

УДК 624.012

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА ПІДСИЛЕННЯ
ФУНДАМЕНТУ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНОГО АГРЕГАТУ
КОМПРЕСОРНОГО ЦЕХУ ПІДЗЕМНОГО ГАЗОСХОВИЩА**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И УСИЛЕНИЕ
ФУНДАМЕНТА ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩЕГО АГРЕГАТА
КОМПРЕССОРНОГО ЦЕХА ПОДЗЕМНОГО ГАЗОХРАНИЛИЩА**

**THE INVESTIGATION OF TECHNICAL STATE AND
STRENGTHENING OF THE FOUNDATION FOR GAS PUMP
AGGREGATE OF THE COMPRESSOR DEPARTMENT OF THE
UNDERGROUND GAS STORAGE**

Кваша В.Г. д.т.н., проф., Салійчук Л.В., к.т.н., с.н.с. (Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів)

Кваша В.Г., д.т.н., проф., Салийчук к.т.н., с.н.с. (Национальный университет «Львовская политехника», г. Львов)

Kvasha V.G., doctor of technical sciences, professor, Saliychuk L.V. candidate of technical sciences, senior research fellow (Lviv Polytechnic National University, Lviv)

Представлені результати обстеження фундаментів під газоперекачувальні агрегати, причини виникнення в них температурно-усадочних тріщин, аналіз їх впливу на експлуатаційні показники фундаментів та конструктивні рішення з підсилення цих фундаментів.

Представлены результаты обследования фундаментов под газоперекачивающие агрегаты, причины возникновения в них температурно-усадочных трещин, анализ их влияния на эксплуатационные показатели фундаментов и конструктивные решения по усилению этих фундаментов.

The results of examination of the foundation for gas pump aggregate; the causes of appearance of the temperature and shrinkage cracks; the analysis of their influence on exploitation parameters of the foundation and the constructive solutions for strengthening of the foundation are presented.

Ключові слова:

Фундамент під газоперекачувальний агрегат, експлуатаційний стан, температурно-усадочні тріщини, міцність, жорсткість, довговічність.

Фундамент под газоперекачивающий агрегат, эксплуатационное состояние,

температурно-усадочные трещины, прочность, жесткость, долговечность, The foundation for gas pump aggregate, the exploitation state, the temperature and shrinkage cracks, strength, inflexibility, durability.

Вступ. Мета роботи. В Західному регіоні України з 60-х років минулого століття знаходиться в експлуатації декілька потужних підземних сховищ зберігання природного газу, створених на базі колишніх, вироблених на даний час газових родовищ після відбирання з них покладів природного газу та припинення їх експлуатації (наприклад: газопроводи Дашава-Київ-Москва; Дашава-Мінськ, та ін.). За об'ємом ці газосховища здатні вміщати сотні млн.м³ газу. Вони забезпечують вирівнювання сезонної нерівномірності споживання газу як в Україні, так і в країнах Євросоюзу. В літній період, коли споживання газу різко зменшується, його накопичують, а зимою, коли потреба у газі різко зростає, його зі сховищ відбирають і транспортують споживачам.

Пристосування залишених після відбирання покладів газу порожнин під підземні газосховища зводиться до встановлення додаткового обладнання, ремонту існуючих свердловин, прокладання необхідних комунікацій та створення обслуговуючої надzemної інфраструктури, основною складовою якої є газоперекачувальні і газокомпресорні цехи і станції, оснащені потужним компресорним устаткуванням для відбирання газу з газотранспортної системи в літній період надлишкової її продуктивності і закачування його в підземні сховища.

Основні технологічні параметри виробничих комплексів з відбирання і закачування газу: продуктивність, ступінь стискування газу і максимальний робочий тиск забезпечуються нормальним режимом роботи газоперекачувальних і компресорних установок, які є основним технологічним обладнанням цехів і станцій. В свою чергу нормальний режим їх роботи в значній мірі залежить від силової взаємодії системи «Машина-фундамент» та експлуатаційного стану останнього, наявності в ньому дефектів і ушкоджень, що виникли при будівництві або в процесі тривалого періоду експлуатації [1].

Найчастіше з різних причин суцільний масив фундаменту розривають тріщини різного походження, внаслідок чого частина його маси повністю або частково виключається з роботи, а працюча частина не компенсує динамічної складової навантажень від машини, що в свою чергу негативно впливає на режим її роботи і порушує умови нормальнної експлуатації. Різке збільшення амплітуди коливань внаслідок зменшення працюючої маси фундаменту може спричинити аварійний стан самої машини.

Причиною виконання комплексу робіт з обстеження фундаментів під газоперекачувальний агрегат ГПА-Ц-6,3 в одному з компресорних цехів підземного газосховища у Львівській обл. стала наявність на верхньому обрізі плити окремих фундаментів дефектів у вигляді сітки тріщин, які

утворились в процесі тужавіння бетону та були виявлені після закінчення робіт з влаштування фундаментів, що поставило під сумнів можливість їх нормальної експлуатації.

Тому метою даної роботи було встановлення характеру наявних тріщин і причин їх утворення, аналіз стану фундаментів з тріщинами, визначення їх впливу на несучу здатність і довговічність фундаментів, а також розробка рекомендацій з забезпечення нормальних умов роботи фундаментів з тріщинами та нормальної експлуатації газоперекачувальних агрегатів згідно з їх паспортними характеристиками.

Конструкція фундаменту. Характеристика газоперекачувального агрегату ГПА-Ц-63. Проект фундаментів під газоперекачувальний агрегат ГПА-Ц-63 розроблявся в складі першої черги облаштування Більче-Волицько-Угерського підземного газосховища. В конструктивному відношенні фундамент представляє собою монолітну зализобетонну слабо армовану плиту достатньо складної конфігурації в плані, яка визначається особливостями компонування і габаритами агрегату (рис. 1). Габаритні розміри фундаменту $14,7 \times 7,75$ м, товщина плити 1,24-1,89 м. По площі фундаменту передбачені канали глибиною до 0,9 м для встановлення закладних деталей, призначених для закріплення агрегатів до фундаменту. Матеріал фундаменту – бетон класу В15. Під підошвою влаштовується щебенева підготовка товщиною 100-150 мм просочена бітумом до повного насичення. Основою під фундамент служить слабо вивітрений гравійно-галковий ґрунт.

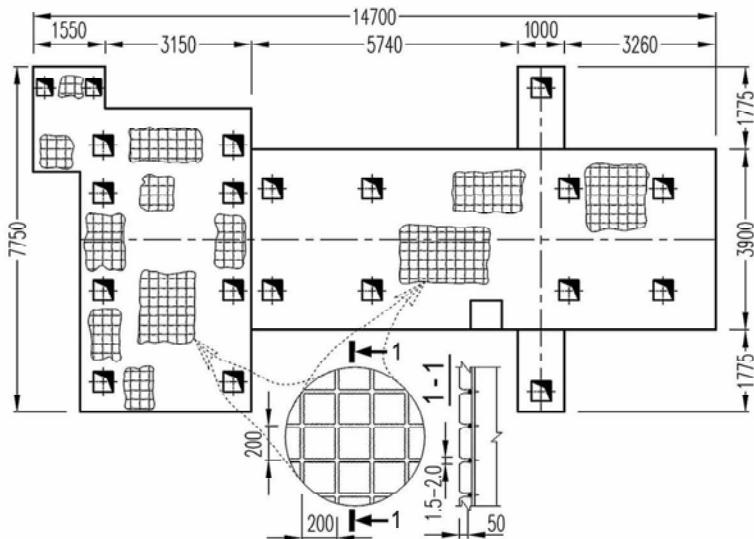


Рис. 1. План фундаменту та характер трічиноутворення на верхньому обрізі фундаментної плити

Плита фундаменту має загальне конструктивне армування у вигляді верхньої і нижньої в'язаних арматурних сіток з арматури Ø16 мм класу А-І, встановленої з кроком 200 мм в обох напрямках. Проектне положення сіток забезпечують за допомогою спеціальних фіксаторів. Захисний шар бетону становить 50 мм. В місцях розташування виступів в плиті і каналів передбачене додаткове місцеве армування фундаменту окремими стережнями.

Під опорні рами і станини вузлів газоперекачувального агрегату після його монтажу влаштовують підбетонку товщиною 200 мм з дрібнозернистого бетону класу В15. Додаткове армування підбетонованого шару не передбачене.

Газоперекачувальний агрегат ГПА-Ц-6,3 відноситься до типу машин періодичної дії, обертові частини яких здійснюють рівномірний обертовий рух. Такі машини відносяться до теоретично повністю врівноважених без інерційних сил від неврівноважених мас, що обертаються. Однак, через наявність випадкових ексцентриситетів обертових мас досягти її повного врівноваження не вдається і виникають випадкові відцентрові інерційні сили, які викликають коливання фундаментів. Ротори агрегату мають номінальну частоту обертання 8200 об/хв, тобто він відноситься до високочастотних машин. В практиці їх експлуатації випадків виникнення значних вібрацій масивних фундаментів не спостерігалось. Це пояснюється, з однієї сторони, відносно високою врівноваженістю рухомих вузлів машин, а з другої – значною різницею між низькими частотами власних коливань фундаменту і високими частотами збурюючих сил, що практично зводить до нуля можливість виникнення резонансу. Не зустрічаються також випадки виникнення значних вібрацій масивних фундаментів під машини розглядуваного типу незалежно від їх частотних характеристик, оскільки такі фундаменти мають настільки значну жорсткість, що амплітуди їх коливань навіть в умовах резонансу не перевищують допустимих границь. Тому розрахунки міцності і витривалості елементів фундаментів при проектуванні як правило не виконують [2], а їхні розміри і армування назначають конструктивно за габаритами машини та способу її закріплення до фундаменту.

Результати обстеження фундаментів. Обстеження фундаментів включало огляд їх стану в натурі, вивчення проектної і виконавчої документації, аналіз характеру розповсюдження наявних тріщин, встановлення причин їх виникнення та визначення ступеню впливу на експлуатаційні показники фундаментів – міцність, жорсткість і довговічність.

Як відмічали вище, в фундаментах №2 і №6 на рівні верхнього обрізу плити утворились поверхневі тріщини температурно-усадочного характеру. По площі верхнього обрізу фундаментної плити вони зосереджені на окремих, досить значних за розмірами ділянках і орієнтовані вздовж поздовжньої і поперечної арматури верхніх сіток (рис. 1). Ширина їх розкриття різна і на різних ділянках поверхні плити змінюється в широких

межах: від долей міліметра до 1,5-2,0 мм. В глибину тіла фундаментів тріщини розповсюджуються на товщину захисного шару верхніх арматурних сіток – 50 мм і частково вглиб нижче арматурних сіток на 20-30 мм, тобто загальна глибина проникнення тріщин може складати 70-80 мм.

Аналіз показав, що найбільш ймовірною причиною утворення тріщин описаного вище характеру є температурне видовження арматурних стержнів верхньої сітки, а також усадка бетону при його інтенсивному твердінні в середовищі маловологого нагрітого повітря. Роботи з бетонування фундаментів виконували в зимовий період при від'ємній температурі зовнішнього повітря. Тому для забезпечення нормальних умов твердіння укладеної в тіло фундаменту бетонної суміші над зabetонованим фундаментом влаштовували тепляк, в який за допомогою спеціальної установки з відпрацьованого реактивного двигуна подавали гаряче повітря, яке забезпечувало в тепляку додатню температуру до 50-60°C. Крім того бетонну суміш, яку виготовляли на бетонному вузлі поблизу будівельного майданчика, підігрівали до температури 40-50°C. Укладання нагрітої бетонної суміші спричинило швидкий нагрів арматури, яка видовжуючись могла розірвати свіжоукладену бетонну суміш в межах товщини захисного шару. Перегрів поверхні свіжоукладеного бетону гарячим повітрям в маловологому середовищі викликав інтенсивний перебіг процесу його усадки, що при наявності арматури, яка в даному випадку відіграє роль внутрішніх зв'язків, неминуче призводило до утворення поверхневих усадочних тріщин. Гаряче повітря сприяло також додатковому нагріву арматури, яка в даному випадку могла мати більші деформації ніж свіжоукладений незатверділий бетон і видовжуючись розірвати його.

Для виключення температурно-усадочних деформацій норми з проектування фундаментів машин з динамічними навантаженнями [2] рекомендують влаштування тимчасових усадочних швів шириною 0,7-1,2 м з випусками арматури з обох сторін шва. Ця арматура зварюється між собою через 20-30 діб після бетонування, а тимчасові усадочні шви заповнюються бетоном того ж класу.

В даному випадку при виконанні робіт в тепляку і існуванні небезпеки перегрівання бетону і розташованої в поверхневому шарі арматури виконання цієї рекомендації норм дозволило б значно знизити від'ємний вплив температурно-усадочних деформацій. Однак влаштування тимчасових усадочних швів не передбачалось ні проектом фундаментів, ні проектом виконання робіт.

На період обстеження міцність бетону, визначена неруйнівними способами, відповідала проектному класу В15. Зовнішні відкриті бокові поверхні фундаментів мають щільну структуру без раковин і відшарувань поверхневого шару. На бокових поверхнях тріщини не виявлені.

Аналіз результатів обстеження фундаментів. В основу аналізу впливу температурно-усадочних тріщин на експлуатаційні показники фундаментів покладені загальні вимоги, що пред'являються до даного типу фундаментів: недопустимість виникнення вібрацій, які можуть перешкоджати нормальній експлуатації самої машини або викликати недопустимі вібрації конструкцій оточуючих будинків, а також забезпечення міцності, витривалості і довговічності конструктивних елементів фундаментів.

Вище відмічали, що в практиці експлуатації таких високочастотних машин навіть у випадках незадовільного центрування їх обертових частин випадків виникнення значних вібрацій не спостерігали. Наявність тріщин в межах товщини захисного шару практично майже не змінює жорсткість фундаментної плити, а, відповідно, не повинно привести до істотної зміни як частот власних коливань і їх амплітуди, так частот і амплітуд вимушених коливань при роботі агрегату, тобто в кінцевому результаті не приведе до зміни закладених в проект умов роботи фундаментів. Тому при вирішенні питання про придатність до нормальній експлуатації фундаментів з температурно-усадочними тріщинами враховували принаймні дві обставини, а саме:

- можливість розвитку наявних тріщин в глибину масиву фундаменту. При розповсюдженні тріщин в глибину жорсткість фундаментної плити може значно зменшитись, що в свою чергу приведе до збільшення частоти власних коливань і наближення її до частот вимушених. В цьому випадку можливе настання резонансних явищ і збільшення амплітуди коливань фундаменту. Таким чином основним завданням забезпечення нормальних умов експлуатації фундаментів є недопущення подальшого розвитку наявних тріщин. Передбачити розрахунком подальшу поведінку тріщин в процесі прикладання вібраційних навантажень не представляється можливим;

- на даний час тріщини мають ширину розкриття до 1,5-2,0 мм, що формально не задовольняє вимог тріщиностійкості згідно норм проектування. Не дивлячись на влаштування поверху існуючого обрізу підбетонування товщиною 200 мм, немає гарантії що це стане надійним захистом від потрапляння в тріщини в процесі експлуатації агресивного середовища з відповідними наслідками у зменшенні довговічності фундаментів. Крім того при наявності вібрацій може настати порушення зчеплення захисного шару бетону з арматурою і відшарування останнього на ділянках з тріщинами. Внаслідок цього погіршується умови роботи арматури в конструкції в цілому.

Рекомендації з підсилення фундаментів. Для забезпечення нормальної експлуатації фундаментів необхідно передбачити заходи для недопущення подальшого розвитку тріщин в глибину масиву фундаменту і надійного захисту верхнього обрізу від потрапляння агресивного середовища. Представленій вище аналіз показує, що через наявність температурно-усадочних тріщин неможливо гарантувати забезпечення експлуатаційних

показників фундаментів – міцності, жорсткості проти коливань і довговічності. Тому через відмічені вище обставини та умови, що склалися необхідне їх підсилення.

Пропонується два варіанти конструктивних рішень, направлених на запобігання подальшого розвитку тріщин і захист від корозії бетону і арматури (рис. 2).

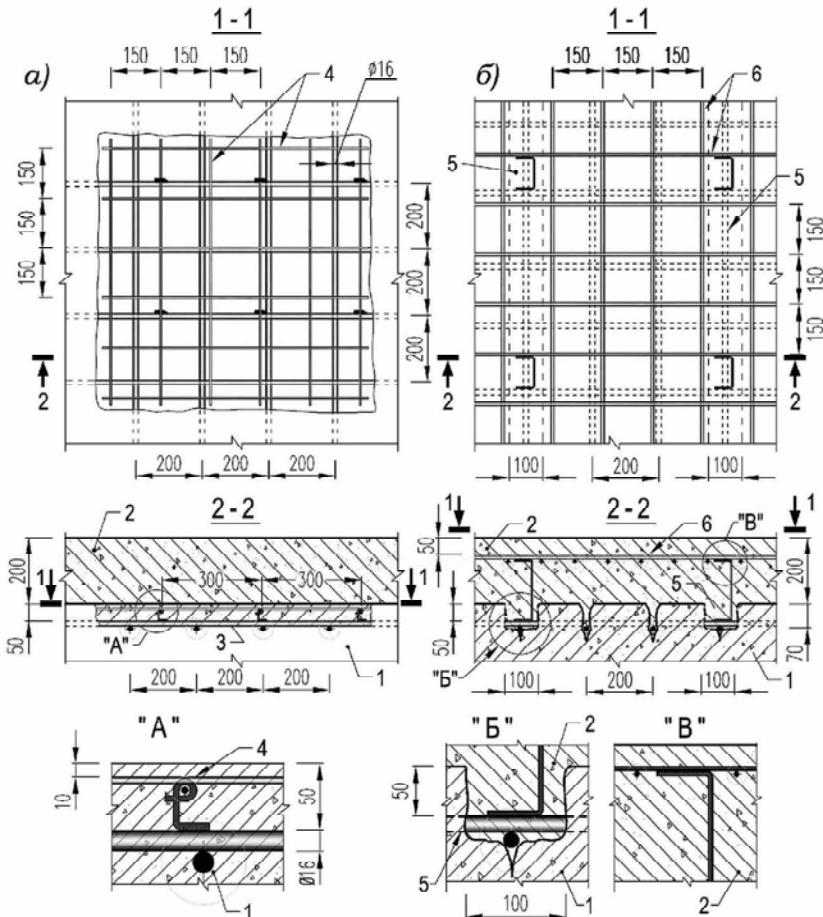


Рис. 2. Схеми підсилення фундаменту за варіантами I(а) і II(б)
1 – фундамент; 2 – підбетонування; 3 – відновлення захисного шару на ділянках з тріщинами; 4 – сітка С 15×15/3/3; 5 – штраба 100×70 мм; 6 – сітка С15×15/101/10

Варіант I. На ділянках верхнього обрізу фундаментної плити з тріщинами повністю видалити розтріснутий захисний шар товщиною 50-70 мм, після чого відновити його шляхом укладання нового шару дрібнозернистого

бетону на цементі, який розширюється (рис. 2,а). Заново відновлювані ділянки захисного шару необхідно додатково армувати сітками з арматурного дроту Ø3мм Вр-І. Додаткові сітки необхідно спеціальними анкерними стержнями об'єднувати з арматурою існуючих сіток (деталь «А»).

Варіант II. Запобігти подальшому розвитку тріщин можливо шляхом включення на ділянках з тріщинами в сумісну роботу з фундаментною плитою підбетонування, влаштованого на верхньому обрізі плити після монтажу газоперекачувального агрегату (рис.2,б). Для цього підбетоновуваний шар на ділянках з тріщинами додатково армують сітками з арматури Ø10 мм. Додаткову арматуру об'єднують з арматурою існуючих верхніх сіток шляхом місцевого оголення існуючих стержнів в спеціально пробитих штрабах і об'єднання їх із додатковими сітками анкерними стержнями.

Обидва варіанти підсилення можна вважати рівноцінними і їх застосування визначається трудомісткістю реалізації. Можливе одночасне застосування при підсиленні одного фундаменту обох варіантів: на ділянках, де неможливе включення в роботу підбетонування, виконати підсилення за варіантом I.

Як додаткові заходи можна рекомендувати більш ретельне балансування рухомих частин агрегатів, які встановлюють на підсилюваних фундаментах.

Висновки 1. Причиною виникнення і розкриття тріщин на верхньому обрізі плити фундаментів №2 і №6 слід вважати температурні видовження арматури підігрітою бетонною сумішшю і гарячим повітрям, яке подавалось в тепляк, а також перегрів гарячим повітрям свіжоукладеної бетонної суміші та інтенсивним перебіgom процесу усадки його верхнього шару в межах розташування верхньої арматурної сітки.

2. Наявні в межах захисного шару тріщини при певних умовах можуть знищити довговічність фундаменту, а при їх подальшому розвитку в глибину масиву фундаменту і його жорсткість, що неминуче приведе до зближення частот власних і вимушених коливань, виникненню резонансних явищ та збільшення амплітуд коливань фундаментів. Це в свою чергу може негативно відобразитись на роботі газоперекачувального агрегату.

3. Для забезпечення нормальних умов експлуатації фундаментів з тріщинами необхідне їх підсилення шляхом ліквідації від'ємного впливу тріщин на експлуатаційні показники фундаментів та недопущення їх подальшого розвитку в глибину тіла фундаментів, використавши для цього описані вище варіанти конструктивних рішень.

1. Кваша В.Г. Обстеження і підсилення фундаменту під газомоторний компресор МК-8. / В.Г. Кваша, І.В. Мельник // Зб. Аварії на будівлях і спорудах та їх попередження. – К.: НДІБК, 1997. –с.221-228. 2. СНиП 2.02.05-87. Фундаменты машин с динамическими загрузками. –М.: Стройиздат, 1988. –41 с.