування) самого бетону (рис. 5) внаслідок дії навколишнього середовища і 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 (рис. 5).



Фото. 5. Руйнування бетону плити та колони опори П6/О4

Залізобетонні колони опори П5/О4 мають зколи бетону, в місці обпирання верхньої плити переріз колон зруйнований, арматура оголена і піддається корозії, бетон колон зазнав корозії внаслідок агресивної дії проникаючого мастила та зовнішнього середовища (рис. 6, 7). Одна з колон (рис. 6) споруди при значних пошкодженнях не є підсиленою. Ділянка монолітного ребристого перекриття опори зазнала агресивного впливу мастила, що просочилося крізь нього, суттєво зменшивши при цьому міцність бетону.



Рис. 6. Дефекти і пошкодження опори П5/04: 1- зколи бетону, 2-корозія та руйнування бетону, 3-тріщини, 4-оголена (корозія) арматури



Фото. 7. Обпирання плити на колону опори П5/04

Верхня монолітна плита має місцеві зколи та відшарування бетону, великі ділянки з корозійним пошкодженням бетону, а також наскрізні поздовжні та поперечні тріщини по всій довжині плити, робоча арматура в нижній зоні плити оголена та зазнає корозії, бетон відшарувався та на багатьох ділянках втратив міцність внаслідок корозії та дії мастила (рис. 7, 8).



Фото. 8. Тріщини у нижній зоні верхньої плити опори П5/О4  
Залізобетонні колони та ребристе перекриття опори П4/О4 (рис. 9) мають ті ж дефекти і пошкодження, що й в опорах П5/О4 та П6/О4.



Рис. 9. Дефекти і пошкодження опори П4/О4: 1- зколи бетону, 2-корозія та руйнування бетону, 3-тріщини, 4-оголена (корозія) арматури

Дефекти і пошкодження верхньої монолітної плити опори П4/О4 ті ж, що й плит опор П5/О4 та П6/О4, карта дефектів наведена на рис. 10. Відмітимо, що характер тріщиноутворення в плиті П4/О4 багато в чому співпадає з плитою опори П5/О4, що пов'язано з незабезпеченістю загальної жорсткості і стійкості споруди від діючих навантажень та відсутністю в'язів по них.



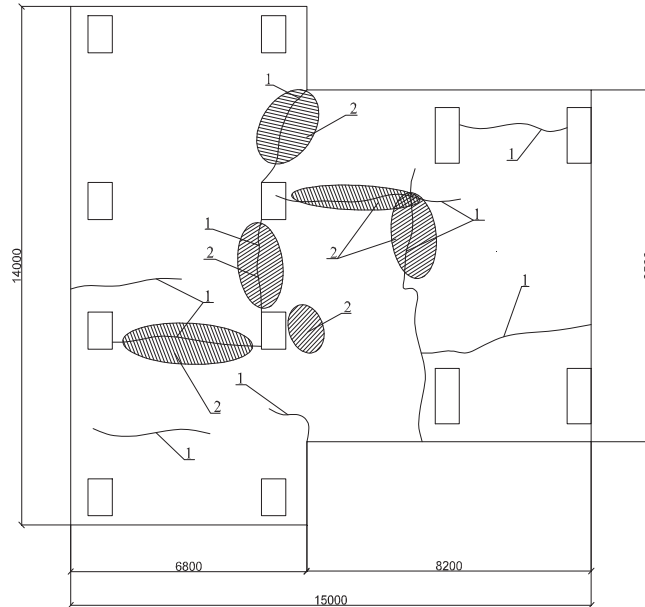


Рис. 10. Карта дефектів нижньої зони плити опори П4/О4

1-тріщини в плиті; 2-зруйнований бетон, оголена (корозія) арматури, корозія бетону

Залізобетонна опора П5/О3 має у великій кількості характерні для монолітного залізобетону дефекти: пори, раковини, не площинність поверхні, відхилення геометричних розмірів від проектних, напливи та виступи бетону, зколи, тощо. Балки в опорних зонах по висоті мають ділянки зруйнованого бетону. В нижній розтягнутій зоні монолітної плити наявні тріщини (рис. 11).

Конструкції опор П6/О6, П6/О7 (рис. 12) та П5/О5, П5/О6, П5/О7, П4/О7 (рис. 13), як і інших опор під обертові печі, мають у великій кількості загальні дефекти монолітного залізобетону зазначені вище. В колонах присутні поздовжні та поперечні тріщини, внаслідок чого відбувається корозія арматури залізобетонної обойми підсилення та руйнування (зколи, відшарування) бетону (рис. 12, 13). Обойма підсилення колон опори П5/О5 є незавершеною, випущена арматура зазнала корозії. Ригелі опор мають значні пошкодження у вигляді тріщин та зколів; об'ємних ділянок з порами і раковинами в бетоні, а також оголеної арматури, що зазнає корозії (рис. 12, 13). В нижній зоні плити опор П6/О7, П5/О5, П5/О6 наявні тріщини, оголена робоча арматура та відбувається її корозія внаслідок недостатнього захисного шару бетону та великої кількості пор і раковин. В опорних зонах балок присутні в значній кількості і об'ємах виколи, пори, раковини, пустоти з корозією матеріалів. В нижній зоні балок опори П5/О5 бетон погано ущільнений в результаті чого утворилися пустоти та раковини, арматура та бетон зазнає значної корозії. В балках опори П5/О7 в нижній розтягнутій зоні присутні поздовжні тріщини на рівні робочої арматури.



Рис. 11. Дефекти і пошкодження плити П5/О3: 1- золи бетону, 2-корозія та руйнування бетону, 3-тріщини, 4-оголена (корозія) арматури, 6-пори, раковини бетону



Рис. 12. Дефекти і пошкодження опори П6/О6: 1- золи бетону, 3-тріщини, 4-оголена (корозія) арматури

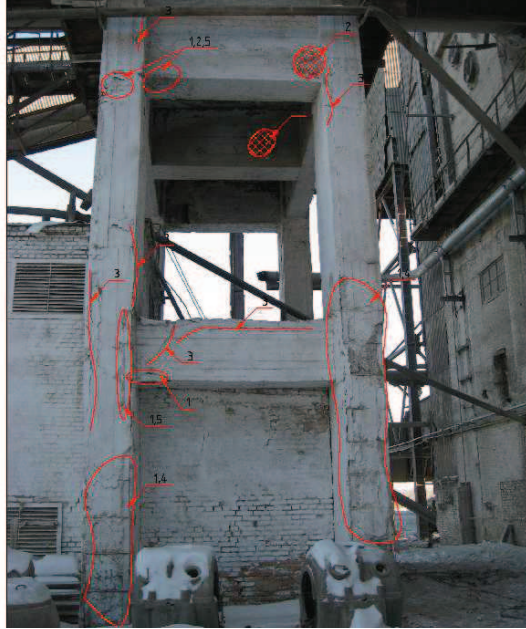


Рис. 13. Дефекти і пошкодження опори П4/О7: 1- зруйнований бетон, 2-корозія та руйнування бетону, 3-тріщини, 4-оголена (корозія) арматури, 5-відшарування бетону

За результатами візуально-інструментального обстеження опор під обертові печі визначили технічний стан конструкцій, а за ним і технічний стан споруд опор залежно від ступеня пошкодження та наявних дефектів. Відмітимо, що характер деформацій і розвитку тріщин в конструкціях опор не вказував на просідання основ і фундаментів та на їх ненадійний стан. Технічний стан опор П6/О6, П6/О7, П5/О3, П5/О4, П5/О5, П5/О6, П5/О7, П4/О7 під обертові печі – не придатний до нормальної експлуатації, а конструкції вимагають заходів по підсиленню та відновленню їх експлуатаційних властивостей.

Підсумком робіт з обстеження було розроблення рекомендацій по підсиленню залізобетонних опор печей. Необхідним є запобігти протіканню мастила від механізмів обертових печей та потрапляння його на конструкції опор, а в подальшому їх заміна для зменшення вібрації на опори. Для опор П6/О1, П6/О2, П6/О3, П6/О5, П5/О1, П5/О2, П4/О1, П4/О2, П4/О3, П4/О5, П4/О6 рекомендується вирівняти та очистити бетонну поверхню монолітних стін і контрфорсів від пилу, бруду, зруйнованого бетону, закріпити металеву сітку «Рабиця», після чого нанести торкретуванням бетонну суміш товщиною 25...30 мм. Для конструкцій опор П5/О3, П5/О5, П5/О6, П5/О7, П4/О7, П6/О6, П6/О7 необхідним є виконання наступних заходів:

- зруйнований бетон обойми підсилення колон видалити, оголену сталь (арматуру) обойми очистити від корозії, поверхню бетону зачистити,

закріпити сітку «Рабиця» з дроту Ø5(4) мм і розміром чарунок 50×50 (60×60) мм до сталевих кутиків обійми (бетону) та виконати бетонування шляхом торкретування суміші;

- для колон опор виконати (завершити) роботи по влаштуванню залізобетонної обійми з доведенням її до рівня монолітної плити (балки). Перед виконанням робіт збити верхній шар бетону, оголивши під з'єднання арматурні стержні на довжину 700 мм. Очистити «старий» бетон від бруду, пилу, зруйнованих часток, очистити існуючу арматуру від корозії та з'єднати з нею (в'язаний каркас) нову арматуру обійми Ø25 A400C, в якості поперечної арматури – хомути Ø8...10 A240C з кроком 500 мм. Бетонування виконати з застосуванням опалубки;

- поверхню колон з пустотами і значними ділянками пор та раковин необхідно очистити й виконати торкретування бетонною або цементно-піщаною сумішшю;

- очистити залізобетонні ригелі та балки опор від зруйнованого і ушкодженого бетону до робочої арматури, обмотати сітку «Рабиця» навколо арматури (перерізу) конструкцій з наступним їх обетонуванням шляхом торкретування бетонної суміші. Для запобігання корозії арматури ділянки ригелів та балок зі значними ушкодженнями порами і раковинами заробити цементно-піщаним розчином;

- для монолітної плити опор з тріщинами в нижній зоні та недостатнім захисним шаром бетону і ознаками корозії арматури і бетону в нижній зоні плити влаштувати додатковий захисний шар у вигляді цементного торкрет-розчину на клейкій основі. Рекомендується підсилити нижню зону плити з тріщинами опори П5/О3 полотном КМС Sika Wrap-231C шириною 600 мм і товщиною 0,129 мм, перед цим очистивши поверхню плити від пошкодженого бетону та підготувавши її до наклеювання композитних матеріалів за технологією фірми Sika-Україна.

Опора П5/О4 потребує підсилення шляхом влаштування металевих в'язів по колонам споруди, підсилення самих залізобетонних колон, а також скріплення (обв'язки) монолітної плити по її торцям. Роботи по підсиленню передбачають також очищення та зняття шару ушкодженого бетону верхньої і нижньої зони, заробку тріщин в 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 і верхньої зони монолітної плити, після чого виконати торкретування бетонної поверхні плити розчином на клейкій основі. Для опори П4/О4 рекомендується у випадку збільшення вібрації влаштування металевих вертикальних в'язів по колонам за схемою та рекомендаціями як для опори П5/О4.

Всі заходи по підсиленню монолітних залізобетонних опор обертових печей виконувати під час їхньої зупинки на ремонтні роботи.

### Збір навантажень на опори обертових печей

Згідно ДБН В.1.2.2:2006 «Навантаження і впливи. Норми проектування» - прийнято наступні види навантажень на опори печей: а) постійні навантаження, б) змінні навантаження, в) епізодичні навантаження. До постійних навантажень віднесено власну вагу елементів опор та вагу технологічного обладнання

До змінних навантажень віднесено частину технологічного обладнання та вагу сировини. Вагу сировини прийнято із розрахунку добової продуктивності – 1200 т.

До епізодичних віднесено динамічні навантаження, що викликані порушенням технологічного процесу, несправністю обладнання, падінням сировини в печах.

Схеми навантажень на опори наведено на рис. 14. Числові значення навантажень приведено у табл. 1.

При 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 оборот/хвилину (формує періодичність дії ударного навантаження)
- Діаметр печі – 5,5 м.
- Продуктивність печі – 1200 т/добу, 50 т/годину, 0,83 т/хвилину
- Вага сировини – 183,56 т/опору, 7,06 т/м.п.
- Корпус печі – 727,900 т (4,3 т/м.п.)
- Технологічного обладнання та корпусу печі –  $38 + 111,8 = 149,8$  т/опору
- Бандаж – 38,38 т/опору
- Опорні ролики – 9,353 т/опору
- Привід печі – 202,47 т
- Зубчасте кільце – 51,8 т

Крім того розрахунок проводився на однократний ударний імпульс в 3000 кг·см викликаний гальмуванням приводу в момент зупинки печі.

Таблиця 1

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. | -    |

Всі навантаження приведено до розподілених по площі опорних конструкцій.

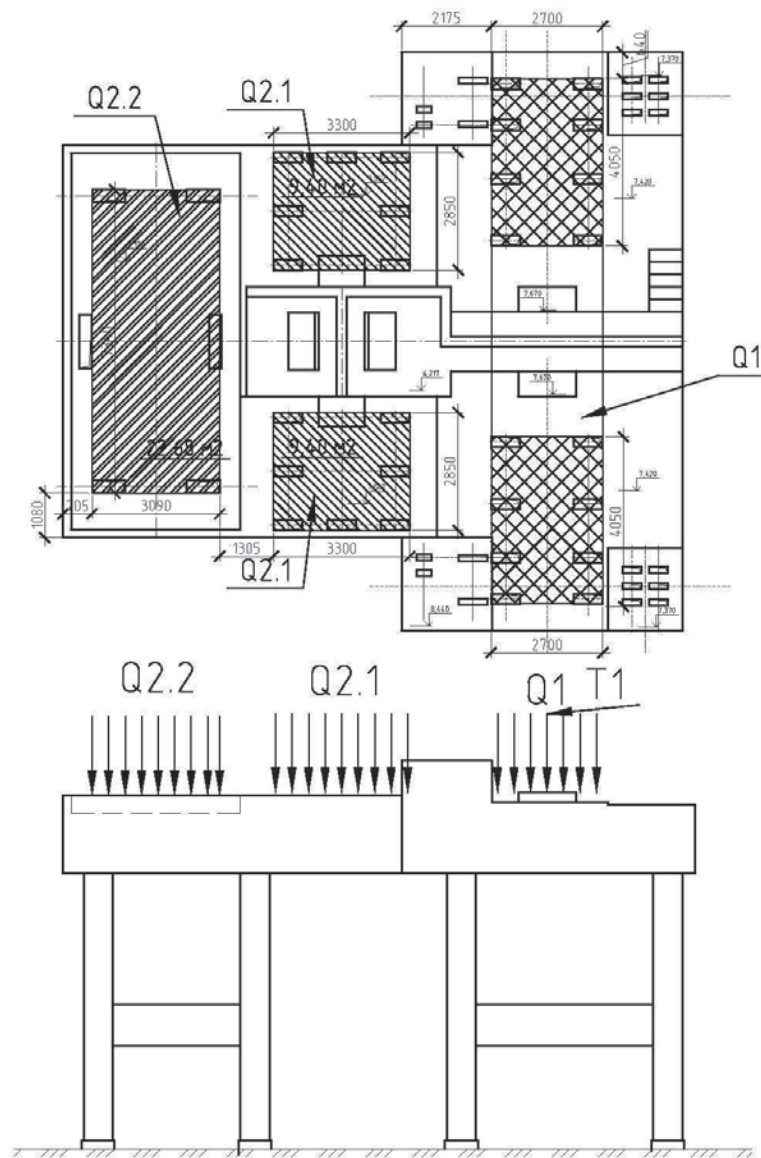


Рис. 14. Схема навантаження на опору

### Статичний та динамічний розрахунок опор обертових печей

Розрахунок виконувався за допомогою програмного комплексу Ліра версії 9.6.

Всі навантаження, що діють, розділено на наступні завантаження:

Завантаження 1: власна вага опори печі (враховувалась 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.

Всі навантаження (крім власної ваги опори) прикладено в рівні верху плити у вигляді штампів навантаження, що відповідає опорній зоні конструкції технологічного обладнання печі, зокрема приводу печі, опорного ролику та зубчастого кільця.

Схеми завантажень наведено на рис. 15, 16, 17, 18.

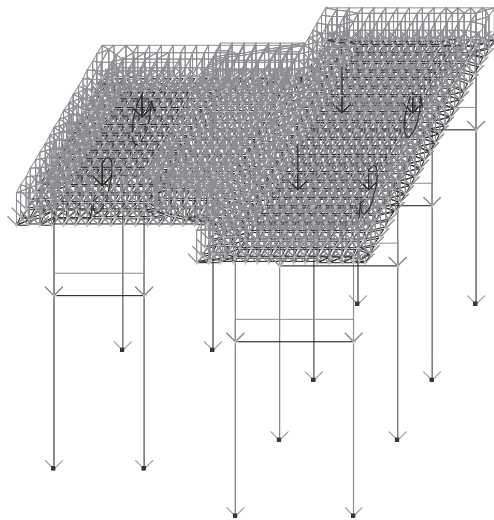


Рис. 15 Схеми завантаження 1.

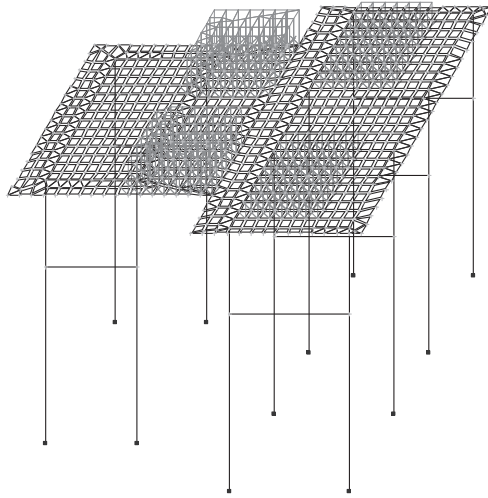


Рис. 16 Схема завантаження 2.

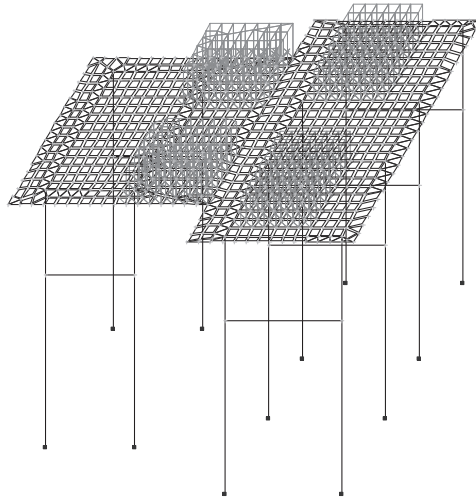


Рис. 17 Схема завантаження 3.



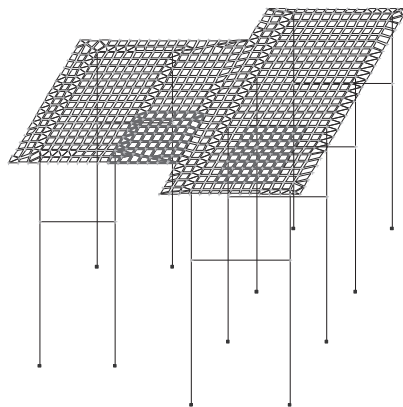


Рис. 18 Схема завантаження 4

#### Висновки.

На основі проведених розрахунків та отриманих результатів можна зробити наступні висновки:

1. Конструкція опор печі зазнає значних коливальних навантажень в наслідок зносу технологічного обладнання
2. Загальний запас стійкості конструкцій знаходиться в межах безпечної експлуатації.
3. Для підвищення надійності роботи печі до заміни або ремонту обладнання слід виконати заходи із перерозподілу зусиль.
4. Проведені розрахунки говорять про те, що динамічні навантаження не призведуть до руйнування конструкцій при виконанні заходів із підсилення.
5. Коливальні рухи верху плити опори в наслідок дії ударних навантажень після підсилення не зникнуть, а лише перерозподіляться на основи.
6. Для зниження рівня ударних навантажень слід використати демпферні пристрої.

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. – Київ: 1995 – С. 22. 2. СТТУ БС 01 – 03 Стандарт. Обстеження і оцінка технічного стану будівель і споруд. Організація і виконання робіт. 3. ДСТУ Б В.7-43-96 «Будівельні матеріали. Бетони важкі. Технічні умови». 4. ДБН В.1.2.2:2006 Навантаження і впливи. Норми проектування. Мінбуд України. – Київ: 2006 – С. 79. 5. ДСТУ Б.В.2.6-156:2010 Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. Мінрегіонбуд України. – Київ: 2011 – С. 118. 6. ДСТУ Б.В.2.6-145:2010 «Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії. Загальні технічні вимоги». 7. ДБН В.2.6 – 98:2009 «Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення». 8. ДСТУ Б.В.2.6-7-95 «Конструкції будинків і споруд. Конструкції і виробли бетонні та залізобетонні. Методи випробувань і оцінка міцності, жорсткості і тріщиностійкості».