

АНАЛІТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ РЕГУЛЮВАЛЬНОГО ОБ’ЄМУ ДВОСЕКЦІЙНИХ РЕЗЕРВУАРІВ ДОЩОВИХ СТІЧНИХ ВОД ПРИ РІЗНИХ СПІВВІДНОШЕННЯХ КАМЕР

© Жук В.М., Вовк Л.І., Попадюк І.Ю., 2009

Наведено результати аналітичного визначення регулювального об’єму двосекційних резервуарів дощових стічних вод. Виконано числовий експеримент з визначення коефіцієнта регулювального об’єму для двосекційних резервуарів залежно від співвідношення площ переливної та акумуляційної камер. Порівняно потрібні регулювальні об’єми для двосекційного та односекційного резервуарів.

The results of analytical investigation of regulative volume of two-chamber storm-water storage tanks are presented in the paper. It is performed numerical experiment and obtained the dependencies of the regulative volume coefficient from the overflow and accumulation chamber's area. There are compared regulative volumes for two-chamber and one-chamber storage tanks.

Постановка проблеми. 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 перспективним шляхів є влаштування багатосекційних РДСВ. У проаналізованих літературних джерелах немає методики визначення регулювального об’єму багатосекційних РДСВ залежно від співвідношення площ окремих камер цієї споруди.

Метою статті є визначення потрібного регулювального об’єму двосекційних РДСВ залежно від співвідношення площ переливної та акумуляційної камери.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Роботу різних типів РДСВ досліджували М.І. Алексєєв, М.М. Белов, А.М. Курганов, А.Л. Китаєв, Ю.В. Ярошенко та ін. [1]. За кордоном цією проблемою займалися Й. Дзьопак, В. Хубер, Т. Шулер, та ін. [2, 3, 4]. 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 (НС) або з самопливним відведенням стоків із резервуара в колектор [1, 2, 4].

Найпоширенішими у вітчизняній інженерній практиці є односекційні резервуари. Їх основною перевагою є простота конструкції. Проте, вони мають деякі недоліки: низький ступінь використання об’єму споруди, малий діапазон зміни пропускної здатності відвідного трубопроводу, замулення дна резервуара тощо [5]. Останніми десятиліттями відбувається активний пошук нових ефективних багатосекційних конструкцій РДСВ [2, 3].

Одним з найпростіших багатосекційних РДСВ є двосекційний резервуар проточного типу з порівняно невеликою переливною камерою та значно більшою акумуляційною камерою [2] (рис. 1).

Основна перевага такої конструкції полягає в тому, що рівень рідини в переливній камері h_1 піднімається швидше порівняно з аналогічним односекційним резервуаром, тобто витрата стічних вод на виході з резервуара Q_{ex} швидко збільшується до свого максимального значення (при $h_1=h_{max}$). Наповнення акумуляційної камери двосекційного РДСВ починається лише після підняття рідини в переливній камері до рівня верху переливної стінки. Отже, наповнення акумуляційної камери, об'єм якої становить основну частину робочого об'єму всієї споруди, відбувається при великій спорожнювальній витраті Q_{ex} , що зменшує необхідний регулювальний об'єм РДСВ. Для можливості спорожнення акумуляційної камери в нижній частині переливної стінки влаштовується затвор, який відкривається в бік переливної камери при відповідній різниці рівнів рідини.

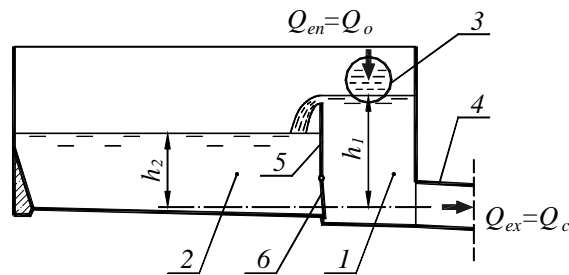


Рис. 1. Принципова схема двосекційного РДСВ проточного типу:
1 – переливна камера; 2 – акумуляційна камера; 3 – відповідний канал;
4 – відвідний канал; 5 – переливна стінка; 6 – затвор [2]

Перевагою такої конструкції є також те, що навіть при порівняно малій інтенсивності дощу відвідний колектор працює в напірному режимі, що запобігає його замуленню.

Регулювальний об'єм односекційних та двосекційних РДСВ. Регулювальний об'єм РДСВ визначається як інтеграл різниці притоку та відтоку дощових стічних вод з резервуара в часі [1, 6, 7]:

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

де Q_o , Q_c – відповідно об'ємна витрата дощових стічних вод на вході та 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).

У попередніх роботах отримано гідрографи притоку дощових стічних вод з лінійних в плані басейнів стоку залежно від характеристик дощу та параметрів басейна стоку. Витрата дощового стоку є функцією коефіцієнта поверхні басейна стоку Z_{mid} , площі басейна каналізування F , часу концентрації поверхневого стоку t_r . Максимальна розрахункова витрата Q_r , яка існує в момент часу t_r , для лінійної моделі стоку обчислюється за формулою

$$Q_r = \frac{Z_{mid} A F}{(1-n) \cdot t_r^n}, \quad (2)$$

де A , n – коефіцієнти у степеневому законі зміни інтенсивності дощу $q=A/t^n$.

Враховуючи рівняння Бернуллі, витрата дощових вод у відвідному трубопроводі [6]

$$Q_c = \sqrt{\frac{\pi^2 g D_c^4 (h_c + h)}{8[(\lambda L_c / D_c) + \sum \zeta + \alpha_c]}} = Q_{c,o} \sqrt{(1+h/h_c)}, \quad (3)$$

або в безрозмірному вигляді

$$Q'_c = \frac{Q_c}{Q_r} = \frac{Q_{c,o}}{Q_r} \sqrt{(1+h/h_c)} = \alpha_o \sqrt{1+h'}, \quad (4)$$

де D_c, L_c – відповідно внутрішній діаметр та довжина відповідного трубопроводу; λ – коефіцієнт гідравлічного тертя; $\sum \zeta$ – сума коефіцієнтів місцевого опору; α_c – коефіцієнт кінетичної енергії; $Q_{c,o}$ – величина, що числово дорівнює витраті рідини в трубопроводі в момент часу, коли режим течії в ньому стає напірним, тобто при $h = 0$; $h' = h/h_c$ – безрозмірне наповнення РДСВ; h – висота наповнення резервуара; $h_c = iL_c$ – перепад відміток відповідного трубопроводу; α_o – початковий коефіцієнт регулювання, $\alpha_o = Q_{c,o}/Q_r$.

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) [1, 7]. У чинних методиках регульовальний об'єм РДСВ прийнято обчислювати за формулою

$$W_{pez} = K_{pez} Q_r t_r, \quad (5)$$

де K_{pez} – коефіцієнт регульовального об'єму.

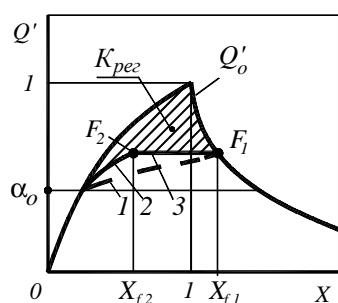


Рис. 2. Схема визначення регульовального об'єму проточних регульовальних односекційних та двосекційних РДСВ в безрозмірних координатах. Графіки відтоку Q'_c : 1 – для односекційного РДСВ; 2 – для наповнення переливної камери двосекційного резервуара; 3 – для наповнення акумуляційної камери двосекційного резервуара; $X_{f1} = t_{f1}/t_r$; $X_{f2} = t_{f2}/t_r$ – відносний час наповнення односекційного резервуара та переливної камери двосекційного резервуара відповідно; K_{pez} – коефіцієнт регульовального об'єму двосекційного РДСВ

Виконані теоретичні дослідження показали, що коефіцієнт регульовального об'єму K_{pez} залежить від значень початкового коефіцієнта регулювання α_o , безрозмірної тривалості дощу X_o і коефіцієнта зміни напору витікання b [7].

Як очевидно з рис. 2, регульовальний об'єм двосекційного РДСВ мінімальний при найменшому можливому з конструктивних міркувань співвідношенні об'ємів його переливної та акумуляційної камер. Регульовальний об'єм двосекційного резервуара складається з регульовального об'єму акумуляційної та переливної камери, і його можна обчислити за формулою

$$W_{pez} = \Omega_1 h_1 + \Omega_2 h_2 = k \Omega h_1 + (1-k) \Omega h_2, \quad (6)$$

де Ω_1, Ω_2 – площа в плані відповідно переливної та акумуляційної камер; h_1, h_2 – висота наповнення відповідно переливної та акумуляційної камер; k – співвідношення площі в плані переливної камери та загальної площі РДСВ, $k = \Omega_1/\Omega$.

У безрозмірних координатах формула (6) має вигляд

$$K_{pez} = \frac{k h'_1 + (1-k) h'_2}{b}. \quad (7)$$

Важливим технічним завданням є влаштування переливної стінки такої висоти, щоб при розрахунковому дощі РДСВ працював повним об'ємом, тобто глибина рідини в акумуляційній та переливній камерах повинна дорівнювати висоті переливної стінки: $h_1 = h_2 = h_{cm}$. З цієї умови та формули (7) очевидно, що безрозмірна висота стінки $h'_{cm} = h_{cm}/h_c$ пов'язана з коефіцієнтом регульовального об'єму залежністю:

$$h'_{cm} = K_{pez} \cdot b. \quad (8)$$

Чисельний експеримент. Для визначення коефіцієнта регульовального об'єму двосекційних РДСВ була розроблена комп'ютерна програма, за допомогою якої було виконано серію числових експериментів з визначення коефіцієнта регульовального об'єму РДСВ $K_{рег}$ при співвідношеннях площ $k = \Omega_1/\Omega$ в діапазоні від 0,1 до 0,5, а також при $k=1$, що відповідає випадку односекційного РДСВ. Числовий експеримент виконувався для лінійних басейнів стоку, у разі інтенсивності дощу, яка змінюється в часі за спадним степеневим законом. Початковий коефіцієнт регулювання у цій серії

дослідів приймали незмінним і таким, що дорівнює $\alpha_0=0,3$. Безрозмірна тривалість дощу прийнята такою, що дорівнює $X_d=3$. Така тривалість дощу вибрана з огляду на те, що для степеневих дощів при $X_d>2$, як показано в роботі [7], тривалість дощу вже не впливає на коефіцієнт регулювального об'єму РДСВ. Значення коефіцієнта зміни напору витікання b змінювали в межах від 0,1 до 10.

Залежність коефіцієнта регулювального об'єму РДСВ від співвідношення площ k при різних значеннях коефіцієнта зміни напору витікання b наведена на рис. 3.

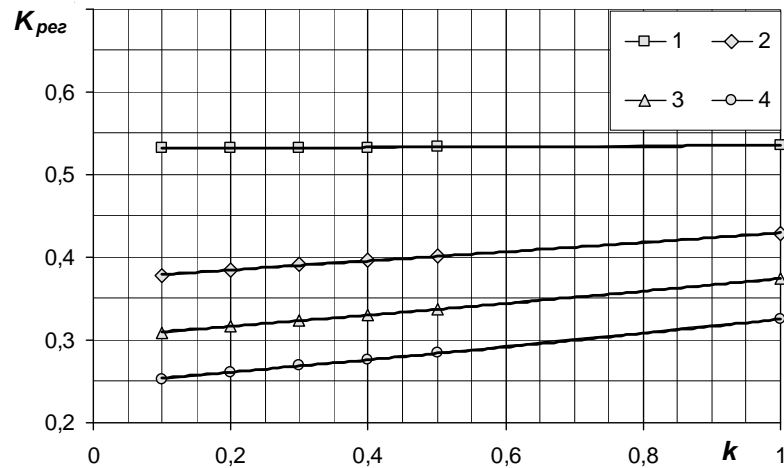


Рис. 3. Графік залежності коефіцієнта регулювального об'єму від співвідношення площ k при:
1 – $b=0,1$; 2 – $b=3$; 3 – $b=6$; 4 – $b=10$ (при $\alpha_0=0,3$; $X_0=3$; $n=0,71$)

Отримані результати добре описуються такими апроксимаційними формулами ($R^2=0,99$):

– при $b=0,1$: $K_{рег} = 0,532 + 0,0037k$; (9а)

– при $b=3$: $K_{рег} = 0,374 + 0,056k$; (9б)

– при $b=6$: $K_{рег} = 0,302 + 0,072k$; (9в)

– при $b=10$: $K_{рег} = 0,245 + 0,079k$. (9г)

Як очевидно з рис. 3, чим менша площа переливної камери, тим менший потрібний загальний регулювальний об'єм РДСВ. Так, при співвідношенні площ $k=0,1$ і $b=3$ коефіцієнт регулювального об'єму $K_{рег}=0,378$, а при $k=0,5$ – $K_{рег}=0,402$, що вимагає на 6,3 % більшого регулювального об'єму резервуара. Якщо ж порівнювати з односекційним резервуаром, то при $k=1$ необхідний регулювальний об'єм більший на 13,5% ($K_{рег}=0,429$) порівняно з $k=0,1$. Цей висновок логічно зрозумілий з того, що чим швидше наповнюється переливна камера, тим швидше встановлюється максимальна витрата у відповідному трубопроводі.

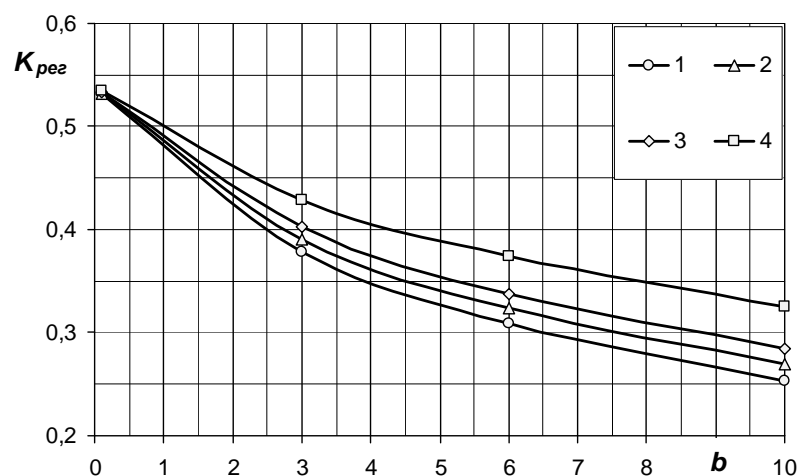


Рис. 4. Графік залежності коефіцієнта регулювального об'єму від коефіцієнта зміни напору b при:
1 – $k=0,1$; 2 – $k=0,3$; 3 – $k=0,5$; 4 – $k=1$ (при $\alpha_0=0,3$; $X_0=3$; $n=0,71$)

Аналогічно як і для односекційних резервуарів [7], для двосекційних РДСВ отримано, що чим більше значення коефіцієнта зміни напору витікання b , тим менший потрібний регульовальний об'єм РДСВ (рис. 4). Причому, чим вище значення b , тим більший вплив має співвідношення камер двосекційних резервуарів на регульовальний об'єм. Так, при $b=0,1$ різниця між коефіцієнтами регульовального об'єму $K_{рег}$ для односекційного та двосекційного резервуарів зі співвідношенням площ $k=0,1$ становить 0,6%, при $b=3$ – 13,4%, при $b=6$ – 21,1%, а при $b=10$ – 28,3%.

Аналіз результатів, представлених формулами (9а)–(9г), дозволяє отримати узагальнену формулу для обчислення коефіцієнта регульовального об'єму двосекційних РДСВ проточного типу як функцію коефіцієнта зміни напору витікання b та співвідношення площ k :

$$K_{дд\bar{a}} = 0,5 + 0,028 \cdot (k\sqrt{b} - b). \quad (10)$$

Формула (10) отримана для лінійних в плані басейнів стоку при незмінному в часі та просторі коефіцієнті стоку, спадному степеневому законі зміни інтенсивності дощу (відповідно до методу граничних інтенсивностей [1]), при початковому коефіцієнті регулювання витрати $\alpha_0=0,3$ та показнику в законі зміни інтенсивності $n=0,71$ (як для рівнинних областей України). Відхилення результатів обчислень за формулою (10) від результатів числового експерименту не перевищує 10% у вказаному діапазоні.

Висновки. У цій роботі наведено результати аналітичного визначення коефіцієнта регульовального об'єму двосекційних РДСВ проточного типу. Гідрографи притоку дощових стічних вод було прийнято як для лінійних в плані басейнів стоку та дощів зі спадним степеневим законом зміни інтенсивності в часі. Дослідження виконано при $n=0,71$; $X_0=3$, $\alpha_0=0,3$. Отримано узагальнену залежність (10) коефіцієнта регульовального об'єму $K_{рег}$ від співвідношення площ k та від значення коефіцієнта зміни напору b при зазначених умовах.

1. Дикаревский В.С., Курганов А.М., Нечаев А.П., Алексеев М.И. Отведение и очистка поверхностных сточных вод: Учеб. пособие для вузов. – Л.: Стройиздат, 1990. – 224 с. 2. Dziopak J. Analiza teoretyczna i modelowanie wielokomorowych zbiorników kanalizacyjnych. – Kraków: Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki. Monografia 125, 1992. – 214 s. 3. Mays L.W. Urban Stormwater Management Tools // McGraw-Hill Professional, 2004. – 320 p. 4. Guo J.C.-Y. Urban Storm Water Design // Water Resources Publication, 2003. – 188 p. 5. Жук В.М., Вовк Л.І. Сучасні конструктивні рішення збірників атмосферних стічних вод // Теорія і практика будівництва // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2004. – № 520. – С. 63–68. 6. Жук В., Вовк Л. Регульовальний об'єм збірників дощових вод при змінній характеристиці відвідного колектора // Aktualne problemy budownictwa i inżynierii środowiska: IX konferencja naukowa Rzeszowsko-Lwowsko-Koszycka. – Rzeszow, 2004. – Cz.2. – S. 495–502. 7. Жук В.М., Вовк Л. І. Регульовальний об'єм збірників атмосферних стічних вод для дощів із степеневим законом зміни інтенсивності // Гідромеліорація та гідротехнічні споруди: Зб. наук. пр. Вип. 31. – Рівне: Нац. ун-т водн. госп. та природокорист., 2006. – С. 364–371.