

В.М. Жук, Л.І. Вовк, І.Ю. Попадюк, В.Г. Павлишин
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра гідравліки та сантехніки

ВПЛИВ КОЕФІЦІЄНТА СПІВВІДНОШЕННЯ ПЛОЩ ДВОСЕКЦІЙНОГО РЕЗЕРВУАРА ДОЩОВИХ СТІЧНИХ ВОД ПРОТОЧНОГО ТИПУ НА ЙОГО РЕГУЛЮВАЛЬНИЙ ОБ'ЄМ

© Жук В.М., Вовк Л.І., Попадюк І.Ю., Павлишин В.Г., 2010

Наведено результати експериментального дослідження коефіцієнта регулювального об'єму двосекційних резервуарів дощових стічних вод проточного типу. Подано порівняння коефіцієнта регулювального об'єму для двосекційних та односекційних резервуарів.

Ключові слова: коефіцієнт регулювального об'єму, двосекційний резервуар дощових стічних вод.

The results of experimental investigation of regulation volume coefficient of two-sectional stormwater storage tanks are presented in the paper. Comparison of regulation volume coefficient is given for two-sectional and one-sectional storm-water storage tanks.

Keywords: regulation volume coefficient, two-sectional stormwater storage tank.

Вступ. Системи дощового водовідведення характеризуються особливо великими значеннями пікових витрат дощових стічних вод та великою нерівномірністю витрати в часі. Для зменшення діаметрів дощових колекторів та підвищення рівномірності витрати в часі одним з найефективніших методів є влаштування на дощовій мережі резервуарів дощових стічних вод (РДСВ). Окрім регулювальної функції, РДСВ запобігають підтопленню територій, забезпечують часткове чи повне очищення дощових стічних вод. Разом з тим, при використанні РДСВ виникають проблеми, пов'язані з неефективним використанням їх регулювальної ємності та замуленням. Одним з перспективних шляхів є влаштування багатосекційних РДСВ.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Роботу різних типів РДСВ досліджували М.І. Алексєєв, А.М. Курганов, А.Л. Китаєв та ін. [1, 2, 3]. За кордоном цією проблематикою займалися Й. Дзьопак, О. Акан, Д. Гуо, та ін. [4, 5, 6]. Аналіз конструктивних особливостей багатосекційних РДСВ виконано в роботі [7]. РДСВ є різноманітних конструкцій і схем; вони, окрім регулювальної, можуть виконувати інші функції. За функціональним призначенням розрізняють відтинаючі, осереднювальні та очищувальні резервуари. За схемою протікання є проточні резервуари та резервуари, встановлені на паралельній до колектора ділянці, які залежно від висотної схеми розташування можуть бути з насосною станцією або з самопливним відведенням стоків із резервуара у відвідний трубопровід [1, 2, 3, 4, 7].

Одним з найпростіших багатосекційних РДСВ є двосекційний резервуар проточного типу з порівняно невеликою переливною камерою та значно більшою акумуляційною камерою [4]. Перевага двосекційного РДСВ полягає в тому, що наповнення переливної камери відбувається значно швидше порівняно з аналогічним односекційним резервуаром. Отже, витрата стічних вод на виході з резервуара Q_c швидко зростає до максимального значення. Наповнення акумуляційної камери двосекційного РДСВ починається лише після підйому рідини в переливній камері до рівня верху переливної стінки. Отже, наповнення акумуляційної камери відбувається при великій спорожнювальній витраті Q_c , що зменшує необхідний регулювальний об'єм РДСВ (рис. 1). Іншою перевагою є те, що досить швидко витрата у відвідному трубопроводі досягає постійного значення. Для можливості спорожнення акумуляційної камери в нижній частині переливної стінки

влаштується затвор, який відкривається в бік переливної камери за відповідної різниці рівнів рідини. Перевагою такою конструкції є також те, що навіть за порівняно малої інтенсивності дощу відвідний трубопровід працює в напірному режимі, що запобігає його замуленню.

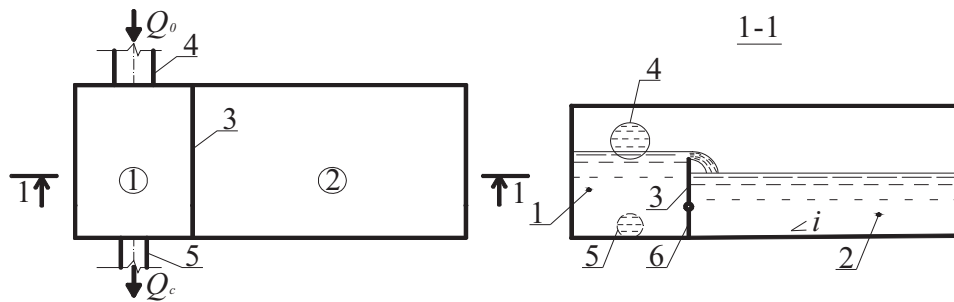


Рис. 1. Принципова схема двосекційного РДСВ проточного типу:
1 – переливна камера; 2 – акумуляційна камера; 3 – переливна стінка;
4 – підвідний трубопровід; 5 – відвідний трубопровід; 6 – затвор

Проте у проаналізованих нами літературних джерелах немає методики визначення регульовального об'єму багатосекційних РДСВ залежно від співвідношення площ окремих камер цієї споруди.

Метою статті є експериментальне дослідження потрібного регульовального об'єму двосекційних РДСВ залежно від співвідношення площ переливної та акумуляційної камер за різних характеристик відвідного трубопроводу.

Регульовальний об'єм односекційних та двосекційних РДСВ. Регульовальний об'єм РДСВ визначається як інтеграл різниці притоку та відтоку дощових стічних вод з резервуара в часі [1, 8]:

$$W_{pez} = \int_{t_o}^{t_f} (Q_o - Q_c) dt, \quad (1)$$

де Q_o , Q_c – відповідно об'ємна витрата дощових стічних вод на вході та на виході з РДСВ; t_o – час початку наповнення резервуара (коли витрата притоку починає перевищувати пропускну здатність відвідного трубопроводу); t_f – час максимального наповнення резервуара (коли витрата притоку стає меншою за пропускну здатність відвідного трубопроводу).

Числово регульовальний об'єм РДСВ дорівнює площі фігури, обмеженої зверху гідрографом притоку, а знизу – графіком відтоку дощових стічних вод на суміщеному графіку притоку та відтоку (рис. 2).

У чинних методиках регульовальний об'єм РДСВ обчислюють за формулою:

$$W_{pez} = K_{pez} Q_r t_r, \quad (2)$$

де K_{pez} – коефіцієнт регульовального об'єму; Q_r – максимальна розрахункова витрата дощових стічних вод у цьому перерізі; t_r – розрахункова тривалість дощу або час концентрації поверхневих стічних вод.

Виконані теоретичні дослідження показали, що коефіцієнт регульовального об'єму односекційних РДСВ K_{pez} залежить від значень початкового коефіцієнта регулювання α_o , безрозмірної тривалості дощу X_o і коефіцієнта зміни напору витікання b [8]. Коефіцієнт b_1 односекційного РДСВ визначається як:

$$b_1 = \frac{Q_r \cdot t_r}{\Omega \cdot h_c}, \quad (3)$$

де Ω – загальна площа в плані РДСВ; $h_c = i_c \cdot L_c$ – перепад відміток відвідного трубопроводу.

Коефіцієнт зміни напору для двосекційного РДСВ:

$$b_2 = \frac{Q_r \cdot t_r}{k \cdot \Omega \cdot h_c}, \quad (4)$$

де k – коефіцієнт співвідношення площ, який визначався за формулою:

$$k = \Omega_{пер} / \Omega, \quad (5)$$

де $\Omega_{пер}$ – площа в плані переливної камери.

Графік відтоку для двосекційних РДСВ, а відтак і їх регулювальний об'єм, значно залежать також від співвідношення об'ємів і площ камер резервуара.

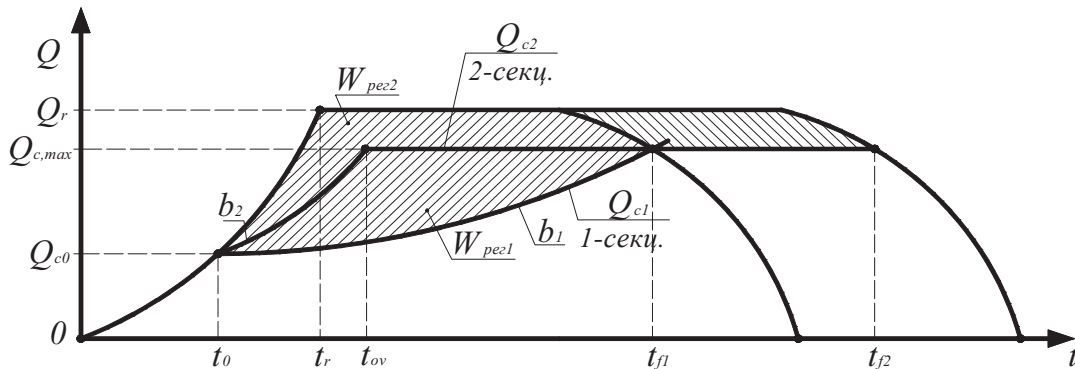


Рис. 2. Схема експериментального визначення регулювального об'єму проточних регулювальних односекційних та двосекційних РДСВ: Q_{c1}, Q_{c2} – графіки відтоку для односекційного та двосекційного РДСВ відповідно; t_0 – початок наповнення РДСВ; t_{ov} – час початку переливу (або початку наповнення акумуляційної камери двосекційного РДСВ); $t_{f1}; t_{f2}$ – час наповнення односекційного та двосекційного РДСВ відповідно; $W_{рег1}, W_{рег2}$ – регулювальний об'єм одно- та двосекційного РДСВ відповідно

Як видно з рис. 2, наповнення двосекційного РДСВ проточного типу відбувається повільніше, ніж аналогічного односекційного резервуара на величину $(t_{f2} - t_{f1})$, а це означає, що за однакової інтенсивності та тривалості дощу регулювальний об'єм двосекційного РДСВ буде меншим на деяку величину $\Delta W_{рег}$.

Експериментальні дослідження. Для дослідження регулювального об'єму РДСВ спроектовано і змонтовано установку (рис. 3), на якій можна досліджувати потрібний регулювальний об'єм РДСВ залежно від характеристик дощу (інтенсивності, тривалості), басейна стоку, гідравлічних параметрів резервуара та відповідного трубопроводу (співвідношення площ припливної камери та усього резервуара, діаметр, похил, довжина відповідного трубопроводу).

Експериментальна установка складається з: розподільного трубопроводу; великого та малого лотків; приймального резервуара – фізичної моделі РДСВ та відповідного трубопроводу. Розподільний трубопровід 1 виготовлено з поліпропіленової труби марки PP-R 32×4,4 довжиною 6 м, у якій рівномірно по довжині зроблено з кроком 5 см отвори діаметром 2 мм. За допомогою цього трубопроводу імітується дощ постійної в часі інтенсивності. По великому лотку 2 (завширшки 305 мм) вода стікає у резервуар 3.

Приймальний резервуар 3 (фізичну модель двосекційного РДСВ) змонтовано з листів ПВХ завтовшки 5 мм. Об'єм резервуара 3 становить 45 л, внутрішні розміри: 598×304×250 мм, товщина перегородки 5 мм. Висота переливної стінки $h_{ст} = 102$ мм. Відвідний трубопровід 5 виконаний з поліпропіленової труби PVC-C 1¼" довжиною 3 м на рухомому з'єднанні з баком 3 для можливості зміни похилу трубопроводу. Похил визначається за допомогою голчастого рівнеміра 7. Відвідний трубопровід 5 приєднаний до бічної стінки бака 3 з умовою створення мінімального "мертвого" об'єму в РДСВ.

Під час виконання фізичного експерименту модель РДСВ встановлювалася на електронну вагу 4 марки AXIS BDU-60 з інтерфейсом RS-232 для передавання даних про масу рідини в резервуарі в режимі реального часу на персональний комп'ютер. Поточні значення маси рідини виводилися у файл даних кожних 0,125 с.

Вода надходила у систему з напірного трубопроводу, а з відповідного трубопроводу 5 витікала у малий збірний лоток 6 завширшки 230 мм, по якому стікала у зливний бак 8. Вся система експериментальної установки повністю замкнена і не вимагає додаткового поповнення водою.

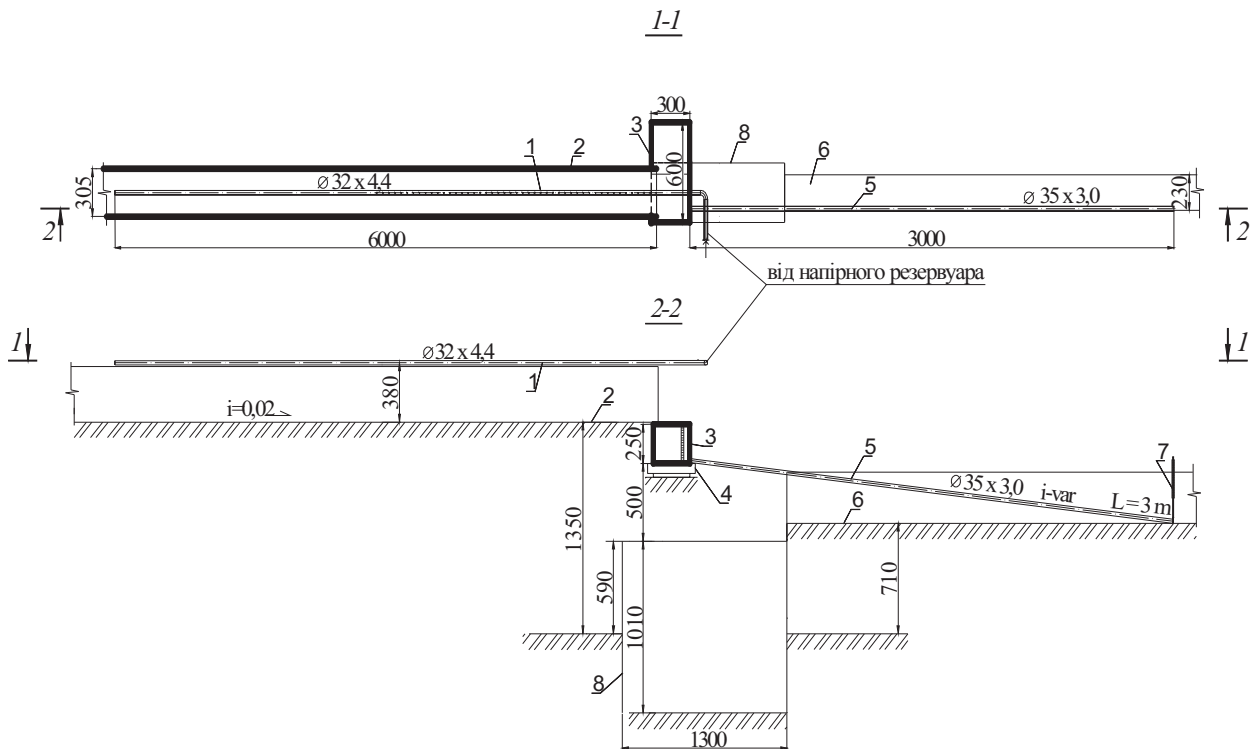


Рис. 3. Схема експериментальної установки для дослідження потрібного регульовального об'єму двосекційних РДСВ: 1 – розподільний трубовід; 2 – великий лоток; 3 – фізична модель РДСВ; 4 – електронна вага; 5 – відвідний трубовід; 6 – малий лоток; 7 – голчастий рівнемір; 8 – зливний бак

На лабораторній установці виконано серію експериментів для дослідження регульовального об'єму двосекційних РДСВ проточного типу. Досліджувалося, як змінюється час наповнення та потрібний регульований об'єм РДСВ залежно від співвідношення площ переливної камери та загальної площі двосекційного РДСВ, а також від похилу відвідного трубопроводу. На початку кожного дослідження вимірювали температуру води. Витрата притоку дощових вод Q_r визначалася при закритому відвідному трубопроводі і змінювалася у межах від 0,935 л/с до 0,946 л/с. Похил відвідного трубопроводу 5 змінювався від $i=0,005$ до $i=0,05$ з кроком 0,005.

Експериментальні графіки об'ємів притоку. У результаті досліджень отримано графічні залежності об'єму притоку дощових стічних вод у РДСВ від часу за різних значень співвідношення площ і змінному похилу відвідного трубопроводу (рис. 4).

Для всіх значень коефіцієнта співвідношення площ k перед початком кожної серії дослідження перевірялося значення витрати притоку дощових стічних вод Q_r , яка визначалася при закритому відвідному трубопроводі (на рис. 4 криві об'ємів "без відводу"). Відносна похибка вимірювання значень витрати Q_r не перевищувала 1,2 %. Також на рис. 4 наведені криві об'ємів для характерних значень похилу відвідного трубопроводу $i=0,005$; 0,025; 0,05.

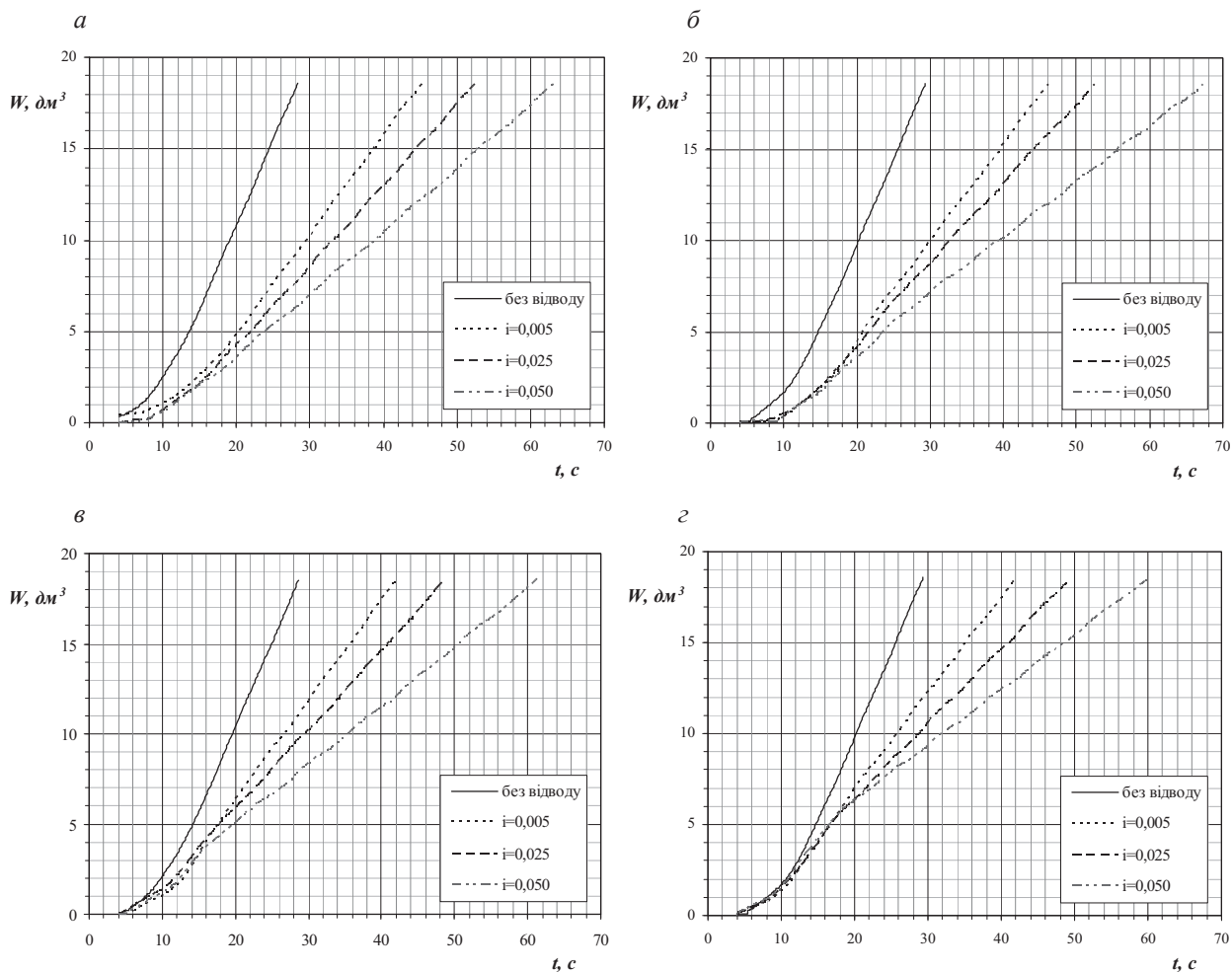


Рис. 4. Узагальнені графічні залежності об'єму притоку дощових стічних вод у двосекційний РДСВ проточного типу за різних співвідношень площ припливної та акумуляційної камер та змінному похилі відвідного трубопроводу: а) – $k=0,2$; б) – $k=0,3$; в) – $k=0,4$; г) – $k=0,5$

Час переливу та наповнення двосекційного РДСВ

Використовуючи експериментальні дані, було визначено час переливу та наповнення двосекційного РДСВ для кожного дослідження (табл. 1). Аналіз значень табл. 1 показує, що наповнення двосекційного РДСВ завжди є тривалішим, ніж аналогічного односекційного резервуара. Максимальне збільшення тривалості наповнення двосекційного РДСВ спостерігається за значень коефіцієнта співвідношення площ $k=0,2; 0,3$.

Таблиця 1

Час переливу та наповнення акумуляційної камери двосекційного РДСВ
($Q_r=0,94$ л/с=const; $t_r=16$ с=const; $h_{cm}=102$ мм; $W_{зач}=18,4$ л=const)

| Похил i | $k=0,2$ | | $k=0,3$ | | $k=0,4$ | | $k=0,5$ | | $k=1$ |
|-----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|----------|
| | t_{ov}, c | t_f, c | t_{ov}, c | t_f, c | t_{ov}, c | t_f, c | t_{ov}, c | t_f, c | t_f, c |
| 0,005 | 17,750 | 45,250 | 21,700 | 46,200 | 21,875 | 42,120 | 24,400 | 42,000 | 39,875 |
| 0,010 | 18,625 | 47,875 | 21,800 | 47,500 | 23,250 | 44,500 | 24,920 | 43,625 | 41,250 |
| 0,015 | 18,375 | 48,500 | 22,500 | 50,125 | 22,900 | 45,750 | 24,300 | 44,100 | 42,125 |
| 0,020 | 18,875 | 51,125 | 21,500 | 51,125 | 21,750 | 45,870 | 25,700 | 46,800 | 43,625 |
| 0,025 | 18,625 | 52,500 | 22,750 | 52,500 | 23,780 | 48,650 | 27,000 | 49,400 | 44,875 |
| 0,030 | 19,500 | 54,200 | 22,375 | 53,250 | 23,820 | 50,700 | 25,700 | 49,450 | 46,000 |
| 0,035 | 19,500 | 56,250 | 23,750 | 56,575 | 25,000 | 54,000 | 27,870 | 52,870 | 46,125 |
| 0,040 | 19,875 | 58,875 | 24,500 | 59,325 | 25,375 | 55,875 | 28,750 | 55,100 | 48,725 |
| 0,045 | 21,250 | 62,375 | 24,125 | 61,125 | 25,625 | 57,875 | 29,300 | 58,100 | 49,500 |
| 0,050 | 20,375 | 65,125 | 25,000 | 64,500 | 27,375 | 61,300 | 29,870 | 60,000 | 49,625 |

Отримавши значення часу наповнення двосекційного РДСВ за різних значень коефіцієнта співвідношення площ, виконали їх порівняння у безрозмірному вигляді з відповідними значеннями при $k=1$, що відповідає односекційному РДСВ (табл.2). Безрозмірний відносний час наповнення X_f РДСВ визначався за формулою:

$$X_f = t_f / t_r. \quad (6)$$

Таблиця 2

Відносний час наповнення двосекційного РДСВ проточного типу

| Похил i | Відносний час наповнення $X_f = t_f / t_r$ | | | | | Відносна різниця, % | | | |
|-----------|--|---------|---------|---------|---------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | $k=0,2$ | $k=0,3$ | $k=0,4$ | $k=0,5$ | $k=1,0$ | $k=0,2$ і $k=1,0$ | $k=0,3$ і $k=1,0$ | $k=0,4$ і $k=1,0$ | $k=0,5$ і $k=1,0$ |
| 0,005 | 2,83 | 2,89 | 2,63 | 2,63 | 2,49 | 12,0 | 13,8 | 5,3 | 5,3 |
| 0,010 | 2,99 | 2,97 | 2,78 | 2,73 | 2,58 | 13,7 | 13,1 | 7,2 | 5,5 |
| 0,015 | 3,03 | 3,13 | 2,86 | 2,76 | 2,63 | 13,2 | 16,0 | 8,0 | 4,7 |
| 0,020 | 3,2 | 3,2 | 2,87 | 2,93 | 2,73 | 14,7 | 14,7 | 4,9 | 6,8 |
| 0,025 | 3,28 | 3,28 | 3,04 | 3,09 | 2,8 | 14,6 | 14,6 | 7,9 | 9,4 |
| 0,030 | 3,39 | 3,33 | 3,17 | 3,09 | 2,88 | 15,0 | 13,5 | 9,2 | 6,8 |
| 0,035 | 3,52 | 3,54 | 3,38 | 3,3 | 2,88 | 18,2 | 18,6 | 14,8 | 12,7 |
| 0,040 | 3,68 | 3,71 | 3,49 | 3,44 | 3,05 | 17,1 | 17,8 | 12,6 | 11,3 |
| 0,045 | 3,9 | 3,82 | 3,62 | 3,63 | 3,09 | 20,8 | 19,1 | 14,6 | 14,9 |
| 0,050 | 4,07 | 4,03 | 3,83 | 3,75 | 3,1 | 23,8 | 23,1 | 19,1 | 17,3 |

Отримано добре підтвердження теоретичного висновку, що час наповнення двосекційного РДСВ для дощу певної фіксованої інтенсивності збільшується зі зменшенням коефіцієнта співвідношення площ та зі збільшенням похилу відвідного трубопроводу.

З табл. 2 видно, що найбільша різниця між часом наповнення двосекційного та односекційного РДСВ спостерігається при $k=0,2$ і досягає максимального значення 23,8 % за максимального в дослідженнях похилу відвідного трубопроводу $i=0,05$.

Наступним кроком є визначення відносного зменшення регульовального об'єму двосекційних РДСВ порівняно з односекційним (табл. 3).

Таблиця 3

Відносне зменшення регульовального об'єму двосекційного РДСВ

| X_0 | a_0 | b | W_{2c} / W_{1c} | | | |
|-------|-------|-------|-------------------|---------|---------|---------|
| | | | $k=0,2$ | $k=0,3$ | $k=0,4$ | $k=0,5$ |
| 2,492 | 0,281 | 5,567 | 0,85 | 0,82 | 0,94 | 0,94 |
| 2,578 | 0,397 | 2,783 | 0,82 | 0,83 | 0,92 | 0,94 |
| 2,633 | 0,487 | 1,856 | 0,82 | 0,80 | 0,91 | 0,95 |
| 2,727 | 0,562 | 1,392 | 0,82 | 0,83 | 0,95 | 0,92 |
| 2,805 | 0,628 | 1,113 | 0,82 | 0,82 | 0,90 | 0,90 |
| 2,875 | 0,688 | 0,928 | 0,81 | 0,83 | 0,90 | 0,93 |
| 2,883 | 0,743 | 0,795 | 0,78 | 0,77 | 0,83 | 0,86 |
| 3,045 | 0,795 | 0,696 | 0,79 | 0,78 | 0,85 | 0,88 |
| 3,094 | 0,843 | 0,619 | 0,75 | 0,78 | 0,84 | 0,85 |
| 3,102 | 0,888 | 0,557 | 0,74 | 0,71 | 0,79 | 0,82 |

Висновки

1. Розроблено методику експериментального дослідження коефіцієнта регульовального об'єму двосекційних РДСВ проточного типу.

2. Виконано п'ять серій експериментів на фізичній моделі двосекційного РДСВ проточного типу при коефіцієнтах співвідношення площ $k=0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 1,0$ при значеннях початкового коефіцієнта регулювання $\alpha_o=0,281-0,888$ та коефіцієнта зміни напору $b=0,557-5,567$.

3. Показано, що зменшення коефіцієнта співвідношення площ призводить до зменшення необхідного регульовального об'єму двосекційного РДСВ. Отримано залежність співвідношення потрібного регульовального об'єму двосекційного та односекційного РДСВ проточного типу за різних значень коефіцієнта співвідношення площ, безрозмірної тривалості дощу, початкового коефіцієнта регулювання та коефіцієнта зміни напору. Максимальне відносне зменшення регульовального об'єму двосекційного РДСВ проточного типу отримано при коефіцієнті співвідношення площ $k=0,3$, безрозмірній тривалості дощу $X_d=3,102$, значеннях $b=0,557$, $\alpha_o=0,888$ і становить 29 %.

1. *Отведение и очистка поверхностных сточных вод: [учеб. пособие для вузов] / В.С. Дикаревский, А.М. Курганов, А.П. Нечаев, М.И. Алексеев. – Л.: Стройиздат, 1990. – 224 с.*
2. *Алексеев М.И. Организация отведения поверхностного (дождевого и талого) стока с урбанизированных территорий: Учеб. пособие / М.И. Алексеев, А.М.Курганов. – М.: Изд-во АСВ; СПб.: СПбГАСУ. – 2000. – 352 с.*
3. *Китаев А.Л. Акумулявання, очистка та використання поверхнево-зливового стоку з територій промислових підприємств: автореф. дис ...канд. техн. наук: 05.23.04. Харківський держ. техн. ун-т будівництва та архітектури / А.Л. Китаєв. – Х., 1997. – 18 с.*
4. *Dziopak J. Analiza teoretyczna i modelowanie wielokomorowych zbiorników kanalizacyjnych / Dziopak J.– Kraków: Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki. Monografia 125, 1992.– 214 s.*
5. *Mays L.W. Stormwater Collection Systems Design Handbook / Mays L.W. – McGraw-Hill Professional, 2001.– 1008 p.*
6. *Guo J.C.Y. Hydrology-based approach to storm water detention basin design using new routing schemes / Guo J.C.Y. – J. Hydrologic Engrg. Vol. 9, N 4, 2004. – pp. 333–336.*
7. *Жук В.М. Сучасні конструктивні рішення збірників атмосферних стічних вод / В.М. Жук, Л.І. Вовк // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. Теорія і практика будівництва. – 2004. – № 520. – С. 63–68.*
8. *Жук В.М. Регульовальний об'єм збірників атмосферних стічних вод для дощів постійної в часі інтенсивності / В.М. Жук, Л.І. Вовк, Б.М. Малиш // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. Теорія і практика будівництва. – 2005. – № 545. – С. 53–60.*