

В. М. Кущенко, В. М. Каниук, М. М. Лободанов  
 Національний університет “Львівська політехніка”,  
 кафедра будівельних конструкцій та мостів

## ПІДСИЛЕННЯ ФУНДАМЕНТІВ ШАХТНИХ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ УСТАНОВОК ЗА УМОВ ТЕХНОГЕННОЇ ЕРОЗІЇ ГРУНТОВОЇ ОСНОВИ

© Кущенко В. М., Каниук В. М., Лободанов М. М., 2019

На шахтах України спостерігались випадки аварійних станів шахтних вентиляційних установок під впливом техногенної пневматичної ерозії ґрунтової основи. Техногенна пневматична ерозія ґрунтової основи відбувається внаслідок розгерметизації вентиляційної камери. Внаслідок впливу градієнта пневматичного тиску між поверхнею і внутрішніми шарами ґрунтового масиву відбувається просочування атмосферного повітря крізь ґрунт до вентиляційної камери, що призводить до висихання скелету ґрунту та дефляції його частинок. Цей процес, в перспективі, спричиняє нерівномірні осідання і руйнування залізобетонних конструкцій фундаменту. Для вказаних випадків запропоновано і впроваджено принцип підсилення монолітних залізобетонних фундаментів із застосуванням буронабивних паль, які влаштовують за периметром фундаменту, утворюючи разом з низьким ростверком і залізобетонною обіймою підсилення конструктивну систему, яка забезпечує передавання навантаження на непошкоджені шари ґрунтової основи.

Ключові слова: шахтні вентиляційні установки, залізобетонні фундаменти, техногенна ерозія ґрунту, підсилення фундаментів, буронабивні палі.

V. M. Kushchenko, V. M. Kanuk, M. M. Lobodanov  
 Lviv Polytechnic National University  
 Department of building construction and bridges

## REINFORCEMENT OF FOUNDATIONS OF MINE VENTILATOR ANDER CONDITIONS TECHNOGENIC INTERNAL EROSION THROUGH THE SOIL FOUNDATION

© Kushchenko V. M., Kanuk V. M., Lobodanov M. M., 2019

The construction of mine ventilation units is one part of the most responsible on the surface of coal mines, because the safety of underground technological processes depends on their reliable underground technological processes. In mines of Ukraine there were cases of emergency condition of mine ventilation plants due to failure of foundations due to technogenic pneumatic erosion of soil foundation, which is not described in modern a priorial sources. Mechanism of technogenic pneumatic erosion, as a rule, is caused by a depressurization of the ventilation chamber, due to the opening of the deformation seam between the foundation and ventilation ducts. Due to the influence of the gradient of pneumatic pressure between the surface and the inner layers of the soil massif, the air is leaking everywhere in the middle of the ventilation chamber, which leads to the drying of the skeleton of the soil and the deflation of its particles. This process, in the long run, causes the following phenomena: the ground base dries and breaks up to a depth of 5 m; Caverns are formed under the sole of the foundation in the soil; Reinforced concrete structures due to the kinematic influences caused by uneven deposition of the soil base, are destroyed. Therefore,

**there is an urgent task – strengthening the foundations of mine ventilation plants in the conditions of technogenic pneumatic erosion. The princip of reinforcement of monolithic reinforced concrete foundations with the use of drilling piles, which are arranged along the perimeter of the foundation, is proposed and implemented, and together with the low rafting and reinforced concrete reinforcement is constructed a constructive system that provides transfer of load on the undamaged layers of the soil base.**

**Key words: mint ventilator, reinforced concrete foundations, reinforcement of building structures, technogenic iternal erosion through the soil foundation, drill piles.**

**Вступ.** Споруди вентиляційних установок є найбільш відповідальними на поверхні вугільних шахт, тому що від їх надійної роботи значною мірою залежить безпека підземних технологічних процесів. Однак, на спорудах шахтних вентиляційних установок спостерігаються випадки нерівномірних осідань фундаментів та їх пошкодження у зв'язку з поширеним для цих споруд явищем техногенної ерозії ґрунтової основи, внаслідок чого виникає загроза руйнування фундаментів і раптової відмови шахтних вентиляторів. Опис явища техногенної ерозії основ і пов'язаних з нею пошкоджень фундаментів шахтних вентиляційних установок, а також аналіз досвіду їх підсилення є актуальним завданням.

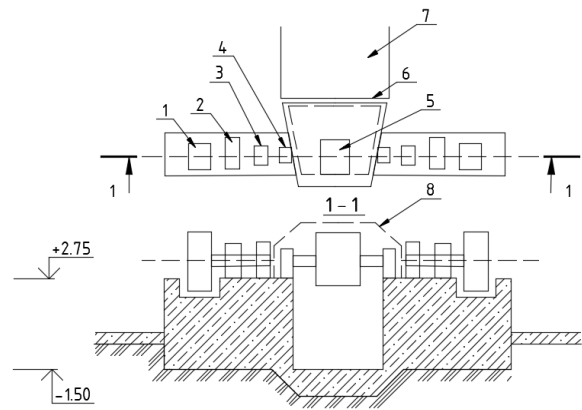
**Огляд наукових джерел і публікацій.** Шахтні вентиляційні установки описано у сучасних джерелах [1]. Розрізняють: центробіжні та осьові вентилятори за двома основними схемами провітрювання шахт: компресійною (подача свіжого повітря) і депресійною (витяжна). У цій статті розглянуто центробіжні, витяжні, вентиляційні установки ВЦД-47У. Відповідно до ерозійних механізмів руйнування ґрунтових основ існує таке визначення, як гідравлічне руйнування [2–4] таких двох видів: а) руйнування від ерозії; б) руйнування від суфозії, які за фізичною суттю пов'язані з фільтрацією води через ґрунтовий масив за наявності градієнта гідравлічного тиску, за якого руйнується структура ґрунту з відривом і перенесенням його частинок. Однак наведені механізми ерозії і суфозії тільки за аналогією збігаються з механізмами руйнування ґрунту при просочуванні повітря, за наявності градієнта тиску, який по суті є пневматичним. Методи підсилення основ і фундаментів будівель і споруд, а також їх класифікацію описано в [1, 5, 6], однак сьогодні в апріорних джерелах відсутній аналіз досвіду підсилення фундаментів шахтних вентиляційних установок. У публікації використано досвід авторів, отриманий при виконанні обстежень і підсилення фундаментів шахтних вентиляційних установок та інших споруд за умов ерозії і суфозії ґрунтових основ [7–9].

**Мета та завдання дослідження** полягає в описанні характерних пошкоджень ґрунтових основ і фундаментів шахтних вентиляційних установок техногенною ерозією, а також у визначенні раціональних схем підсилення фундаментів із застосуванням буронабивних паль.

**Методика досліджень.** Роботу виконано на підставі аналізу і узагальнення матеріалів і результатів обстеження та підсилення фундаментів вентиляційних установок ВЦД-47У, які було виконано СНВЦ “Надшахтні споруди” ДонНАСА на вугільних шахтах України впродовж 2006–2010 рр.

**Результати досліджень.** Загальну схему центробіжної шахтної вентиляційної установки ВЦД-47,5 і розріз по фундаменту наведено на рис. 1.

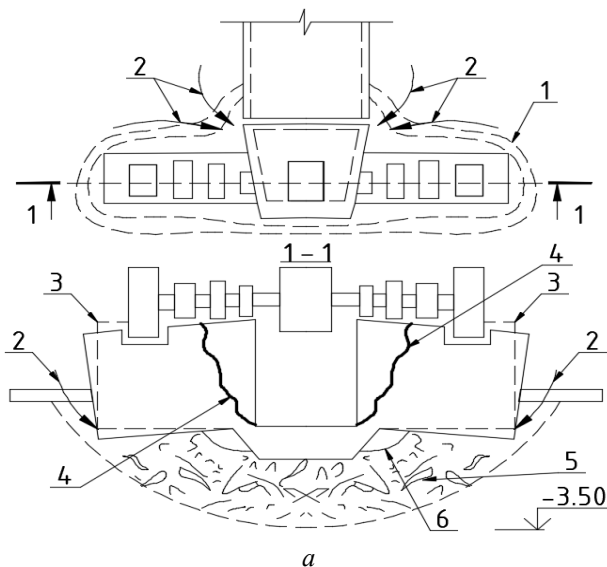
Характерною особливістю конструкцій масивних монолітних залізобетонних фундаментів шахтних вентиляторів є сполучення центральної коробчастої частини (вентиляційної камери) і масивних (консольних) частин (рис. 1, б). На консольні частини фундаменту опираються дві механічні системи приводу ротора вентилятора, які складаються з таких елементів: 1 – електричний двигун; 2 – редуктор; 3 – передаточна муфта, яка передає обертальний момент на вал ротора 5. До вентиляційної камери в центральній частині фундаменту прилягає монолітний залізобетонний вентиляційний канал 7, сполучений із конструкціями фундаменту герметичним деформаційним швом 6 (рис. 1, б).



а

б

Рис. 1. Загальний вигляд (а) і схема шахтної центробіжної витяжної вентиляційної установки та розріз по фундаменту(б): 1 – електричний двигун; 2 – редуктор; 3 – передаточна муфта; 4 – опорний підшипник; 5 – ротор; 6 – деформаційний шов; 7 – вентиляційний канал; 8 – сталевий кожух вентиляційної камери фундаменту



а

б

Рис. 2. Техногенна пневматична ерозія і схема пошкодження фундаменту вентиляційної установки ВЦД-47,5У внаслідок техногенної ерозії ґрунтової основи: (а) 1 – зона розгерметизації деформаційного шва і просочування повітря крізь ґрунтовий масив; 2 – напрямок просочування повітря крізь ґрунтовий масив; 3 – схема нерівномірного осідання консольних частин фундаменту; 4 – наскрізні тріщини в тілі залізобетонного фундаменту; 5 – зона висихання і розтріскування ґрунтового масиву; 6 – каверни під підшоною фундаменту; (б) тріщина в місці примикання консольної частини фундаменту до вентиляційної камери (п.4 на рис. 2, а)

За наявності взаємних нерівномірних осідань фундаменту вентилятора і вентиляційних каналів можливе розкриття деформаційного шва 6 (рис. 1, б) та його розгерметизація (рис. 2, а), що стає причиною просочування атмосферного повітря крізь ґрунтовий масив до вентиляційної камери фундаменту (рис. 2, а), в якій під час роботи вентилятора існує депресія, що становить: 6000–6100 Па (для вентилятора ВЦД-47,5).

Внаслідок просочування повітря відбуваються такі явища: а) безпосередньо біля деформаційного шва руйнується скелет ґрунту, відриваються і виносяться частинки ґрунту в вентиляційні камери і через дифузори в атмосферу, через деякий час у цих місцях можливе утворення каверн під підшоною фундаменту (ерозія); б) загалом для ґрунтового масиву спостерігається процес висихання, внаслідок якого відбувається усадка ґрунту з подальшим його розтріскуванням, після чого ґрунтовий масив втрачає суцільність і розділяється усадочними тріщинами на окремі шматки розміром 200–400 мм

(рис. 2, а, 3, б); б) внаслідок впливу вібрації від роботи вентилятора і нерівномірних осідань основи в місцях сполучення консольних і коробчастої частин фундаменту утворюються наскрізні тріщини (рис. 2), які призводять до подальшої розгерметизації вентиляційної камери, що прискорює процеси ерозії ґрунтової основи; при цьому, як правило, поблизу наскрізних тріщин у ґрунтовій основі утворюються каверни, розповсюдження яких може становити 20–40 % від площі підшви консольних частин фундаменту (рис. 2, а; 3, а). У результаті нерівномірних взаємних осідань консольних частин і вентиляційної камери фундаменту також відбувається порушення прецесії між передаточною муфтою і валом ротора, внаслідок чого виникає загроза раптової відмови вентиляційної установки. Спроби забезпечити прецесію вище зазначеної механічної системи без підсилення фундаменту виявляються невдалими, оскільки кутове переміщення консольних частин внаслідок впливу вібрації продовжується. Закладка геологорозвідувальних свердловин показала розповсюдження зони висихання і розтріскування ґрунтового масиву на глибину до 4,5 м, яке відбулось за термін 10 років (рис. 2, а; 3, б). На рис. 3, а наведено фото керна зразка ґрунтової основи з відмітки -4,0 м, на якому виявлено горизонтально і вертикально орієнтовані усадочні тріщини висихання. На рис. 3, а наведено вигляд каверни під підшоною фундаменту, яка утворилась внаслідок техногенної пневматичної ерозії і була виявлена під час виконання робіт із підсилення фундаменту.

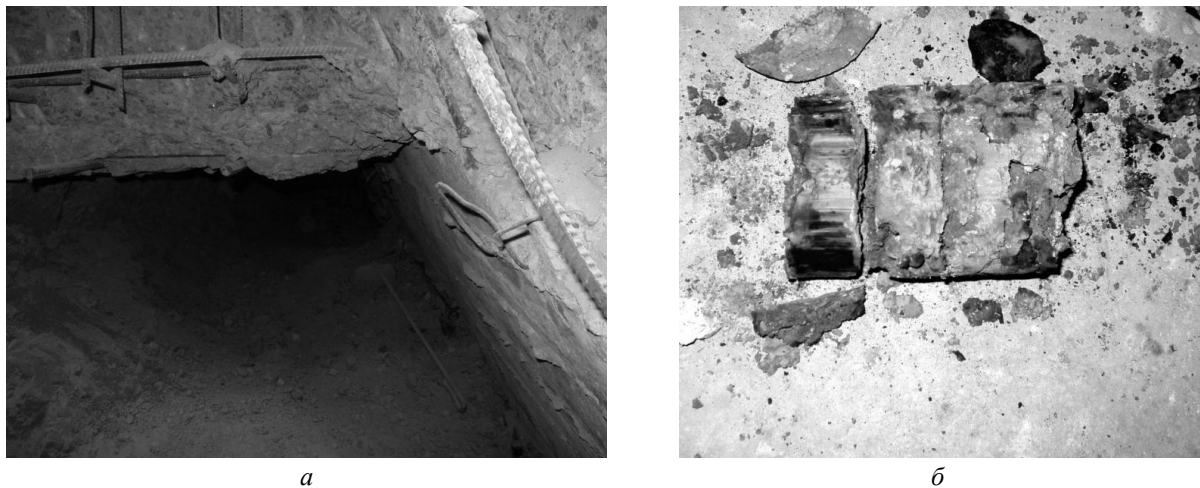


Рис. 3. Техногенна пневматична ерозія і схема пошкодження фундаменту вентиляційної установки ВЦД-47У внаслідок техногенної ерозії ґрунтової основи: а – каверна під підшоною фундаменту (п. б на рис. 2, а); б – керн зразка ґрунту в зоні висихання і розтріскування, взятий з відм. -4.0 м (п. 1 на рис. 2, а)

Для нормалізації технічного стану фундаменту вентиляційної установки розроблено і впроваджено проект підсилення, відповідно до якого передбачено виконання робіт у такій послідовності: а) виконання герметизації деформаційних швів в місці примикання вентиляційних каналів до фундаменту вентилятора з попереднім заповненням каверн цементно-піщаною сумішшю; б) влаштування палевої основи з застосуванням буронабивних паль діаметром 240 мм, які опираються на непошкоджений ґрунтовий масив (відм. -11,500 м); в) влаштування низького залізобетонного ростверку і нарощування перерізу фундаменту монолітною залізобетонною обоймою завтовшки 400–500 мм, яка відновлює цілісність існуючого фундаменту і забезпечує передавання навантаження на ростверк палевої основи (рис. 4, а). Дуже важливими факторами, які впливали на прийняття технічних рішень щодо підсилення фундаменту, були: а) вимога виконання робіт без зупинки роботи вентиляційної установки; б) стислість умов для проведення будівельних робіт (вентиляційна установка знаходиться всередині будівлі). Тому для елементів палевої основи було вибрано буронабивні палі діаметром 240 мм, розташовані в два ряди по периметру фундаменту. Для влаштування свердловин під палі використовували малогабаритні бурильні станки (рис. 4, б).

У зв'язку зі складною формою фундаменту центр прикладання активних сил, з яких складалось навантаження, не збігається з центром ваги палевої основи, тому було проаналізовано розподіл сил по палям на скінченно-елементній моделі, яку було реалізовано в програмному комплексі Ліра 9.2 (рис. 5),

який показав діапазон зусиль за елементами палевої основи в межах 126–180 кН. Внаслідок різного рівня навантаження різниця між розрахунковими значеннями осідання окремих паль не перевищувала 2 мм. Для забезпечення рівномірного характеру передавання зусиль на елементи палевої основи проектом було передбачено шарнірне опирання ростверку на буронабивні палі.

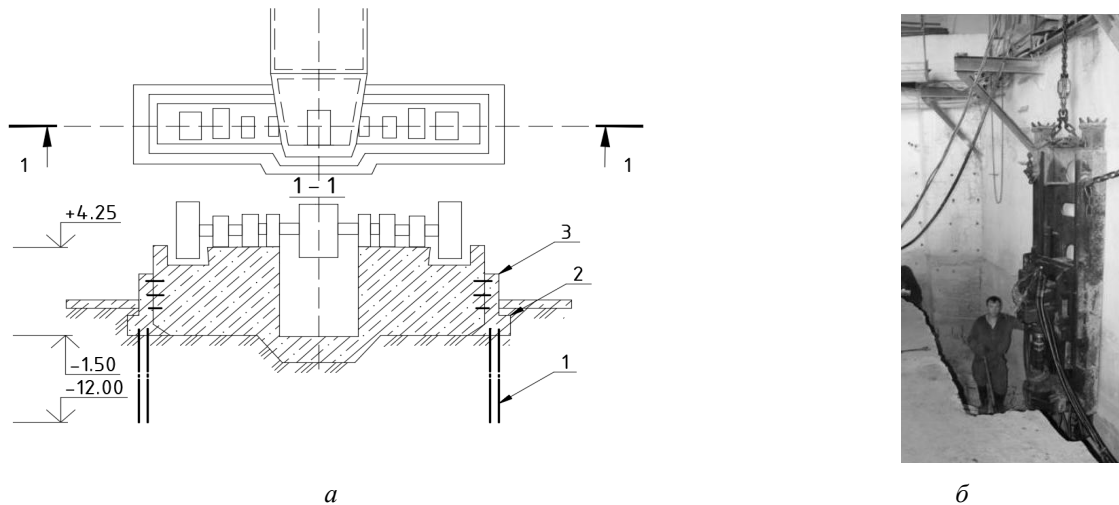


Рис. 4. Схема підсилення фундаменту вентиляційної установки ВЦД-47У (а); бурильний станок для утворення свердловин для буронабивних паль діаметром 240мм (б): 1 – два рядки буронабивних паль діаметром 240 мм; 2 – ростверк; 3 – залізобетонна обойма завтовшки 400–500 мм

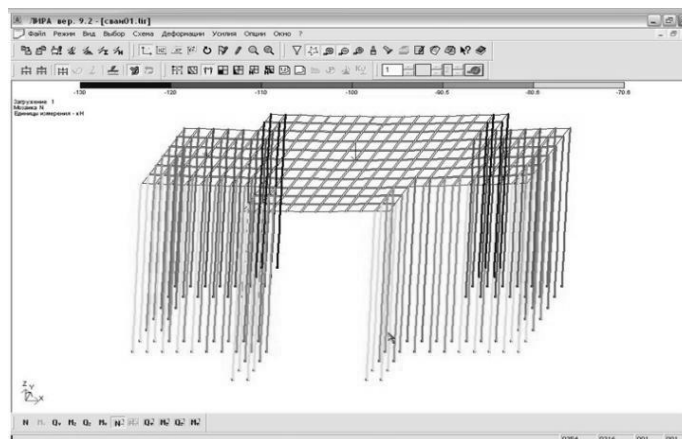


Рис. 5. Розрахункова модель силової взаємодії фундаменту з палевою основою, яку було реалізовано в ПК Ліра 9.2

Роботи із підсилення фундаментів двох вентиляторів ВЦД-47У головної вентиляційної установки виконано без зупинки основного виробництва протягом 2008–2010 рр.

### Висновки

1. На спорудах шахтних вентиляційних установок спостерігаються випадки техногенної пневматичної ерозії ґрунтової основи, яка трапляється внаслідок розгерметизації деформаційних швів між фундаментами і вентиляційними каналами.

2. Механізм пошкодження ґрунтової основи у разі техногенної пневматичної ерозії є таким: внаслідок просочування атмосферного повітря крізь ґрунтову основу руйнується скелет ґрунту із виносом його частинок крізь дифузор вентиляційної установки, що стає причиною збільшення коефіцієнта пористості ґрунту, а також його висихання і розтріскування на фрагменти розміром 200–400 мм на глибину 4–5 м. За тривалих впливів градієнта повітряного тиску на основу під подошвою фундаментів вентиляційних установок утворюються каверни, які стають причиною

руйнування монолітних залізобетонних конструкцій фундаментів і раптової відмови шахтних вентиляторів, що створює масштабні техногенні загрози.

3. Для підсилення фундаментів шахтних підйомних установок, за умов техногенної пневматичної ерозії ґрунтової основи, є раціональною схема з використанням буронабивних паль; оскільки підсилення цих споруд утруднено, для елементів палевої основи слід застосовувати палі з діаметром 240–300 мм.

4. При проектуванні палевої основи для підсилення фундаментів вентиляційної установки слід враховувати статичну невизначеність умов силової взаємодії ростверку і буронабивних паль, яка призводить до нерівномірного розподілу навантажень між елементами палевої основи. Рекомендується обпірати ростверк на буронабивні палі за шарнірною схемою.

1. Гришко А. П., Шелогопов В. И. *Стационарные машины и установки. Учеб. пособие для вузов.* – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2007. – 325 с.  
2. Зоценко М. А. *Инженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти.* – Полтава: ПНТУ, 2004. – 568 с. 3. ДБН В.2.1-10-2009. *Основи та фундаменти. Основні положення проектування.* – Мінрегіонбуд України, 2009. – 104 с. 4. *Єврокод 7. Геотехнічне проектування. Ч. 1. Загальні правила (Е1997-1: 2004, IDT: ДСТУ-Н Б ЕТ 1997 – 1:2010.* – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 194 с.  
5. Бліхарський З. Я. *Реконструкція та підсилення будівель і споруд: навчальний посібник.* – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2008. – 108 с. 6. Швець В. Б., Феклян В. И., Гинзбург Л. К. *Усиление и реконструкция фундаментов.* – М.: Стройиздат. 1986. – 203 с. 7. *Підсилення фундаментів залізобетонними буронабивними мікропаллями під час реконструкції будинків в умовах суцільної забудови / Б. М. Ониськів, Б. Г. Демчина, Я. В. Сорока, В. М. Канюк // Вісник. Ефективні конструкції буродобивних і буровставних паль для влаштування фундаментів опор мостів в гідрогеологічних умовах Прикарпаття / Б. М. Ониськів, П. М. Коваль, Я. В. Сорока, В. М. Канюк // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”, 2007. – № 602: Теорія і практика будівництва. – С.147–152. – Бібліографія: 3 назви. 9. Особливості влаштування фундаментів опор мостів в гідрогеологічних умовах Карпат / Б. М. Ониськів, Я. В. Сорока, В. М. Канюк // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”. – 2004. – № 545: Теорія і практика будівництва. – С.133–137.*

## References

1. Grishko A. P. and Shelogapov V. I. (2007) *Stacyonarnye mashyny i ustanovki: Uchebnoe posobie dlya vuzov, Publishing House of the Moscow State Mining University, p. 325 [Stationary machines and installations: Textbook for universities] [in Russian]* 2. Zotsenko M. A. (2004) *Inzhenerna heolohiia. Mekhanika hruntiv, osnovy ta fundamenti. PNTU, p.568 [Poltava] [in Ukrainian]* 3. *Minregionstroy of Ukraine, (Effective from 2011-07-01), Structures of buildings and structures. Concrete and reinforced concrete constructions. Basic design provisions: DBN V.2.6-98: 2009., p. 97 [National Standard of Ukraine].* 4. *Minregionstroy of Ukraine (2011) Yevrokod 7. Heotekhnichne proektuvannia. Chastyna 1. Zahalni pravyla (E1997-1: 2004, IDT: DSTU-N B IT 1997 – 1: 2010),, pp. 194 [National Standard of Ukraine]* 5. *Blikharsky Z. Ya. (2008) Rekonstruktsiia ta pidsylennia budivel i sporud: Navchalnyi posibnyk. Publishing house of National university “Lviv Polytechnic”, pp. 108 [in Ukrainian]* 6. *Shvets VB, Feklan V. I. and Ginzburg L. K. (1986) Usylenye y rekonstruktsyia fundamentov, Stroizdat, p. 203 [Moscow] [in Russian]* 7. *B. N Oniskiv, BG Demchin, Ya. V. Soroka and V. M Kanyuk (2004) Pidsylennia fundamentiv zalizobetonnymy buronabyvnymy mikropaliamy pid chas rekonstruktsii budynkiv v umovakh sutsilnoi, Teoriia i praktyka budivnytstva Vol.520, Publishing house of National university “Lviv Polytechnic”, p. 209–213 [in Ukrainian]* 8. *B. M Onys'kiv, PN Koval, Ya. V. Soroka and V. M Kanyuk (2007) Efektyvni konstruktsii burodobyvnykh i burovstavnykh pal dlia vlashtuvannia fundamentiv опор mostiv v hidroheolohichnykh umovakh, Teoriia i praktyka budivnytstva Vol.602, Prykarpattia Publishing house of National university “Lviv Polytechnic”, pp. 147–152 [in Ukrainian]* 9. *B. M. Onisky, Ya. V. Soroka and V. M. Kanyuk (2004) Osoblyvosti vlashtuvannia fundamentiv опор mostiv v hidroheolohichnykh umovakh, Teoriia i praktyka budivnytstva Vol.545, Publishing house of National university “Lviv Polytechnic”, pp. 133–137 [in Ukrainian].*