

DOI: 10.29295/2311-7257-2019-95-1-153-161
УДК 624.01

Рюміна К.О., Рюмін В.В., Яровий Ю. М.

Харківський національний університет будівництва та архітектури
(вул. Сумська, 40, Харків, 61002, Україна; e-mail: e.a.perepelica@gmail.com, luger09par@yahoo.com,
y.n.yarov@gmail.com; ORCID: 0000-0002-0574-0038, ORCID: 0000-0001-8884-589X,
ORCID: 0000-0003-0633-424X)

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СТОВБУРУ ОГЛЯДОВОЇ ШАХТИ КОЛЕКТОРУ З УРАХУВАННЯМ ПРОГРЕСУЮЧОГО РУЙНУВАННЯ

У статті наведено методику розрахунку несучої здатності стовбуру оглядової шахти колектору з урахуванням прогресуючого руйнування. Продемонстровано процес утворення тріщин та перерозподілу зусиль при виключенні (руйнуванні) частини перерізу стовбуру. Продемонстровано, що своєчасна локалізація та усунення пошкоджень дозволяє подовжити строк експлуатації оглядової шахти. Результати можуть бути застосовані при виконанні подібних перевірних та проектувальних розрахунків.

Ключові слова: оглядова шахта, колектор, активний тиск ґрунту, прогресуюче руйнування, сценарій руйнування, перерозподіл зусиль, тріщиностійкість.

Вступ. Оглядові шахти є складовою частиною каналізаційних мереж і призначені для обслуговування каналізаційної мережі зі спуском у шахту людей. Згідно вимог ДБН В.2.5-75:2013[1] оглядові шахти слід улаштувати у місцях приєднань, у місцях зміни діаметрів трубопроводів, у місцях зміни напрямку та уклонів, а також на прямих ділянках з кроком в залежності від діаметру труб. Так для труб діаметром більше 2000 мм слід передбачати оглядові колодці з кроком 250 – 300 м.

Фактично оглядові шахти вітчизняної каналізаційної мережі, що були побудовані на початку та в середині 20-го століття, розташовано не частіше кожних 1000 м, що не відповідає вимогам [1]. Стан існуючих оглядових шахт, зважаючи на складні умови експлуатації в агресивному середовищі, здебільшого є незадовільним, а в багатьох випадках аварійним. Результати обстежень оглядових шахт каналізаційних мереж м. Харків наведено в [2, 3]. Конструктивні, технологічні та організаційні рішення щодо відновлення оглядових шахт наведено в роботах [4, 5], вибір конструктивних рішень будівництва нових шахт – в [6].

Методику розрахунку оглядових шахт, що зведено методом «опускного колодязю» наведено у роботах Швецова Г. І. [7], Горбунова-Посадова М. І. [8].

У відповідності до вимог ДБН В.1.2-14-2009 [9] будівельні конструкції повинні мати достатню живучість по відношенню до локальних руйнувань і передбачених нормами аварійних впливів, виключаючи при цьому явища прогресуючого руйнування, коли загальні пошкодження виявляються значно більшими ніж первісне збурення, що їх викликало.

Питанню прогресуючого руйнування присвячено ряд зарубіжних робіт, зокрема [10, 11] та нормативів [12, 13]. Вирішенню задачі розрахунку будівель та споруд на прогресуюче руйнування за допомогою програмного комплексу ЛІРА присвячено вітчизняні роботи Водоп'янова Р. Ю. [14], Барабаш М. С. [15].

Метою даної роботи є дослідження впливу локальних руйнувань стовбуру оглядової шахти на його загальний напружено-деформований стан та несучу здатність, дослідження роботи стовбуру при розповсюдженні локального руйнування (прогресуюче руйнування).

Матеріали і методи досліджень. Виконано проектувальний розрахунок оглядової шахти на каналізаційній мережі в м. Харків. Шахта з внутрішнім діаметром 5,0 м, глибиною 20,0 м. Товщина стінок стовбуру – 300 мм. Стовбур виконано з бетону класу міцності на стиск С20/25, поздовжня арматура класу А400С, поперечна – А240С.

Стовбур сприймає навантаження: від власної ваги, активний тиск ґрунту та гідростатичний тиск ґрунтових вод з урахуванням редуції (нерівномірного розподілення навантаження по периметру шахти) у відповідності до [7].

Схематичний план та розрізи оглядової шахти, схема навантаження від активного тиску ґрунту та гідростатичного тиску ґрунтових вод наведено на рис. 1.

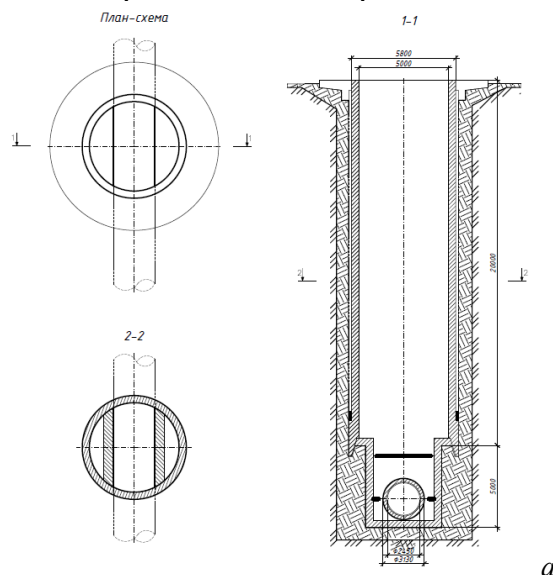
Розрахунок виконано методом кінцевих елементів у ПК ЛИРА-САПР. Модель прийнято в вигляді сектору (четвертої частини) стовбуру, відкинута частину замінено накладанням відповідної системи зв'язків.

Перший етап розрахунку виконано у лінійній постановці з застосуванням модулю «Залізобетон» для підбору армування та конструювання стовбуру шахти у відповідності до ДБН В.2.6-98:2009 [16]. На другому етапі за методикою приведеною в [14] виконано експорт підібраних жорсткостей та проведено розрахунок у фізично нелінійній постановці з використанням модулю «Монтаж», для моделювання постадійного зведення стовбуру, а потім виключення елементів із роботи (моделювання прогресивного руйнування).

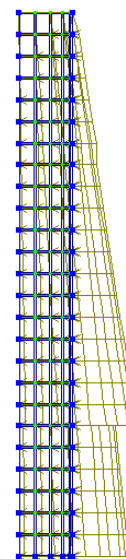
Результати дослідження. Мозаїку напружень за результатами лінійного розрахунку наведено на рис. 2, 3.

За результатами розрахунку підібрано армування стінок стовбуру шахти: кільцеве армування зовнішньої грані – від $\varnothing 8A400C$ крок 200 мм до $\varnothing 12A400C$ крок 200 мм, внутрішньої грані – від $\varnothing 8A400C$ крок 200 мм до $\varnothing 14A400C$ крок 200 мм (рис. 4);

вертикальне армування внутрішньої та зовнішньої грані – $\varnothing 8A400C$ крок 200 мм.



Давление



z
x

а

б

Рис. 1. Оглядова шахта: а – схематичний план та розрізи оглядової шахти; б – розподілення активного тиску за висотою

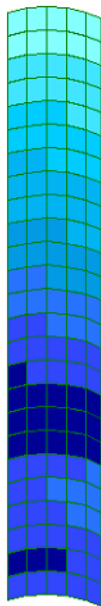
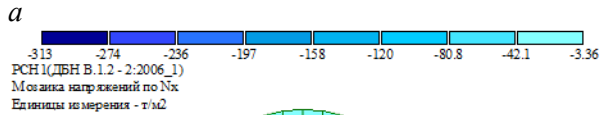
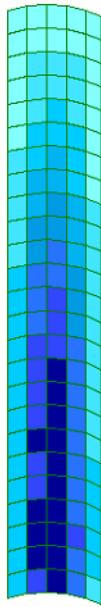
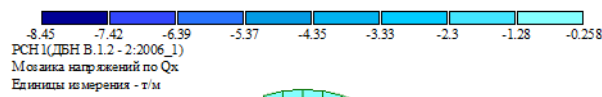
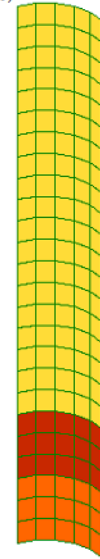
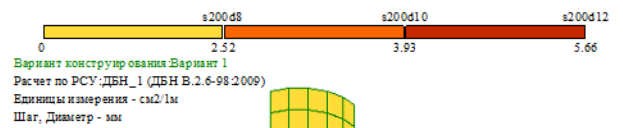
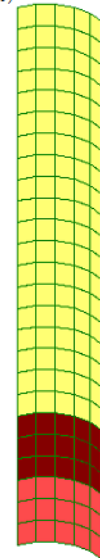
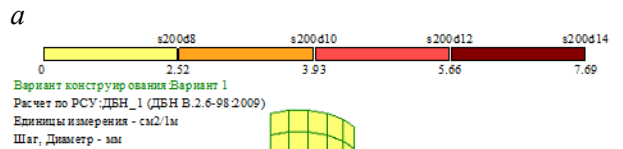


Рис. 3. Мозаїка напружень: а – по Q_x , т/м; N_x , т/м²



Площадь полной арматуры на 1м по оси X у верхней грани, максимум в элементе 61

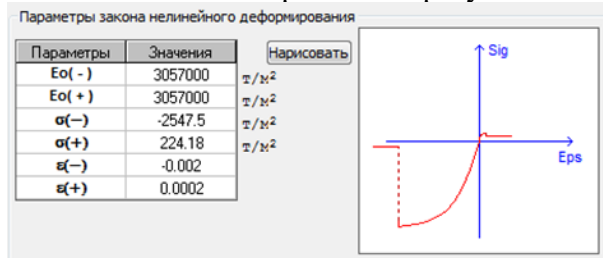


Площадь полной арматуры на 1м по оси X у нижней грани (балки-стенки - посередине), максимум в эл

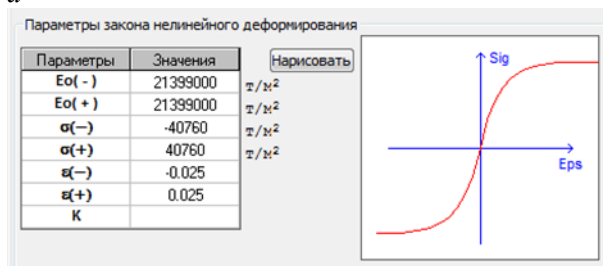
б
Рис. 4. Арматура стовбуру: а – по осі OX у верхньої (зовнішньої) грані; б – по осі OX у нижньої (внутрішньої) грані.

Виконано фізично нелінійний розрахунок стовбуру шахти. Закон нелінійного деформування бетону С20/25 та арматури

експоненціальний (рис. 5). Нелінійних завантажень (стадій) 5: 1 – власна вага (на цій стадії монтуються всі елементи стовбуру), 2 – активний тиск ґрунту та гідростатичний тиск води, 3, 4, 5 – поступовий демонтаж елементів, у вузлах відкинутих елементів задається навантаження, яке згідно методики [14] дорівнює 10% навантаження на попередніх стадіях. Розрахунок виконано простим шаговим методом (10 кроків) з виводом кінцевих та проміжних результатів.



а



б

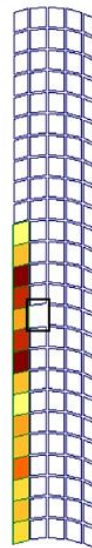
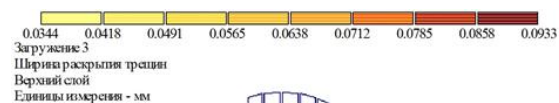
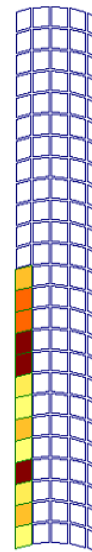
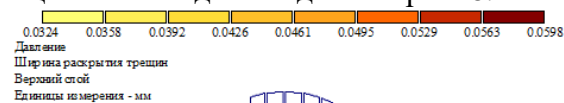
Рис. 5. Параметри закону нелінійного деформування: а – бетону; б - арматури

В якості демонтованих елементів обрано найбільш напружені елементи, що знаходяться у нижній третині висоти шахти, так як саме там найбільша концентрація агресивних речовин та найбільший рівень корозійного зносу конструкцій [2 – 5]. В розрахунках прийнято сценарій, за яким поступова руйнація відбувається у вертикальному напрямку.

Картину поступового розвитку тріщин за стадіями наведено на рис. 6, 7. Так наприкінці другої стадії максимальна ширина розкриття тріщин складає 0,06 мм, наприкінці третьої – 0,1 мм, наприкінці четве-

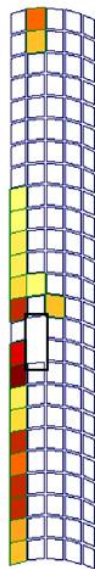
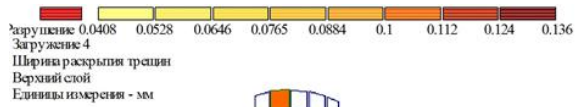
ртої – 0,136 мм – з’являються перші зруйновані елементи, наприкінці п’ятої – 0,212 мм – значна кількість зруйнованих елементів.

Схема розташування тріщин наприкінці п’ятої стадії наведена на рис. 8.

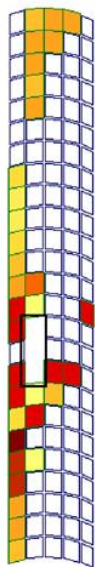
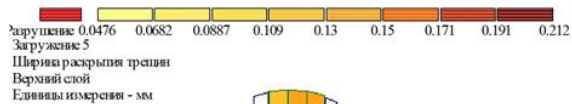


б

Рис. 6. Ширина розкриття тріщин (видалені елементи позначено рамкою): а – в кінці другої стадії; б – в кінці третьої стадії

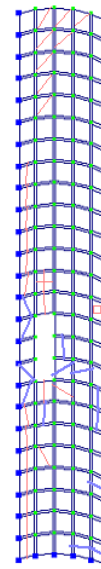


a

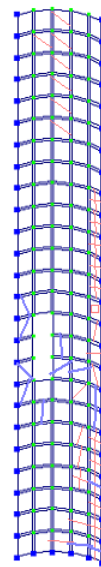


б

Рис. 7. Ширина раскрытия тріщин (видалені елементи позначено рамкою): а – в кінці четвертої стадії; б – в кінці п'ятої стадії



a



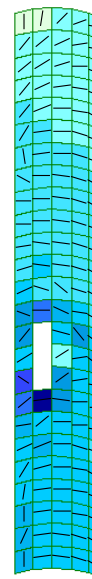
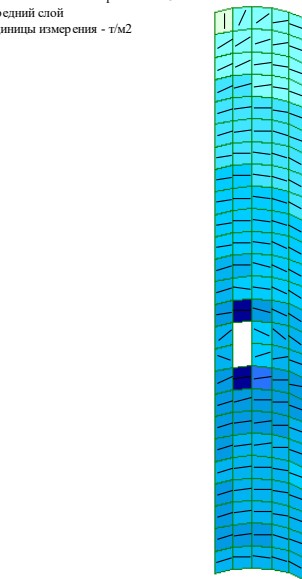
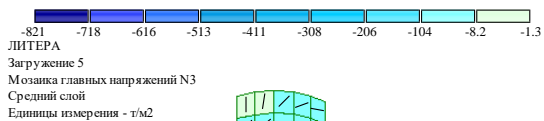
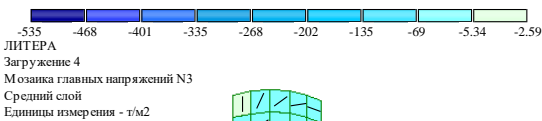
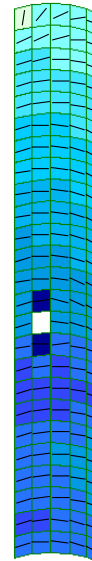
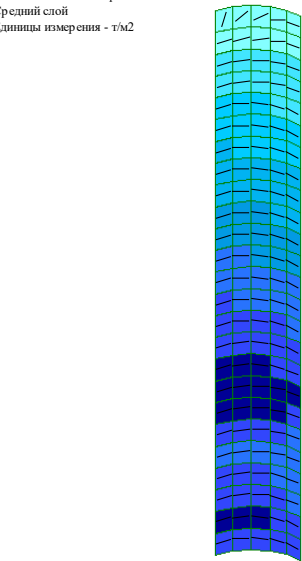
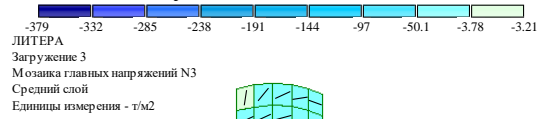
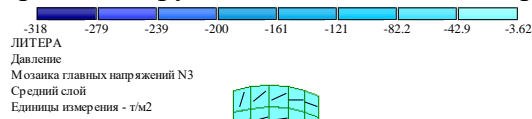
б

Рис. 8. Схема розташування тріщин: а – верхній (зовнішній) шар, б – нижній (внутрішній) шар

В ході поступового видалення елементів відбувається перерозподіл зусиль в елементах біля видалених. Ефект перероз-

поділу зусиль продемонстровано на прикладі головних напружень N3 визначених за теорією міцності Генієва Г. А. [17] (рис. 9). Наприкінці другої стадії головні напру-

ження N3 складають $0,22f_{cd}$, наприкінці третьої – $0,26f_{cd}$, четвертої – $0,37f_{cd}$, п'ятої – $0,56f_{cd}$, де f_{cd} – розрахункове значення міцності бетону на стиск.



a

б

в

г

Рис. 9. Мозаїка головних напружень N3, т/м²: *a* – в кінці другої стадії; *б* – в кінці третьої стадії; *в* – в кінці четвертої стадії; *г* – в кінці п'ятої стадії

Обговорення результатів. Розрахунок на прогресуюче руйнування стовбура оглядової шахти дозволяє моделювати аварійні ситуації, що виникають внаслідок пошкодження та корозійного зносу стінок стовбура. Так пошкодження (виключення з роботи) фрагменту розміром в один кінцевий елемент, що прийнято у розрахунковій схемі (0,8 × 1,0 м), не призводить до руйнування інших елементів, ширина розкриття тріщин не досягає граничних допустимих

значень. При виключенні з роботи двох елементів руйнування відбувається на п'ятому кроці четвертої стадії і починається з руйнації двох елементів і закінчується руйнацією п'яти елементів на десятому кроці. При виключенні з роботи трьох елементів руйнація відбувається у прогресії з шести зруйнованих елементів на першому кроці до сорока шести на десятому кроці п'ятої стадії. Картину руйнування елементів за деякими стадіями наведено на рис. 10.

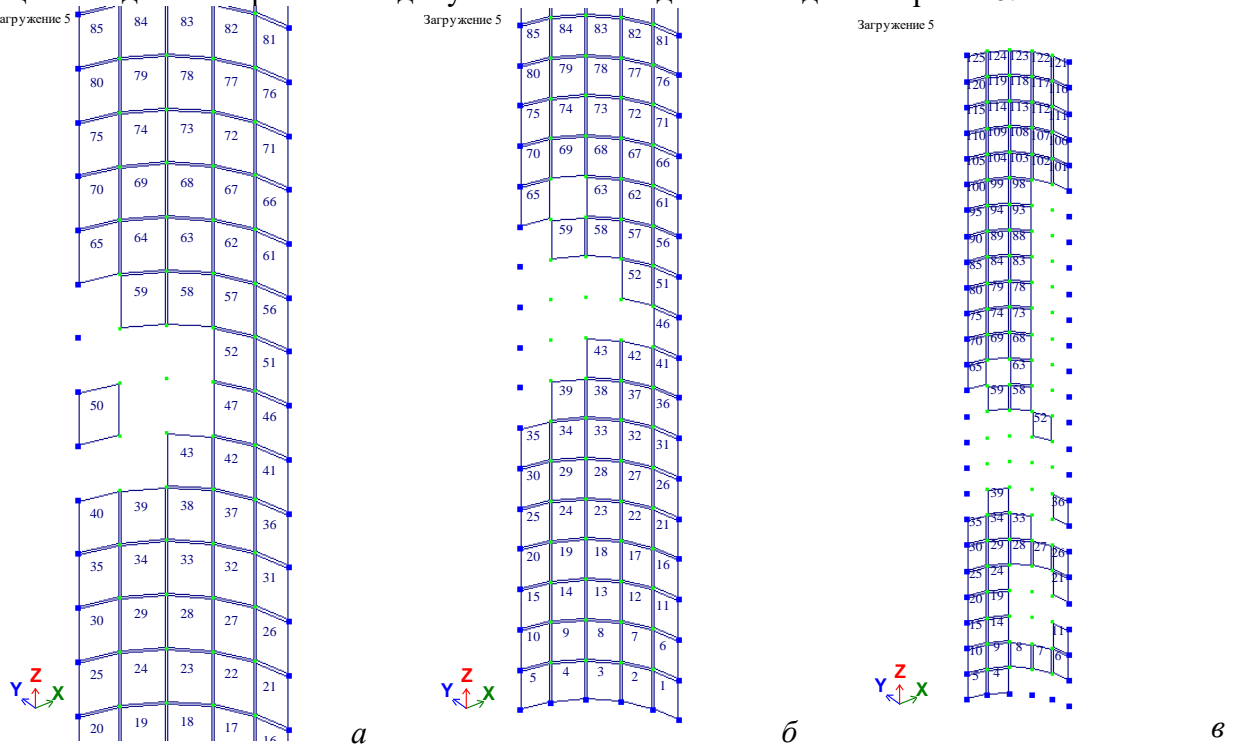


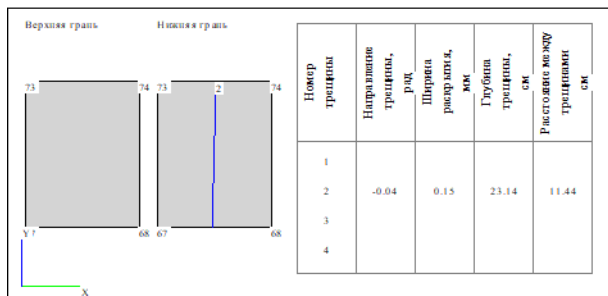
Рис. 10. Картина руйнування елементів: а – 10 крок 4 стадії; б – 5 крок 5 стадії; в – 10 крок 5 стадії

Відстежено розвиток тріщин в кінцевих елементах за стадіями та кроками. Так на рис. 11 наведено графік залежності глибини розкриття тріщини в кінцевому елементі №56 в залежності від відсотку навантаження в стадії 5.

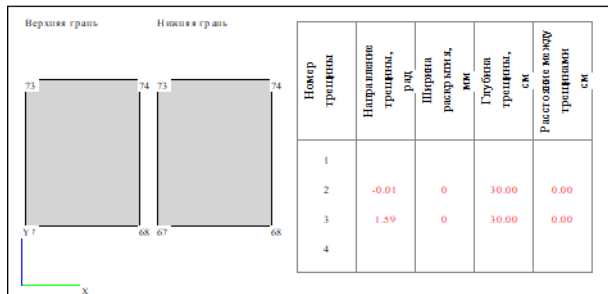
Інформацію про тріщини в кінцевому елементі №56 наведено на рис. 12.



Рис. 11. Графік залежності глибини розкриття тріщини в кінцевому елементі №56 в залежності від відсотку навантаження в стадії 5



а



б

Рис. 12. Інформація про тріщини в кінцевому елементі №56: а – 50% навантаження; б – 100% навантаження

Висновки. У відповідності з сучасними вимогами до проектування [9] пропонується виконувати розрахунок стовбурів шахт на прогресуюче руйнування. Поступове виключення з роботи елементів, які з найбільшою вірогідністю можуть бути зруйновані внаслідок корозійного зносу бетону, дозволяє проектувати стовбури шахт таким чином, щоб мати резерв несучої здатності на час усунення локальних пошкоджень. В подальших дослідженнях передбачається моделювання різних сценаріїв руйнування стовбуру шахти, визначення чутливості конструкцій до пошкоджень у різних зонах, формулювання положень експрес-методики оцінки несучої здатності стовбурів шахт, оцінки живучості конструкцій споруд каналізаційних мереж.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. ДБН В.2.5-75:2013. - [Чинний від 01-01-2014]. -

К. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. – 128 с. – (Державні будівельні норми України).

2. Перепелица Е. А. Обследование шахты №10 канализационного тоннельного коллектора 761-го микрорайона в г. Харьков [Текст] / Е. А. Перепелица, Ю. Н. Яровой, Д. Ф. Гончаренко, А. А. Гармаш // Научный вестник строительства. – 2017. – Т. 86, №4. – С. 94–97.

3. Бондаренко Д. О. Каналізаційні тунелі Харківка : QUO VADIS? [Текст]: монографія / Д. О. Бондаренко, В. В. Булгаков, О. О. Гармаш, Д. Ф. Гончаренко, С. С. Піліграм. ; за загальн. ред. Д. Ф. Гончаренка. – Х. : Раритети України, 2018. – 232 с.

4. Гончаренко Д. Ф. Разработка конструктивных, технических и организационных решений по восстановлению смотровых шахт канализационных туннелей [Текст] / Д. Ф. Гончаренко, Ю. Н. Яровой, Е. А. Перепелица, А. А. Гармаш // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2016. – №12 (225). – С. 10–19.

5. Перепелица Е. А. Технические решения по восстановлению смотровой шахты канализационного тоннельного коллектора в г. Харькове [Текст] / Е. А. Перепелица, А. А. Гармаш // Научный вестник строительства. – 2017. – Т. 87, №1. – С. 116–120.

6. Гончаренко Д. Ф. Выбор конструктивных и технологических решений строительства смотровых шахт на действующих сетях водоотведения глубокого заложения [Текст] / Д. Ф. Гончаренко, Д. Ю. Олейник, Д. А. Бондаренко // Вода и экология: проблемы и решения. – 2014. – №4. – С. 59–68.

7. Швецов Г. И. Основания и фундаменты [Текст]: справочник / Г. И. Швецов, И. В. Носков, А. Д. Слободян, Г. С. Госькова ; под ред. Г. И. Швецова. – М.: Высш. шк., 1991. – 383 с.

8. Горбунов-Посадов М. И. Основания, фундаменты и подземные сооружения [Текст] : справочник проектировщика / М. И. Горбунов-Посадов, В. А. Ильичев, В. И. Крутов ; под общ. ред. Е. А. Сорочана и Ю. Г. Трофименкова. – М. :Стройиздат, 1985. – 480 с.

9. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. ДБН В.1.2-14-2009. - [Чинний від 01-12-2009]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 45 с. – (Державні будівельні норми України).
10. Best practices for reducing the potential for progressive collapse in buildings [Text]. – NIST, February, 2007. – 194 p.
11. Review of international research on structural robustness and disproportionate collapse [Text]. –London: Department for Communities and Local Government, 2011. – 199 p.
12. UFC4-023-03. Unified Facilities Criteria (UFC). Design of Buildings to Resist Progressive Collapse [Text]. – Department of Defense USA, 2016. – 227 p.
13. GSA «Alternate path analysis & design guidelines for progressive collapse resistance» [Text], 2016. – 203 p.
14. Водопьянов Р. Ю. Программный комплекс ЛИРА-САПР. Руководство пользователя. Обучающие примеры [Текст] / Р. Ю. Водопьянов, В. П. Титок, А. Е. Артамонова, М. А. Ромашкина; под ред. А. С. Городецкого. – Электронное издание, 2017. – 535 с.
15. Барабаш М. С. Методика моделирования прогрессирующего обрушения на примере реальных высотных зданий [Текст] / М. С. Барабаш, М. А. Ромашкина // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Компьютерные системы и информационные технологии в образовании, науке и управлении. – 2014. Вып. 78. – С. 28–37.
16. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. ДБН В.2.6-98:2009. – [Чинний від 01-07-2011]. – К. Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с. – (Державні будівельні норми України).
17. Гениев Г. А. Теория пластичности бетона и железобетона [Текст] / Г. А. Гениев, В. Н.

Киссюк, Г. А. Тюпин. – М.: Стройиздат, 1974. – 316 с.

Рюмина Е. А., Рюмин В. В., Яровой Ю. Н. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СТВОЛА СМОТРОВОЙ ШАХТЫ КОЛЛЕКТОРА С УЧЕТОМ ПРОГРЕССИРУЮЩЕГО РАЗРУШЕНИЯ. В статье приведена методика расчета несущей способности ствола смотровой шахты коллектора с учетом прогрессирующего разрушения. Продемонстрирован процесс возникновения трещин и перераспределения усилий при выключении (разрушении) части сечения ствола. Продемонстрировано, что своевременная локализация и устранение повреждений позволяет продлить срок эксплуатации смотровой шахты. Результаты могут быть использованы при выполнении подобных проверочных и проектировочных расчетов.

Ключевые слова: смотровая шахта, коллектор, активное давление грунта, прогрессирующее разрушение, сценарий разрушения, перераспределение усилий, трещиностойкость.

Riumina K. O., Riumin V. V., Yarovy Yu. M. INVESTIGATION OF PERFORMANCE OF SEWER INSPECTION SHAFT WITH PROGRESSIVE COLLAPSE CONSIDERATION. In current article presented design methodology which allows estimating bearing capacity of sewer inspection shaft damaged by progressive collapse. It was shown formation and propagation of cracks and redistribution of forces due to their occurrences. Actual localization and removal such damages increasing serviceability of inspection shafts. Obtained results can be used both in verification and design calculations.

Key words: inspection shaft, sewer, active soil pressure, progressive collapse, collapse script, force redistribution, crack resistance.