

doi.org/10.29295/2311-7257-2021-104-2-311-317

УДК 004:628.27

Шаповалова О.О.¹, Старкова О.В.¹, Солодовник Г.В.¹, Мургулія Р.А.²

¹Харківський національний університет будівництва та архітектури
(вул. Сумська, 40, Харків, 61002, Україна; e-mail: shap_el@ukr.net; orcid.org/0000-0003-4566-6634,
orcid.org/0000-0002-9034-8830, orcid.org/0000-0001-6323-5083)

²Компанія «EPAM Systems»
(вул. 23 серпня, 33, Харків, 61002, Україна; e-mail: medium2015@gmail.com, orcid.org/0000-0003-4474-1540)

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ КЛАСУ ПОШКОДЖЕНЬ ДІЛЯНОК МЕРЕЖІ ВОДОВІДВЕДЕННЯ

Сучасний етап розвитку суспільства вимагає впровадження математичних методів та моделей інтелектуального аналізу даних та останніх наробок в галузі ІТ-технологій навіть у таку усталену галузь як комунальне господарство. Дослідження має на меті обґрунтування доцільності та опис процесу проектування автоматизованої системи визначення класу пошкоджень ділянок мережі водовідведення з застосуванням одного з сучасних алгоритмів інтелектуального аналізу даних. Запропонована автоматизована система надає користувачу можливість здійснити розподіл ділянок мережі за кластерами з визначенням їх центрів з подальшим визначенням пріоритетності проведення ремонтних робіт. У роботі запропоновано новий підхід до визначення класу пошкоджень ділянок мережі водовідведення з застосуванням алгоритмів кластеризації з можливістю вибору однієї з двох метрик (Манхеттенської відстані та Евклідової метрики). Програмна частина реалізована на мові програмування Java з застосуванням та в межах експлуатації системи дозволяє за низкою критеріїв ділянок визначити їх належність до певного класу з можливістю подальшого ранжирування та визначення пріоритетності реновації. Програмне забезпечення є веб-додатком, при проектуванні якого було задіяно фреймворк Apache Maven, контейнер сервлетів з відкритим вихідним кодом Tomcat, набір інструментів для створення сайтів і веб-додатків Bootstrap. За умов наявності Інтернет-з'язку може бути корисною спеціалістам в галузі забезпечення безаварійної роботи мереж водовідведення у довільний час у будь-якому місці.

Ключові слова: клас пошкоджень, ділянки мережі водовідведення, кластеризація, веб-додаток.

Вступ. Серед завдань, з якими стикаються комунальні служби міст та населених пунктів України, перші рядки у рейтингу займають питання забезпечення безперебійного функціонування мереж водовідведення [1-6]. Каналізаційні канали, поверхні яких постійно підпадають під вплив агресивних речовин, з часом зазнають характерних ушкоджень, що сприяє виходу з ладу певних ділянок та настання аварійної ситуації. Завчасна діагностика найбільш вразливих ділянок та мережі в цілому з подальшим вживання профілактичних заходів для підтримки надійної роботи системи можуть значно скоротити витрати на ремонт у разі аварії та забезпечити надання якісних послуг споживачам.

Автоматизація обробки даних досліджень стану каналів та ранжирування ділянок за характером та ступенем їх пошкодження є актуальною задачею сьогодення, що дозволить мінімізувати пов'язані з цим трудовитрати. Залучення останніх наробок в галузі математичного моделювання, інтелектуального аналізу даних та ІТ-технологій до розв'язання практичних задач, зокрема в будівництві, реновації та підтримці працеспроможності складних систем є загальноприйнятною практикою серед сучасних науковців, що намагаються знайти оптимальні рішення та скоротити витрати за рахунок впровадження наукоємних технологій[7-10].

Автори низки робіт [5-10] пропонують різні підходи до розв'язання цієї проблеми. Так, у [5] розглядаються питання стратегії вибору потенційних об'єктів санації водопровідних мереж на підґрунті аналізу результатів технічного діагностування стану ділянок за низкою критеріїв. При цьому критеріями виступають динаміка зміни показників надійності окремих ділянок, наявність зовнішніх дестабілізуючих факторів, вік, технічний стан та придатність трубопроводів до ремонту, ймовірні терміни залишкові корисної експлуатації, попередні витрати на відновлення, відношення актуальної вартості трубопроводів до необхідних витрат у разі їх відновлення; обмеження щодо фінансових витрат.

Запропонована у [6] методика та інформаційна система визначення категорійності ділянок каналізаційної мережі дозволяє визначати клас стану ділянки колектора, оціночні коефіцієнти, а також списки як окремих ділянок, так і цілих колекторів, які потребують першочергової санації. Нажаль, для ефективного використання даної методики необхідна спеціальна професійна підготовка і високий рівень володіння спеціальним програмним інструментарієм, що часто не дозволяє в повній мірі застосовувати її на практиці планування ремонтно-відновлювальних робіт.

Запропоноване авторами інформаційно-технічне забезпечення дозволяє зберігати результати технічного діагностування стану ділянок в банку даних та у разі потреби за запитом витягувати необхідні дані, щоб оцінити перелічені критерії та визначити район водопровідної мережі міста або ділянку з найбільшою аварійністю трубопроводів (за обраними для аналізу діаметрами, матеріалами і термінами експлуатації) [5, 6].

Достатньо вдалими виявились здійснені вітчизняними вченими спроби оцінки стану і побудови пріоритетного списку відновлення об'єктів водовідвідної мережі [7-10]. Запропонована авторами інформаційна система дозволяє автоматизувати процес побудови списку пріоритетних об'єктів санації водовідвідної мережі та на основі даних про стан каналізаційної мережі здійснювати візуалізацію ділянки мережі, що необхідна користувачеві, з усіма параметрами, що її характеризують [9].

Матеріали і методи досліджень. Проаналізовані дослідження не дають однозначного і універсального опису, який дозволяв би визначати категорійність ділянок каналізаційної мережі, орієнтуючись на їх технічний стан. Таким чином, актуальним є розгляд існуючих методів визначення категорійності каналізаційних колекторів. Також на даний момент не існує автоматизованих програм для визначення класу ушкоджень з використанням кластерного аналізу.

Актуальність проведення дослідження та створення за його результатами програмного додатка підтверджується постійним інтересом науковців до цього питання [1-10] та полягає в необхідності створення автоматизованої системи визначення класу пошкоджень ділянок мережі водовідведення. Такий додаток стане у пригоді спеціалістам в галузі підтримки безаварійної роботи мережі водовідведення та надасть можливість найкращим чином розробити плани ремонтних робіт на підґрунті аналізу великих обсягів інформації та класифікації ділянок за рівнем їх пошкоджень.

Метою роботи є обґрунтування доцільності та опис процесу проектування автоматизованої системи визначення класу пошкоджень ділянок мережі водовідведення з застосуванням алгоритму кластеризації. Призначенням автоматизованої системи є розподіл ділянок мережі водовідведення за кластерами (з визначенням їх центрів) з подальшим визначенням пріоритетності проведення ремонтних робіт. Об'єктом дослідження є програмний додаток реалізації алгоритмів кластеризації з метою диференціації ділянок мережі водовідведення за рівнем їх пошкоджень. Предметом дослідження є технологія реалізації алгоритмів аналізу ділянок мережі водовідведення з застосуванням інструментів інтегрованого середовища розробки IntelliJ Idea та мови програмування Java.

Результати дослідження. За результатами аналізу предметної області вхідними даними автоматизованої системи визначення класу пошкоджень ділянки мережі водовідведення було обрано її назву та величини зменшення поперечного перерізу, тріщин, деформації, розривів труб, корозії залізобетону, а вихідними даними – належність до певного кластеру з визначенням характеристичних показників його центру. Користувачу надається можливість за вхідними даними здійснювати ініціювання розрахункового процесу, переглядати та вивантажувати дані у файл. В ході завантаження вхідних даних певним чином підготовлена вхідна інформація завантажується в систему для подальшого аналізу та виявлення закономірностей.

Ініціювання розрахункового процесу активує процес кластеризації даних, в ході якого користувач обирає метрику, кількість кластерів та ітерацій та отримує розподіл ділянок за кластерами. Результати розрахунку у вигляді файлу з інформацією про кожну ділянку з зазначенням класу пошкоджень, а також координати центрів кластерів зберігаються та за бажанням користувача можуть бути переглянуті та використані в подальшому для прийняття рішень щодо першочерговості ремонтних робіт. Діаграма діяльності демонструє послідовність дій автоматизованої системи та поділу ділянок на кластери (рис. 1).

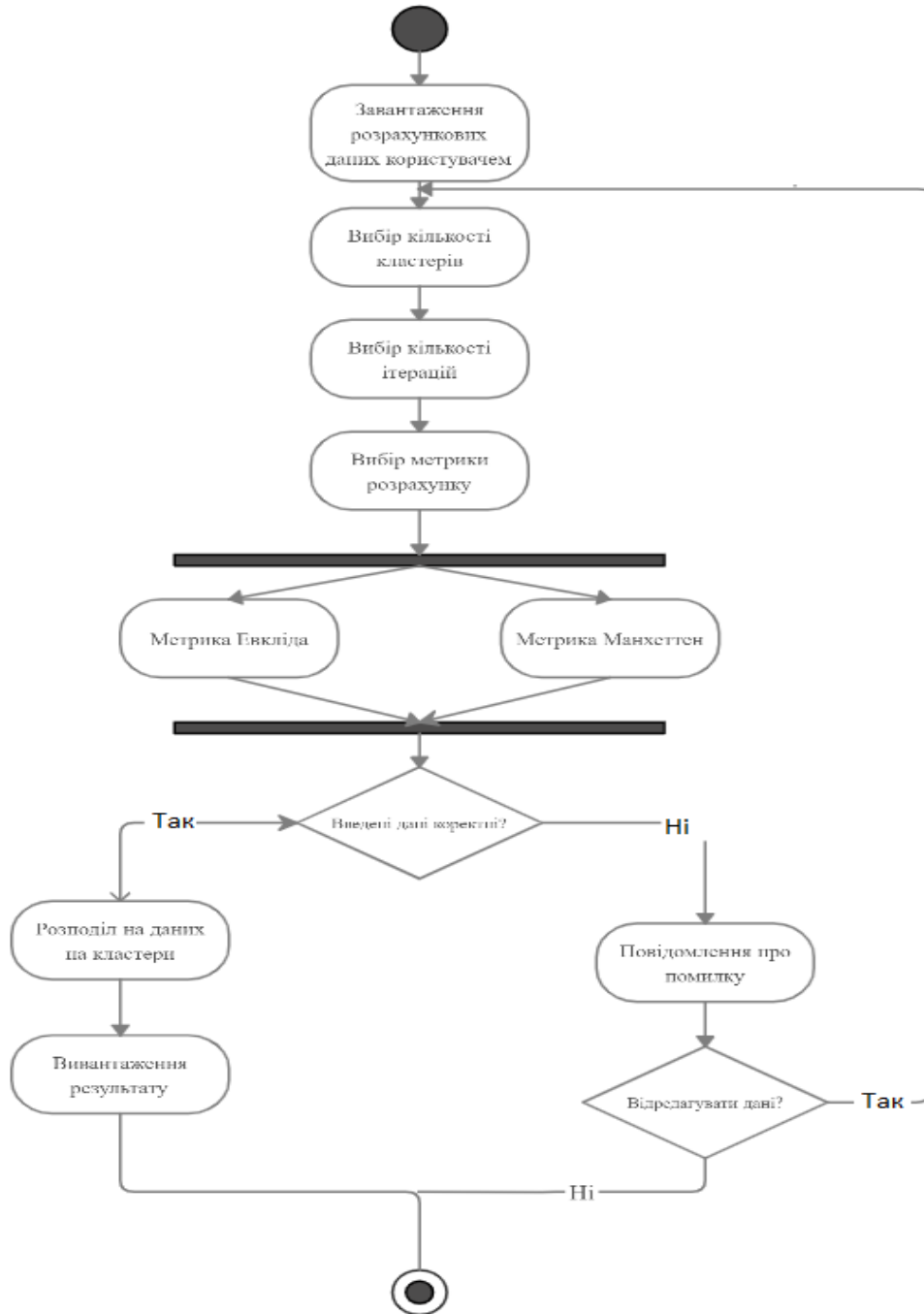


Рис. 1. Діаграма діяльності

В ході роботи в системі здійснюються наступні алгоритмічні та математичні розрахунки:

- формування файлу з вихідними даними;
- кластерний розподіл обраних до розгляду ділянок за методом k-середніх [11-12];

- пошук центроїдів кластерів з застосуванням Евклідової [13] та Манхеттенської [14, 15] метрик.

Для здійснення кластеризації даних методом k-середніх кількість кластерів та число ітерацій задається автоматично. Кожен об'єкт представляється послідовністю нормалізованих атрибутів, тобто значення всіх параметрів (атрибутів) приведені до інтервалу [0, 100]. В процесі роботи алгоритму об'єкту призначається той кластер, до центроїду якого він виявився найближчим. Описані операції виконуються доти, поки кількість операцій не перевищить максимально припустиму. Також умовою виходу з циклу є досягнення стану, коли об'єкти перестають призначатися в нові кластери. На виході алгоритму користувачеві надається набір об'єктів, що розбиті на кластери, центроїди яких рівновіддалені один від одного.

При створенні веб-додатку були використані наступні інструменти:

- фреймворк Apache Maven, призначений для автоматизації збирання проектів на основі опису їх структури в файлах на мові POM (англ. Project Object Model);
- контейнер сервлетів з відкритим вихідним кодом Tomcat, який дозволяє запускати веб-додатки та містить ряд програм для самоконфігурування;
- система тестування мови програмування Java TestNG;
- бібліотека для модульного тестування програмного забезпечення на мові Java JUnit та її розширення DBUnit;
- набір інструментів для створення сайтів і веб-додатків Bootstrap;
- середовище на основі Java з відкритим вихідним кодом Spring Boot.

Для початку роботи з веб-додатком, користувачу необхідно перейти до головної сторінки сайту (рис. 2).

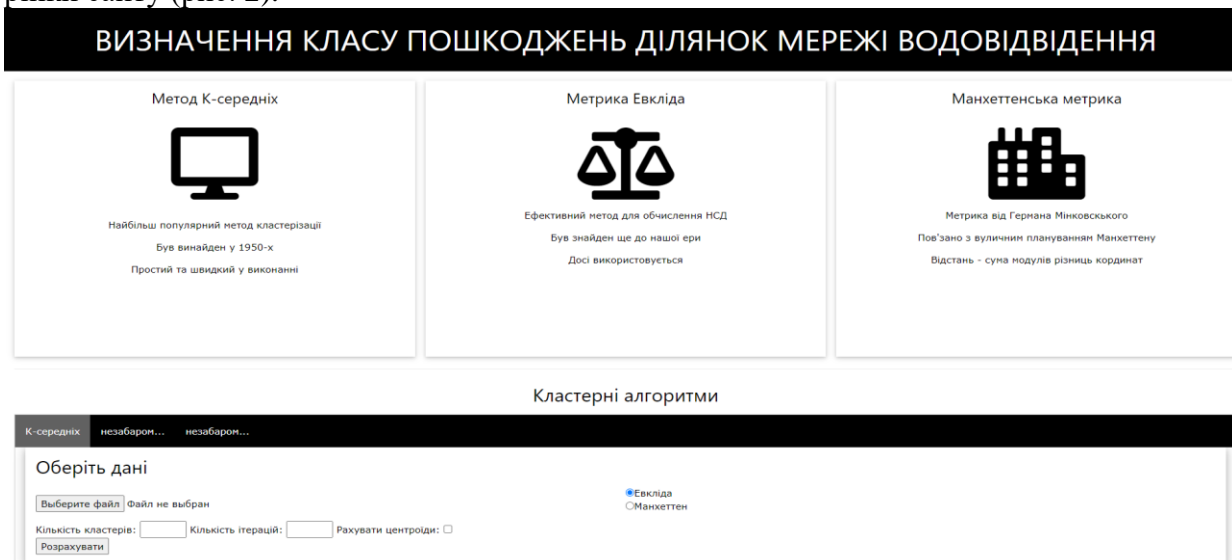


Рис. 2. Вікно головної сторінки сайту

На цій формі користувач має змогу обрати кількість кластерів, кількість ітерацій, розраховувати центроїди чи ні, застосовувати метрику Евкліда або Манхеттен. Також файл типу .txt із розрахунковими даними має бути завантажений.

Файл, що завантажується, у рядках має містити чисельні дані ділянки за 5 характеристиками (зменшення перерізу, тріщина, деформація, розрив труби, корозія залізобетону) та її текстову назву, що відокремлюються комами (рис. 3). Якщо будь-яка характеристика відсутня, припустима її заміна на число 0.

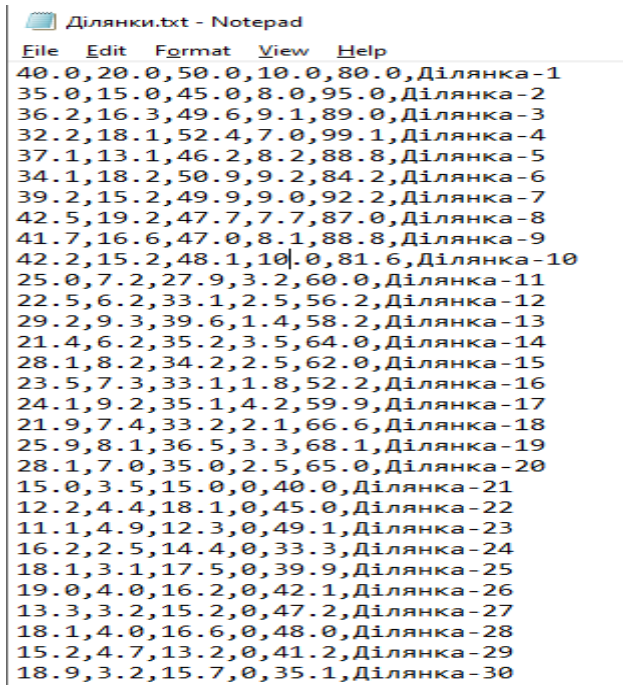


Рис. 3. Зразок файлу, що завантажується

Натискання кнопки «Розрахувати» після завантаження вхідних даних призведе до отримання результату. Для зручності подальшого використання та аналізу дані можуть бути подані у табличному вигляді з застосуванням вбудованих інструментів програми Excel (рис. 4).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Зменшення перерізу, м	Тріщина, м	Деформація, мм	Розрив труби, с	Корозія залізобетону, мм	Ділянка	Кластер	Центроїди		
2	5.2	0.99	9.5	0	28.1	Ділянка-37	3	0 = [30.0, 10.0, 40.0, 7.6, 85.0]		
3	39.2	15.2	49.9	9	92.2	Ділянка-7	0	1 = [25.0, 7.5, 30.0, 2.5, 60.0]		
4	8.2	1.1	7.6	0	26.2	Ділянка-33	3	2 = [15.0, 3.5, 15.0, 0.0, 40.0]		
5	35	15	45	8	95	Ділянка-2	0	3 = [7.5, 1.25, 8.0, 0.0, 20.0]		
6	11.1	4.9	12.3	0	49.1	Ділянка-23	2	4 = [2.5, 0.25, 3.0, 0.0, 5.0]		
7	3.3	0.11	5.6	0	7.4	Ділянка-42	4			
8	15	3.5	15	0	40	Ділянка-21	2			
9	7.7	1.21	6.4	0	19.2	Ділянка-38	3			
10	21.9	7.4	33.2	2.1	66.6	Ділянка-18	1			
11	7.5	1.25	8	0	20	Ділянка-31	3			
12	5.2	1.4	9.1	0	23.5	Ділянка-32	3			
13	18.1	4	16.6	0	48	Ділянка-28	2			
14	4.2	0.37	4.9	0	8.2	Ділянка-46	4			
15	37.1	13.1	46.2	8.2	88.8	Ділянка-5	0			
16	8.9	0.89	8.2	0	25.2	Ділянка-36	3			
17	42.2	15.2	48.1	10	81.6	Ділянка-10	0			
18	19	4	16.2	0	42.1	Ділянка-26	2			
19	23.5	7.3	33.1	1.8	52.2	Ділянка-16	1			
20	8.1	1.11	7.2	0	22.1	Ділянка-39	3			
21	2.5	0.25	3	0	5	Ділянка-41	4			
22	1.1	0.33	2.5	0	8.2	Ділянка-43	4			
23	36.2	16.3	49.6	9.1	89	Ділянка-3	0			
24	1.6	0.27	3.2	0	5.9	Ділянка-47	4			
25	25	7.2	27.9	3.2	60	Ділянка-11	1			
26	4.4	0.09	5.2	0	2.2	Ділянка-48	4			
27	3.6	0.19	5.2	0	9.1	Ділянка-45	4			
28	1.7	0.33	5.1	0	8.2	Ділянка-49	4			
29	22.5	6.2	33.1	2.5	56.2	Ділянка-12	1			
30	28.1	7	35	2.5	65	Ділянка-20	1			
31	24.1	9.2	35.1	4.2	59.9	Ділянка-17	1			
32	13.3	3.2	15.2	0	47.2	Ділянка-27	2			
33	18.1	3.1	17.5	0	39.9	Ділянка-25	2			
34	16.2	2.5	14.4	0	33.3	Ділянка-24	2			
35	15.2	4.7	13.2	0	41.2	Ділянка-29	2			
36	42.5	19.2	47.7	7.7	87	Ділянка-8	0			
37	29.2	9.3	39.6	1.4	58.2	Ділянка-13	1			
38	28.1	8.2	34.2	2.5	62	Ділянка-15	1			
39	1.9	0.31	4.2	0	6.2	Ділянка-50	4			
40	32.2	18.1	52.4	7	99.1	Ділянка-4	0			
41	9.1	1.33	6.6	0	15.2	Ділянка-40	3			
42	1.8	0.42	1.2	0	4.2	Ділянка-44	4			
43	21.4	6.2	35.2	3.5	64	Ділянка-14	1			
44	41.7	16.6	47	8.1	88.8	Ділянка-9	0			
45	9	1.36	9.2	0	15.2	Ділянка-35	3			

Рис. 4. Результат розподілу ділянок по кластерах у табличному вигляді

Обговорення результатів. Розроблена автоматизована система застосовується для визначення класу пошкоджень ділянок мережі водовідведення. Вона базується на

основних критеріях, принципах та методологічному інструментарії класифікації потенційних об'єктів реновації, що висвітлені в наукових дослідженнях [2, 3] та алгоритмах кластерного аналізу, область застосування яких є достатньо широкою та обговорюється в роботах [11-14].

Висновки. За результатами дослідження на прикладі відомих автоматизованих систем визначення класу пошкоджень ділянок мережі водовідведення було розглянуто підходи до розв'язання цього завдання, проведено аналіз предметного середовища та побудовано діаграму діяльності, що була покладена в основу проектування автоматизованої системи. На підґрунті аналізу предметної області було виділено вхідні та вихідні дані для системи, обрано як методологію визначення пріоритетності ремонту кластерний аналіз.

Спроектована та реалізована система, програмна частина якої є WEB-додатком з клієнтською та серверною частинами, що автоматизують визначення класу пошкоджень ділянок мережі водовідведення. Користувачу надана можливість зберігати результати розрахунків у базі даних та подальшої їх обробки засобами табличних процесорів. Тестування системи показало високу швидкість обробки статистичних даних та 100% точність розподілу ділянок за кластерами на тестовій вибірці. В подальшому планується застосувати спроектовану систему для аналізу ділянок мережі водовідведення як в режимі реального часу так і для складання планів проведення реноваційних робіт.

ЛІТЕРАТУРА:

REFERENCES:

1. Гончаренко Д.Ф., Бондаренко А.И., Булгаков В.В., Гармаш А.А. К вопросу обеспечения ремонтпригодности канализационных тоннелей в Харькове. *Наук. вісник будівництва*. 2016. Вип. 2. С. 144-148.
1. Goncharenko D.F., Bondarenko A.I., Bulgakov V.V., Garmash A.A. K voprosu obespecheniya remontprigodnosti kanalizatsionnykh tonneley v Khar'kove. *Nauk. visnik budivnitsva*. 2016. Vip. 2. S. 144-148.
2. Старкова О.В. Модели обоснованного выбора метода ремонта и восстановления участка канализационной сети. *Наук. вісник будівництва*. 2016. Вип. 3. С. 80-85.
2. Starkova O.V. Modeli obosnovannogo vybora metoda remonta i vosstanovleniya uchastka kanalizatsionnoy seti. *Nauk. visnik budivnitsva*. 2016. Vip. 3. S. 80-85.
3. Старкова О.В., Шаповалова Е.А., Гнучих Л.А. Моделирование выбора метода восстановления сетей водоотведения. *Комунальне господарство міст*. 2008. Вип. 85. С. 19-26.
3. Starkova O.V., Shapovalova Ye.A., Gnuchikh L.A. Modelirovaniye vybora metoda vosstanovleniya setey vodootvedeniya. *Komunal'ne gospodarstvo mist*. 2008. Vip. 85. S. 19-26.
4. Булгаков Ю.В. Исследование процесса разрушения конструкций канализационного тоннельного коллектора. *Наук. вісник будівництва*. 2015. Вип. 5. С. 79-84.
4. Bulgakov YU.V. Issledovaniye protsessa razrusheniya konstruktsiy kanalizatsionnogo tunnel'nogo kollektora. *Nauk. visnik budivnitsva*. 2015. Vip. 5. S. 79-84.
5. Орлов В.А., Харькин В.А. Разработка стратегии восстановления водоотводящих сетей. *Строительство и Архитектура*. 2001. С. 15-32.
5. Orlov V.A., Khar'kin V.A. Razrabotka strategii vosstanovleniya vodootvodyashchikh setey. *Stroitel'stvo i Arkhitektura*. 2001. S. 15-32.
6. Коринько И.В. Старкова О.В., Шевченко А.А. Методологические основы компьютерного моделирования систем водоотведения. *Наук. вісник будівництва*. 2003. Вип. 23. С. 223-229.
6. Koryn'ko Y.V. Starkova O.V., Shevchenko A.A. Metodolohycheskiye osnovy komp'yuternoho modelirovaniya system vodootvedeniya. *Nauk. visnyk budivnytsva*. 2003. Vyp. 23. S. 223-229.
7. Гончаренко Д.Ф., Старкова О.В., Алейникова А.И. Разработка автоматизированной системы выбора способа восстановления водоводов с использованием аппарата нечеткой логики. *Системы обробки інформації*. 2014. Вип. 8(124). С. 18-23.
7. Honcharenko D.F., Starkova O.V., Aleynikova A.Y. Razrabotka avtomatyzirovannoy systemy vybora sposoba vosstanovleniya vodovodov s yspol'zovaniyem aparata nechetkoy lohyky. *Systemy obrobky informatsiyi*. 2014. Vyp. 8(124). S. 18-23.
8. Солодовник Г.В., Дейнега А.А. Інформаційні технології у прийнятті багатоступневих рішень. *Наук. вісник будівництва*. 2019. Вип. 2. С. 165-166.
8. Solodovnyk H.V., Deyneha A.A. Informatsiyni tekhnolohiyi u pryynyatti bahatoetapnykh rishen'. *Nauk. visnyk budivnytsva*. 2019. Vyp. 2. S. 165-166.

9. Старкова О.В., Шаповалова Е.А., Гнучих Л.А., Бондаренко Д.А. Разработка автоматизированной информационной системы определения приоритетных объектов реновации трубопроводов водоснабжения. Комунальне господарство міст. 2011. Вип. 99. С. 312-316.
10. Goncharenko D, Shumakov I, Starkova O, Aleinikova A, Mikautadze R. Methodological and computer-based support for choosing underground utility networks renovation method. MATEC Web of Conferences 230, 02010, 2018.
11. Adam Coates and Andrew Y. Ng. Learning Feature Representations with K-means, Stanford University, 2012.
12. Mirkes E.M. K-means and K-medoids applet. University of Leicester, 2011.
13. Дюран Б., Оделл П. Кластерный анализ. Москва: Статистика, 1977. 128 с.
14. Ким О. Дж., Мьюллер Ч.У., Клекка У.Р. и др. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. Москва: Финансы и статистика, 1989. 215 с.
15. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект. Современный подход. Москва: Вильямс, 2007. 1410 с.
9. Starkova O.V., Shapovalova E.A., Hnuchykh L.A., Bondarenko D.A. Razrabotka avtomatyzirovannoy ynformatsyonnoy systemy opredelenyya pryorytetnykh ob"ektov renovatsyy truboprovodov vodosnabzhenyya. Komunal'ne gospodarstvo mist. 2011. Vyp. 99. S. 312-316.
10. Goncharenko D, Shumakov I, Starkova O, Aleinikova A, Mikautadze R. Methodological and computer-based support for choosing underground utility networks renovation method. MATEC Web of Conferences 230, 02010, 2018.
11. Adam Coates and Andrew Y. Ng. Learning Feature Representations with K-means, Stanford University, 2012.
12. Mirkes E.M. K-means and K-medoids applet. University of Leicester, 2011.
13. Dyuran B., Odell P. Klasternyy analiz. Moskva: Statistika, 1977. 128 s.
14. Kim O. Dzh., M'yuller CH.U., Klekka U.R. i dr. Faktornyy, diskriminantnyy i klasternyy analiz. Moskva: Finansy i statistika, 1989. 215 s.
15. Rassel S., Norvig P. Iskusstvennyy intellekt. Sovremennyy podkhod. Moskva: Vil'yams, 2007. 1410 s.

Shapovalova O., Starkova O., Solodovnik G., Murhuliia R. AUTOMATED SYSTEM FOR DETERMINATION OF DAMAGE CLASS OF DRAINAGE NETWORK SECTIONS. The current stage of development of society requires the introduction of mathematical methods and models of data mining and the latest developments in the field of IT technologies, even in such an established industry as utilities. The study aims to substantiate the feasibility and description of the process of designing an automated system for determining the class of damage to sections of the drainage network using one of the modern algorithms for data mining. The proposed automated system provides the user with the opportunity to distribute sections of the network by clusters with the definition of their centers with the subsequent determination of the priority of repair work. The paper proposes a new approach to determining the class of damage to sections of the drainage network using clustering algorithms with the possibility of choosing one of two metrics (Manhattan distance and Euclidean metric). The software part is implemented in the Java programming language with the use and within the operation of the system allows a number of site criteria to determine their belonging to a particular class with the possibility of further ranking and prioritization of renovation. The software is a web application designed by the Apache Maven framework, a Tomcat open source servlet container, and a set of tools for creating Bootstrap sites and web applications. If you have an Internet connection, it can be useful for professionals in the field of ensuring the trouble-free operation of drainage networks at any time, anywhere.

Key words: damage class, drainage network sections, clustering, web application.