

ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА УМОВ РОБОТИ ТРУБЧАТИХ ПЕРЕПАДНИХ КОЛОДЯЗІВ
СИСТЕМ ВОДОВІДВЕДЕННЯ

COMPARATIVE ASSESSMENT OF OPERATING CONDITIONS OF TUBULAR DROP
MANHOLES OF SEWERAGE SYSTEMS



Кравчук Андрій Михайлович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри водопостачання та водовідведення, Київський національний університет будівництва і архітектури, e-mail: kravchuk.am@knuba.edu.ua, тел. +380673933558, Україна, 03037, м. Київ, просп. Повітрофлотський, 31, к. 283.

<https://orcid.org/0000-0001-8732-9244>



Кравчук Ольга Яківна, старший викладач кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд, Національний транспортний університет, e-mail: olgakravchuk56@gmail.com, тел. +380978413805, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омелянвича-Павленка, 1, к. 229.

<https://orcid.org/0000-0003-2616-5455>

Анотація. В даній роботі на основі аналізу літературних даних проведено оцінку роботи стандартних типів перепадних каналізаційних колодязів і на цій основі запропоновано нову конструкцію перепаду колодязя із змінною за висотою площею поперечного перерізу. Для вивчення і порівняння характеристик і умов роботи стандартних споруд і споруд запропонованої конструкції на спеціально змонтованому стенді була проведена серія експериментальних досліджень моделей даних конструкцій. Моделі перепадних стояків були виготовлені з оргскла, що дозволило візуалізувати структуру потоків рідини в обох випадках. Встановлено, що в перепадних стояках, в залежності від витрати, що пропускається, можливе встановлення трьох режимів руху: безнапірного, перехідного і напірного. Для перепаду постійного перерізу розрахунковим режимом слід вважати безнапірний режим руху. Значна увага в дослідженнях була приділена вимірюванням величини динамічних навантажень від падаючого потоку на дно водобійного колодязя. В тому числі визначенню коефіцієнта нерівномірності дії динамічного навантаження від впливу струмини. Визначено, що для перепадів, які виготовлені із стояка постійного перерізу, його величина залежить від витрати, що пропускається стояком та може досягати значень 3 і більше. Коефіцієнт нерівномірності динамічного навантаження для таких стояків слід приймати рівним 1,5. Для стояків змінного перерізу коефіцієнт нерівномірності не перевищує величини 1,5 для довільних величин витрат.

Ключові слова: каналізаційний перепадний колодязь, перепадний стояк, верхній б'єф, нижній б'єф, динамічне навантаження, струмина потоку.

Вступ

Для відводу стічних вод від споживачів в населених пунктах проектується міська мережа водовідведення. У випадку, коли за особливостями місцевого рель'єфу, виникає необхідність переведу стічних вод з більш високих відміток у понижені місця на мережі водовідведення влаштовуються спеціальні перепадні колодязі [1,2].

У відповідності з діючими нормами конструкції перепадних колодязів залежать від висоти перепаду [3]. Так на трубопроводах діаметром до 600 мм перепади висотою до 0,5 м допускається здійснювати без улаштування перепадного колодязя. Перепади висотою до 3 м на трубопроводах діаметром 600 мм і більше належить приймати у вигляді водозливів практичного профілю. Перепади висотою до 6 м на трубопроводах діаметром до 500 мм включно належить здійснювати в колодязях у вигляді стояка перерізом не менше перерізу підвідного трубопроводу.

У вітчизняній практиці будівництва водовідвідних мереж найбільше розповсюдження, у зв'язку їх відносною простотою і дешевизною, отримали перепадні колодязя трубчатого типу. Такі колодязі конструктивно складаються з трьох основних частин: вхідної – верхнього б'єфу, центральної, по якій відбувається безпосереднє транспортування рідини і нижнього б'єфу, конструкція якого залежить від схеми приєднання труб в колодязі. Не дивлячись на велике розповсюдження даних споруд вони мають ряд суттєвих недоліків, які потребують свого детального вивчення і усунення.

Виклад основного матеріалу

Аналіз великої кількості експериментальних даних показав [4-7], що пропускна спроможність вертикальних стояків трубчатих перепадів залежить від способу приєднання їх до підвідних мереж. Встановлено, що пропускну спроможність каналізаційного перепаду рекомендується визначати за формулою:

$$Q = AD^{2,5}, \quad (1)$$

де D – діаметр стояка.

Значення параметра A при різних радіусах закруглення вхідної воронки можна приймати з таблиці 1 [8].

$R_{\text{вх}}/D$	< 1	1	3
A	2,35	3,0	4,0

При відомих значеннях $R_{\text{вх}}$ і D більш точно параметр A рекомендується розраховувати за формулою:

$$A = 0,61 \sqrt{g \left(\frac{R_{\text{вх}}}{D} + 1,5 \right)}. \quad (2)$$

У випадку приєднання за допомогою прямого трійника для визначення максимальної витрати через стояк рекомендується формула:

$$Q = 2,35D^{2,5}, \quad (3)$$

для косого трійника:

$$Q = 3,1D^{2,5}, \quad (4)$$

для плавних форм вхідної воронки:

$$Q = 4,87D^{2,67}. \quad (5)$$

При використанні в якості стояків каналів некруглого перерізу в розрахунках слід приймати еквівалентний діаметр каналу. Так для квадратних перерізів: $D_{\text{екв}} = a$; для прямокутних перерізів

$$D_{\text{екв}} = \frac{2ab}{a+b}; \text{ для трикутного } D_{\text{екв}} = \frac{b}{\sqrt{3}}, \text{ де } a \text{ і } b - \text{довжина сторін перерізу [9].}$$

Для можливості дослідження умов роботи трубчатих перепадних колодязів в лабораторії гідравліки Київського національного університету будівництва і архітектури була проведена серія експериментальних вимірювань характеристик потоку на моделі перепадного колодязя при різних конструкціях його транспортуючої трубної частини. Схема лабораторної установки приведена на рис. 1.

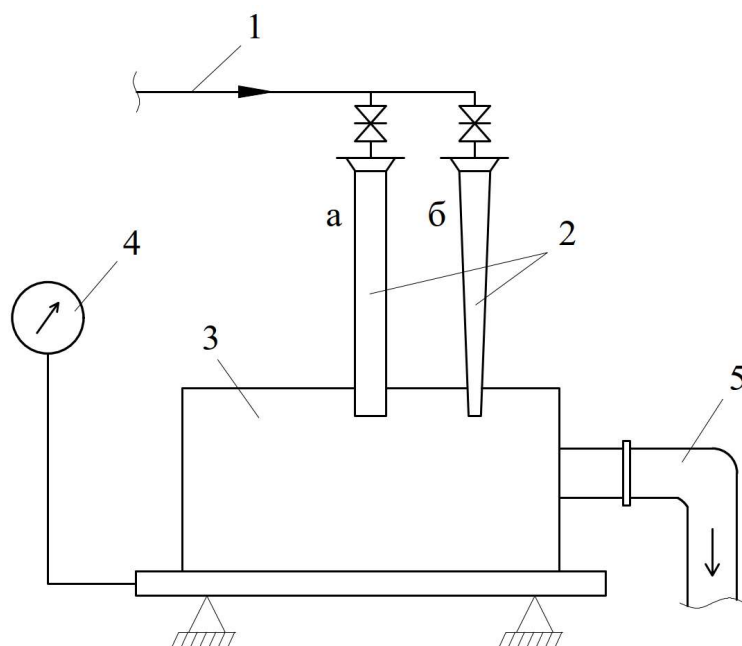


Рисунок 1 – Схема експериментальної установки перепадного колодязя:
а) варіант встановлення на перепаді труби постійного перерізу за довжиною;
б) варіант встановлення на перепаді труби змінного перерізу за довжиною

Figure 1 – Scheme of experimental setup of a drop manhole:
a) the option of the pipe with constant cross-section in length installation on the drop;
b) the option of the pipe with variable cross-section in length installation on the drop

Установка складається з трубопроводу для подачі води 1 на модельну трубу перепаду 2. В досліджах використовувались два трубопроводи з прозорого матеріалу (оргскло): постійного і змінного перерізу. Після трубчатого перепаду вода надходить у вимірювальну кювету 3, яка встановлена на вагах 4 і далі трубою 5 відводиться у збірний бак. У вимірювальній кюветі на різній висоті було встановлено ряд п'єзометрів, за допомогою яких вимірювалось осереднене значення статичного навантаження, а також динамічну складову навантаження від падаючого по стояку потоку рідини. За допомогою ваг реєструвалося сумарне миттєве значення статичного і динамічного навантаження на дно кювети. Реєстрація осереднених значень пульсацій діючих навантажень на дно вимірювальної кювети здійснювалась спеціальним безконтактним датчиком.

В експериментах було проведено дві серії дослідів: при трубі постійного і змінного перерізу за довжиною. Схеми руху води по кожному стояку, отримані в результаті вимірів, в залежності від величини витрати приведені на рис. 2 і рис. 3.

Як показано на рис. 2 для стояка постійного перерізу в залежності від величини витрати, яка проходить по ньому, можна виділити три основних режими руху [8]: безнапірний, при якому ступінь заповнення перерізу стояка рідиною K по всій висоті менше одиниці ($K < 1$); напірний – повне заповнення перерізу стояка по всій висоті ($K = 1$) і перехідний ($K \leq 1$, а $K = 1$ тільки у верхній частині стояка).

Як показує практика, за розрахунковий приймають безнапірний режим руху, який, як правило, має місце в каналізаційних колекторах. В цьому випадку стічна вода під дією сили тяжіння переміщується по стінках вертикальної труби. Причому, за висотою швидкість руху рідини буде збільшуватися, а товщина її пристінного шару – зменшуватися. В дослідях при стояку діаметром $D = 100$ мм безнапірний режим руху води в ньому зберігався до витрати 3,2 л/с.

При збільшенні витрати в стояку виникав перехідний режим руху (рис. 2,б). В цьому випадку переріз у верхній частині стояка повністю заповнюється водою, а в нижній його частині створюється певний вакуум, під дією якого відбувається періодичний зрив маси води з верхньої частини стояка. За рахунок цього механічне навантаження на дно водобійного колодязя значно збільшується.

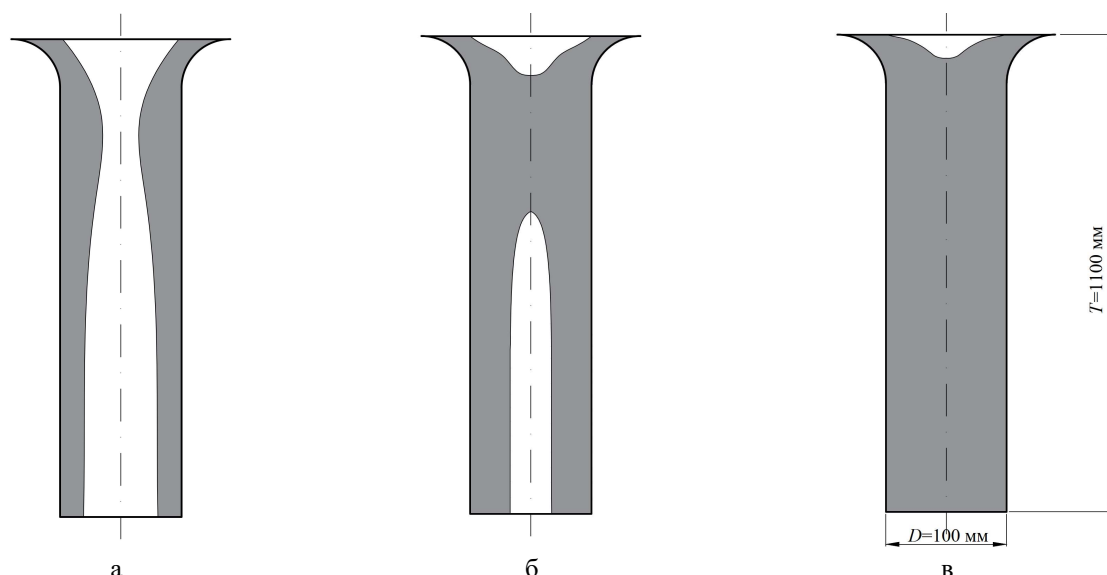


Рисунок 2 – Схеми режимів руху рідини у дослідній вертикальній тубі постійного поперечного перерізу: а) безнапірний режим; б) перехідний режим; в) напірний режим

Figure 2 – Schemes of fluid motion modes in the experimental vertical tube of constant cross-section: a) pressureless mode; b) transitional mode; c) pressure mode

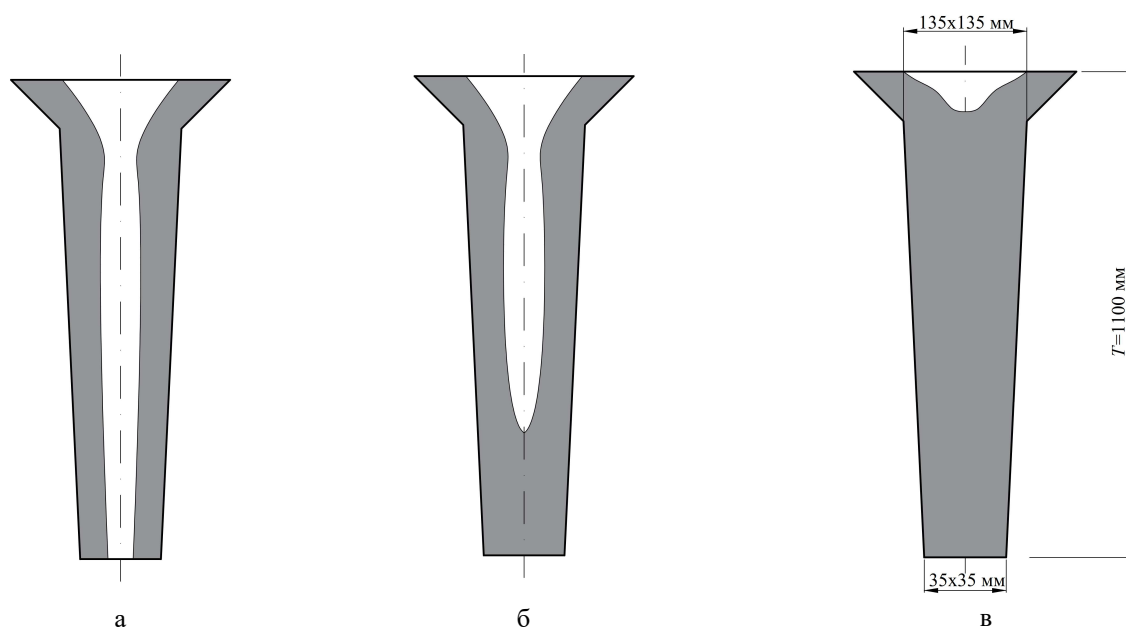


Рисунок 3 – Схеми режимів руху рідини у дослідній вертикальній тубі змінного поперечного перерізу: а) безнапірний режим; б) перехідний режим; в) напірний режим

Figure 3 – Schemes of fluid motion modes in the experimental vertical tube of variable cross-section: a) pressureless mode; b) transitional mode; c) pressure mode

Окрім цього, при перехідному і напірному режимах руху і постійному діаметрі перепадного стояка можливе виникнення підпору у підвідному трубопроводі. Це призводить до зменшення швидкостей руху стічної рідини, випадінню осаду, що викликає закупорку і порушення нормальної роботи каналізаційної мережі.

Аналізуючи гідравлічний режим руху у перепадному стояку змінного за висотою перерізу (рис. 3) слід відмітити, що при пропуску невеликих витрат він працює у безнапірному режимі (рис. 3,а) аналогічно стояку постійного перерізу. При збільшенні витрати у стояку змінного перерізу – режим руху рідини також змінюється на перехідний. Але в цьому випадку заповнення перерізу стояку водою

відбувається в нижній його частині (рис. 3,б). При подальшому збільшенні витрати рівень заповнення стояка водою збільшується знизу вгору. Такий режим роботи споруди практично виключає можливість періодичного зриву об'ємів води і зменшує навантаження на дно колодязя.

Однією з основних задач даної роботи було експериментальне визначення величини динамічного навантаження на дно водобійного колодязя при постійному діаметрі перепадного стояка і при стояку змінного перерізу, здійснити їх порівняння і визначення найвигідніших умов роботи перепадних колодязів.

В загальному випадку, виходячи із закону зміни кількості руху, силу тиску на водобій рекомендується розраховувати за залежністю [10,11]:

$$F = K_F Q \sqrt{2gT} \rho \alpha_0 \sin(\alpha) \varphi, \quad (6)$$

де Q – витрата, яка проходить по перепадному стояку, м³/с; φ – коефіцієнт швидкості; T – висота перепаду, м; α – кут між напрямком руху потоку і водобоем, град; $\alpha_0 = 1,0 - 1,1$ – коефіцієнт Бусінеска; K_F – коефіцієнт нерівномірності тиску струмини на дно водобію, який визначається експериментально і залежить від величини витрати, що проходить по перепаду, умов входу рідини в стояк, його діаметра і висоти.

Результати вимірювань динамічного навантаження на дно перепадного колодязя і величини коефіцієнта нерівномірності тиску струмини на дно водобійного колодязя (K_F) при постійному і змінному за висотою діаметрі стояка приведені на рис. 4.

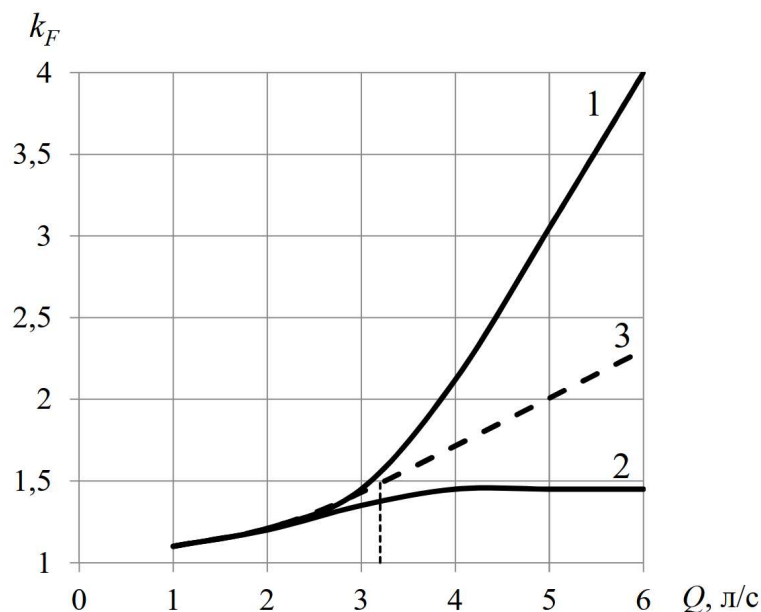


Рисунок 4 – Визначення коефіцієнта нерівномірності тиску струмини на дно водобійного колодязя k_F : 1 - дані для стояка постійного перерізу; 2 - дані для стояка змінного перерізу; 3 - дані при розрахунку за формулою (6)

Figure 4 – Determination of the non-uniformity coefficient of the stream pressure on the manhole bottom k_F : 1 - data for the constant cross-sectional standpipe; 2 - data for the variable cross-sectional standpipe; 3 - data when calculating by the formula (6)

Як слідує з графіка при роботі стояків у безнапірному режимі коефіцієнт k_F близький до одиниці. При збільшенні витрати і роботі стояків у перехідному режимі ($Q > 3,2$ л/с) для стояка постійного діаметра коефіцієнт k_F суттєво зростає (до $k_F = 3$ і вище). Для стояка змінного (такого, що зменшується) поперечного перерізу величина коефіцієнта, навіть при перехідному режимі руху, не перевищує значень $k_F = 1,5$ і в подальшому залишається практично постійним.

Висновки

Проведені дослідження дозволяють при проектуванні трубчатих каналізаційних перепадів з постійним діаметром за його висотою рекомендувати в якості розрахункового вважати безнапірний режим роботи, а коефіцієнт нерівномірності при цьому приймати $k_F = 1,5$. У випадку роботи перепаду в проміжному перехідному режимі рекомендується приймати коефіцієнт $k_F \geq 3$.

При проектуванні каналізаційних перепадів перевагу слід надавати стоякам змінного (такого, що зменшується) за висотою перерізу. Коефіцієнт нерівномірності слід брати $k_F = 1,5$.

Перелік посилань

1. Granata F., de Marinis G., Gargano R. Air-water flows in circular drop manholes. *Urban Water Journal*. 2015. Vol. 12, No 6. P. 477-487. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.881893>
2. Christodoulou G.C. Drop Manholes in Supercritical Pipelines. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 1991. Vol. 117, No 1. P. 37-47. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1991\)117:1\(37\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1991)117:1(37))
3. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Київ: Мінрегіон України, 2013. 96 с. (Інформація та документація)
4. Шутов Ю.Д., Алексеев М.И., Васильев В.М. Пропускная способность трубчатых и многоступенчатых канализационных перепадов. Межвуз. тематич. сб. тр. Л.: ЛИСИ, 1982. 64 с.
5. Жук В. М., Завойко, Б. В., Попадюк І. Ю., Матлай І. І., Пиць, Х. М. Пропускна здатність фізичної моделі перепадного каналізаційного колодязя циліндричної форми з криволінійним вхідним патрубком. Вісник НУВГП. Технічні науки. Рівне: НУВГП, 2015. Вип. 3 (71). Ч. 2. С. 252-257.
6. Granata F., de Marinis G., Gargano R., Hager W.H. Hydraulics of circular drop manholes. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 2011. Vol. 137, No 2. P. 102-111. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000279](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000279)
7. Орел В. Перепадний колодязь зі спірально зігнутою трубою: переваги і недоліки. *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Budownictwo i Inżynieria Środowiska*. 2004. Вип. 211 (37). С. 273-276.
8. Алексеев М.И., Васильев В.М. Гидравлический расчет перепадов на коллекторах глубокого заложения: уч. пос. Л.: ЛИСИ, 1981. 42 с.
9. Кравчук А.М., Кравчук О.А. Спеціальні питання гідраліки систем водопостачання і водовідведення: навч. посібник. Київ: КНУБА, 2020. 175 с.
10. Абрамович Г.Н., Гиршович Т.А., Крашенинников С.Ю. и др. Теория турбулентных струй. М.: Наука, 1984. 716 с.
11. Курганов А.М., Федоров Н.Ф. Справочник по гидравлическим расчетам систем водоснабжения и канализации. Изд. 2-е, перераб. и доп. Л.: Стройиздат, 1978. 424 с.

COMPARATIVE ASSESSMENT OF OPERATING CONDITIONS OF TUBULAR DROP MANHOLES OF SEWERAGE SYSTEMS

Kravchuk Andriy M., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Water Supply and Water Sewerage Department, Kyiv National University of Construction and Architecture, e-mail: kravchuk.am@knuba.edu.ua, tel. +380673933558, Ukraine, 03037, Kyiv, Povitroflots'kyi Ave, 31, room 283. <https://orcid.org/0000-0001-8732-9244>

Kravchuk Olga Ya., Senior Lecturer of Bridges, Tunnels and Hydrotechnic Structures Department, National Transport University, e-mail: olgakravchuk56@gmail.com, tel. +380978413805, Ukraine, 01010, Kyiv, street M. Omelyanovycha-Pavlenka, 1, room 229. <https://orcid.org/0000-0003-2616-5455>

Abstract. The evaluation of standard pipes of drop sewerage manholes is carried out on the basis of the literature data analysis. A new design of the drop manhole with height-variable cross-sectional area is proposed on this basis. A series of experimental studies was conducted on a specially mounted setup to study and compare the characteristics and operating conditions of standard structures and structures of the proposed design. The models of drop standpipes were made of plexiglass, which allowed to visualize the structure of fluid flows in both cases. It is established that three modes of motion can take place in drop standpipes, depending on the passed flow rate: pressureless, transitional and pressure. Pressureless mode of motion should

be considered as calculated for permanent cross-sectional drop. Much attention has been paid to measuring the magnitude of dynamic loads from the falling flow to the manhole bottom in the research. Non-uniformity coefficient of the dynamic load from the flow stream impact also was determined. It was defined that its value depends on the flow rate passed by the standpipe and can reach values of 3 or more for drops, that are made of a constant cross-sectional standpipe. The non-uniformity coefficient of the dynamic load for such drop should be taken equal to 1.5. The non-uniformity coefficient does not exceed 1.5 for arbitrary flow rates for variable cross-sectional standpipes.

Keywords: drop sewerage manhole, drop standpipe, upper canal pound, lower canal pound, dynamic load, flow stream.

References

1. Granata F., de Marinis G., Gargano R. Air-water flows in circular drop manholes. *Urban Water Journal*. 2015. Vol. 12, No 6. P. 477-487. [in English]. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.881893>
2. Christodoulou G.C. Drop Manholes in Supercritical Pipelines. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 1991. Vol. 117, No 1. P. 37-47. [in English]. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1991\)117:1\(37\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1991)117:1(37))
3. DBN V.2.5-75:2013. Kanalizatsiia. Zovnishni merezhi ta sporudy (Sewerage. External networks and structures). Kyiv: Minregion Ukrainy, 2013. 96 s. (Information and documentation) [in Ukrainian].
4. Shutov Y.D., Alekseev M.I., Vasilev V.M. Propusknaya sposobnost trubchatykh i mnogostupenchatykh kanalizatsionnykh perepadov (Throughput of tubular and multi-stage sewer drops). *Mezhvuz. tematic. sb. tr. Leningrad: LISI*, 1982. 64 s. [in Russian].
5. Zhuk V.M., Zavoiko B.V., Popadiuk I.Y., Matlai I.I., Pyts K. M. Flow capacity of physical model of cylindrical sewer drop manhole with curved inlet. *Bulletin National University of Water and Environmental Engineering. Technical sciences*. Rivne, 2015. No 3(71), part 2. P. 252-257. [in Ukrainian].
6. Granata F., de Marinis G., Gargano R., Hager W.H. Hydraulics of circular drop manholes. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 2011. Vol. 137, No 2. P. 102-111. [in English]. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000279](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000279)
7. Orel V. The drop sewer manhole with the helical coil pipe: the merits and demerits. *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Budownictwo i Inżynieria Środowiska*. 2004. No 211 (37). P. 273-276. [in Ukrainian].
8. Alekseev M.I., Vasilev V.M. Gidravlicheskiy raschet perepadov na kollektorah glubokogo zalozheniya: uch. pos (Hydraulic calculation of drops in deep reservoirs: tutorial). Leningrad: LISI, 1981. 42 s. [in Russian].
9. Kravchuk A.M., Kravchuk O.A. Spetsialni pytannia hidravliki system vodopostachannia i vodovidvedennia: navchalnyi posibnyk (Special issues of hydraulics of water supply and water sewerage systems: tutorial). Kyiv: KNUCA, 175 s. [in Ukrainian].
10. Abramovich G.N., Girshovich T.A., Krasheninnikov S.Yu i dr. Teoriya turbulentnykh struy (Theory of turbulent jets). Moskva: Nauka, 1984. 716 s. [in Russian].
11. Kurganov A.M., Fedorov N.F. Spravochnik po gidravlicheskim raschetam sistem vodosnabzheniya i kanalizatsii (Handbook of hydraulic calculations for water supply and sewerage systems). Izd. 2-e, pererab. i dop. Leningrad: Stroyizdat, 1978. 424 s. [in Russian].