

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕГУЛЮВАЛЬНОГО ОБ'ЄМУ РЕЗЕРВУАРІВ ДОЩОВИХ СТІЧНИХ ВОД ДЛЯ ДОЩІВ ПОСТІЙНОЇ В ЧАСІ ІНТЕНСИВНОСТІ

© Жук В.М., Вовк Л.І., Попадюк І.Ю., 2007

Подано результати експериментального дослідження залежності регулювального об'єму резервуарів дощових стічних вод від чотирьох узагальнених безрозмірних параметрів для дощів постійної в часі інтенсивності. Отримано добре узгодження з результатами теоретичних досліджень та числового експерименту.

The experimental investigation of the regulative volume of the storm-water storage tanks, depending from the four generalized parameters, for the rains with constant intensity are presented in the paper. These results are in the good accordance with both the theoretical results and numerical calculation results.

Постановка проблеми. Регулювальний об'єм резервуарів дощових стічних вод (РДСВ) є основним технічним параметром під час проектування цих споруд. З фізичного погляду регулювальний об'єм – це інтеграл за часом різниці притоку дощових стічних вод у резервуар та відтоку з нього. У чинних методиках регулювальний об'єм РДСВ знаходять за формулою

$$W_{pez} = K_{pez} Q_r t_r, \quad (1)$$

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

Відповідно до чинних у вітчизняній практиці методик [1, 2] коефіцієнт регулювального об'єму визначається залежно від коефіцієнта регулювання α , показника степеня n в степеневому законі зміни інтенсивності розрахункового дощу та від коефіцієнта регулювання спорожнення $\alpha_{сп}$. Для різних схем встановлення РДСВ на водовідвідній мережі подаються розрахункові значення $K_{pez}=f(\alpha, n, \alpha_{сп})$.

Виконано теоретичний аналіз, який показав, що коефіцієнт регулювання α змінюється під час наповнення РДСВ, причому його відносна зміна залежить від розрахункових характеристик дощу та конструктивних параметрів резервуара та відповідного трубопроводу [3]. Замість параметра α запропоновано використовувати два безрозмірних параметри: початковий коефіцієнт регулювання $\alpha_0=Q_{с0}/Q_r$, що відповідає початку напірного режиму руху у відвідному трубопроводі, та коефіцієнт зміни напору b , який визначається залежністю

$$b = \frac{Q_r \cdot t_r}{\Omega \cdot h_c}, \quad (2)$$

де Ω – площа РДСВ в плані; h_c – перепад відміток відвідного трубопроводу.

Виконаний нами числовий експеримент дозволив отримати залежність коефіцієнта регулювального об'єму від показника степеня n , початкового коефіцієнта регулювання α_0 та коефіцієнт зміни напору b [4].

У роботі [5] виконано аналогічні дослідження для дощів постійної в часі інтенсивності та отримано результати числового експерименту, що описують залежність коефіцієнта регулювального об'єму від початкового коефіцієнта регулювання α_0 та коефіцієнт зміни напору b та від безрозмірної тривалості дощу $X_0=t_0/t_r$, де t_0 – тривалість випадання дощу. Оброблення результатів числового експерименту дало змогу отримати таку залежність для коефіцієнта регулювального об'єму:

$$K_{pez} = [(0,0172 \ln b - 0,3219)X_0 - 0,0884 - 0,0358 \ln b] \cdot \ln \alpha_0 - (0,0042+0,0578 \ln b) \cdot X_0 + 0,0268+0,0335 \ln b. \quad (3)$$

Метою роботи є систематичне експериментальне дослідження залежності коефіцієнта регулювального об'єму від початкового коефіцієнта регулювання α_0 та коефіцієнт зміни напору b та від безрозмірної тривалості дощу X_0 для дощів постійної в часі інтенсивності та лінійних у плані басейнів стоку.

Експериментальні дослідження. Схема експериментальної установки подана на рис. 1. Розподільний трубопровід 1, влаштований з труби марки PP-R 32×4,4 довжиною 2,4 м, у якій рівномірно по довжині зроблено отвори діаметром 2 мм, з кроком 5 см. За допомогою цього трубопроводу створювався модельний дощ незмінної в часі та по довжині модельного басейна стоку інтенсивності. Великий лоток 2 розмірами 2400×300 мм, моделював лінійний у плані басейн стоку. За допомогою гідравлічного домкрата похил модельного басейна стоку змінювали від $i=0,001$ до $i=0,03$. Модель РДСВ виготовлена з листів ПВХ товщиною 5 мм. Розміри резервуара: $L \times B \times H = 600 \times 300 \times 250$ мм. На кожній бічній стінці резервуара наклеєні прозорі мірні лінійки 4 з міліметровими позначками для знімання показів рівня води в моделі РДСВ. Нуль лінійки збігається з рівнем дна резервуара. Відвідний трубопровід 5 виконаний з труби марки PP-R 32×4,4 довжиною 4 м. Гнучке з'єднання відвідного трубопроводу з баком 3 дає можливість змінювати похил трубопроводу в широких межах – від $i=0,005$ до $i=0,07$. Похил визначається голчастим рівнеміром 11. Відвідний трубопровід 5 приєднаний до бокової стінки резервуара 3 максимально близько до його дна з метою мінімізації мертвого об'єму в моделі РДСВ.

У разі зміни вхідних параметрів (подачі насоса чи похилу відвідного трубопроводу) змінюються безрозмірні аргументи α_0 , X_0 , b . Наприклад, під час збільшення подачі насоса 7 та розрахункової витрати дощу $Q_H = Q_r$ час концентрації стоку t_r зменшується, а відтак зменшується початковий коефіцієнт регулювання α_0 , збільшується відносна тривалість дощу X_0 та коефіцієнт зміни напору b .

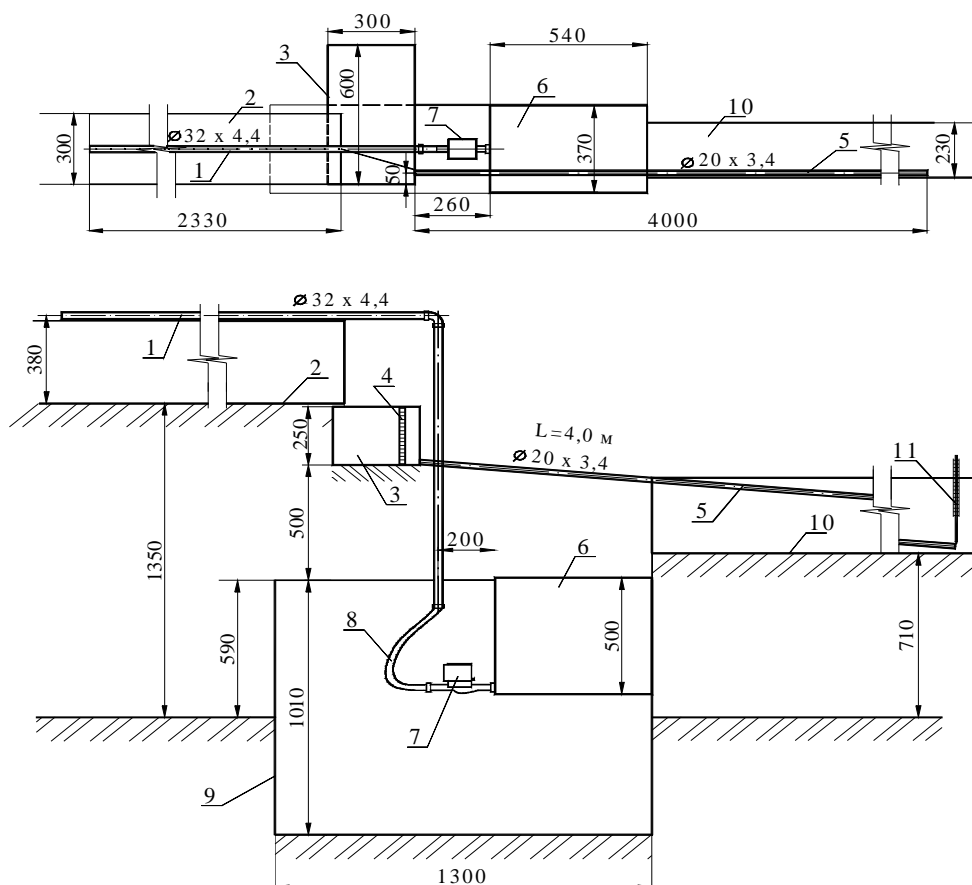


Рис. 1. Схема експериментальної установки:

- 1 – розподільний трубопровід; 2 – великий лоток;
- 3 – фізична модель РДСВ; 4 – мірні лінійки;
- 5 – відвідний трубопровід; 6 – циркуляційний бак;
- 7 – циркуляційний насос; 8 – гумовий шланг; 9 – зливний бак;
- 10 – малий лоток; 11 – голчастий рівнемір

На початку кожного дослідження вимірювали температуру води. Максимальна витрата притоку дощових вод Q_r визначалася при закритому відвідному трубопроводі 5. При визначенні регулювального об'єму вихід з моделі РДСВ 3 відкривався, відвідний трубопровід 5 встановлювався з певним похилом за допомогою голчатого рівнеміра 11, після чого включався насос 7. Похил відвідного колектора 5 змінювався від 0,005 до 0,07 з кроком 0,005.

Для підвищення точності фізичного експерименту спочатку при закритому відвідному трубопроводі 5 визначалася максимальна витрата притоку, після чого регулювальний – об'єм модельного ЗАСВ, знову максимальна витрата та регулювальний об'єм, і третій раз – максимальна витрата. Під час математичного оброблення бралися середні арифметичні значення показників, тобто описаний цикл досліджень давав одну експериментальну точку. Максимально допустима відносна похибка визначення коефіцієнта регулювального об'єму становила 7,5%.

Коефіцієнт регулювального об'єму РДСВ при змінній безрозмірній тривалості дощу. Перша серія експериментів виконувалася при постійній абсолютній тривалості модельного дощу – $t_0=180$ с. При цьому зміна будь-якого з параметрів, що впливають на час концентрації поверхневого стоку t_r (наприклад, похилу басейна стоку чи інтенсивності модельного дощу), приводить до зміни безрозмірної тривалості дощу. Тому в першій серії досліджень з певним кроком змінювали похил басейна стоку, подачу циркуляційного насоса та похил відвідного трубопроводу, і для конкретних значень цих розмірних величин визначали регулювальний об'єм, а потім за допомогою розрахунків знаходили безрозмірні параметри: початковий коефіцієнт регулювання α_0 , коефіцієнт зміни напору b , безрозмірну тривалість дощу X_0 та коефіцієнт регулювального об'єму $K_{рег}$. Пізніше за розробленою програмою для тих самих значень вхідних параметрів α_0 , X_0 і b знаходили значення $K_{рег}$ як результат числового розрахунку.

Узагальнені результати експериментальних досліджень у безрозмірних величинах та порівняння їх з результатами числових експериментів наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Узагальнені результати експериментальних досліджень та їх порівняння з числовим експериментом

Безрозмірні параметри			Коефіцієнт регулювального об'єму $K_{рег}$		Відносна похибка δ , %
X_0	α_0	b	фізичний експеримент	чисельний експеримент	
7,518	0,260	0,348	4,667	4,682	0,32
8,424	0,195	0,414	5,458	5,812	6,08
7,392	0,268	0,352	4,575	4,531	-0,96
8,332	0,198	0,4223	5,573	5,705	2,32
6,691	0,4334	0,2007	3,394	3,142	-8,02
7,862	0,288	0,256	4,749	4,781	0,66
8,319	0,250	0,279	5,474	5,377	-1,81
6,597	0,564	0,131	2,639	2,385	-10,66
7,686	0,383	0,165	4,185	4,062	-3,01
8,616	0,287	0,196	5,295	5,359	1,21
7,877	0,419	0,128	3,836	3,959	3,09
8,946	0,304	0,156	5,179	5,495	5,74
7,198	0,527	0,112	2,896	2,890	-0,19
8,359	0,408	0,113	4,280	4,336	1,29
9,087	0,330	0,128	5,057	5,399	6,33
7,131	0,674	0,074	2,269	1,965	-15,51
8,157	0,480	0,090	3,936	3,706	-6,20
9,017	0,373	0,105	4,939	5,025	1,69
8,476	0,466	0,085	3,799	3,986	4,68
9,098	0,389	0,095	4,969	4,945	-0,50
8,437	0,509	0,074	3,572	3,648	2,08
9,028	0,429	0,081	4,535	4,593	1,26

Кореляція результатів числового та фізичного експериментів з визначення коефіцієнта регулювального об'єму показана на рис. 2.

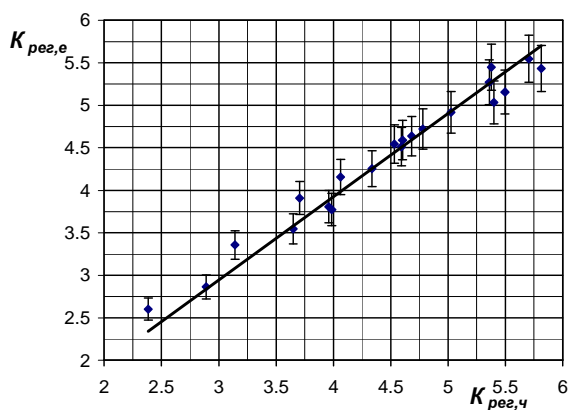


Рис. 2. Узагальнені результати фізичних та числових експериментів з визначення коефіцієнта регульовального об'єму для дощів постійної в часі інтенсивності та лінійних у плані басейнів стоку (показана відносна похибка $\pm 5\%$)

У діапазоні значень початкового коефіцієнта регулювання $\alpha_0 < 0,55$ результати фізичного досліджу добре узгоджуються з числовими результатами – похибка не перевищує 5% (рис. 2). Зі збільшенням величини α_0 , спостерігається завищення коефіцієнта регулювання, отриманого на модельному РДСВ, порівняно з числовими результатами. Це можна пояснити тим, що у цих випадках на фізичній моделі існує доквадратична зона опору при русі дощових вод по басейну стоку, а математична модель та відповідні числові розрахунки виконані для квадратичної зони опору.

Коефіцієнт регульовального об'єму РДСВ при фіксованій безрозмірній тривалості дощу. Для дощів постійної в часі інтенсивності коефіцієнт регульовального об'єму істотно залежить від безрозмірної тривалості дощу. Для глибшого з'ясування впливу на коефіцієнт регульовального об'єму двох інших безрозмірних параметрів (α_0 та b) були виконані фізичні експерименти при фіксованому значенні безрозмірної тривалості дощу $X_0 = 7$. Початковий коефіцієнт регулювання α_0 та коефіцієнт зміни напору b при цьому були змінними. Порівняння даних експериментальних досліджень з результатами числового експерименту наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Узагальнені результати експериментальних досліджень при $X_0 = 7$ та їх порівняння з результатами числового експерименту

Безрозмірні параметри		Коефіцієнт регульовального об'єму $K_{рег}$		Відносна похибка δ , %
α_0	b	фізичний експеримент	числовий експеримент	
0,459	0,105	3,590	3,302	-8,03
0,404	0,132	3,922	3,637	-7,27
0,335	0,179	4,193	4,052	-3,37
0,263	0,272	4,435	4,478	0,98
0,182	0,536	4,814	4,897	1,71
0,242	0,345	4,648	4,548	-2,15
0,545	0,095	3,037	2,727	-10,20
0,350	0,229	3,838	3,846	0,21
0,326	0,247	4,267	4,005	-6,14
0,274	0,335	4,393	4,288	-2,39
0,244	0,451	4,546	4,401	-3,20
0,510	0,156	3,117	2,833	-9,11
0,382	0,274	3,702	3,516	-5,02
0,323	0,380	3,802	3,811	0,23
0,278	0,482	4,010	4,056	1,15
0,626	0,172	2,219	2,045	-7,85
0,435	0,317	3,139	3,053	-2,75
0,526	0,137	3,082	2,765	-10,30
0,313	0,325	4,043	3,975	-1,68
0,285	0,384	4,131	4,12	0,27
0,279	0,414	4,214	4,133	-1,92

Як видно з табл. 2, відносна похибка δ при $\alpha_0 < 0,5$ не перевищувала допустимої похибки фізично-числового експерименту (7,5%). При більших значеннях початкового коефіцієнта регулювання спостерігається

збільшення відносної похибки, оскільки потік на модельному басейні стоку все далі відходить від квадратичної зони опорів, для якої виконується числовий розрахунок. Для натурних басейнів стоку ця різниця повинна бути меншою, оскільки значно більші абсолютні розміри натурального потоку порівняно з модельним і більша відносна шорсткість обумовлюють істотно вищі значення числа Рейнольдса в натурних умовах, а відтак, і більшу частку довжини квадратичної зони опорів від загальної довжини потоку.

Результати числового та фізичного експериментів з визначення $K_{рег}$ при $X_0=7$ були оброблені комп'ютерною програмою Grapher 3.0. У результаті отримані тривимірні графіки залежності $K_{рег}=f(\alpha_0, b)$ при сталому значенні $X_0=7$ за результатами числового (рис. 3, а) та фізичного (рис. 3, б) експериментів. Як видно з рис. 3, результати фізичного та числового експериментів найкраще узгоджуються в діапазоні значень $\alpha_0 \leq 0,5$ та $b = 0,15-0,4$. Більша неоднорідність сітки на рис. 3, б пояснюється невеликою кількістю експериментальних точок в тому чи іншому діапазоні значень при фізичному експерименті, ніж при числових розрахунках.

На практиці коефіцієнт регулювання РДСВ приймається, як правило, у межах від 0,2 до 0,5. У цьому діапазоні запропонований метод визначення коефіцієнта регулювального об'єму РДСВ добре узгоджується з результатами фізичного експерименту, що видно з табл. 1 і табл. 2.

Експериментальні дослідження, виконані на фізичній моделі РДСВ, підтвердили, що запропонований удосконалений метод розрахунку коефіцієнта регулювального об'єму РДСВ є коректним, оскільки отримана розбіжність результатів числового та фізичного експерименту незначна і не виходить за межі допустимої похибки фізичного експерименту (7,5%).

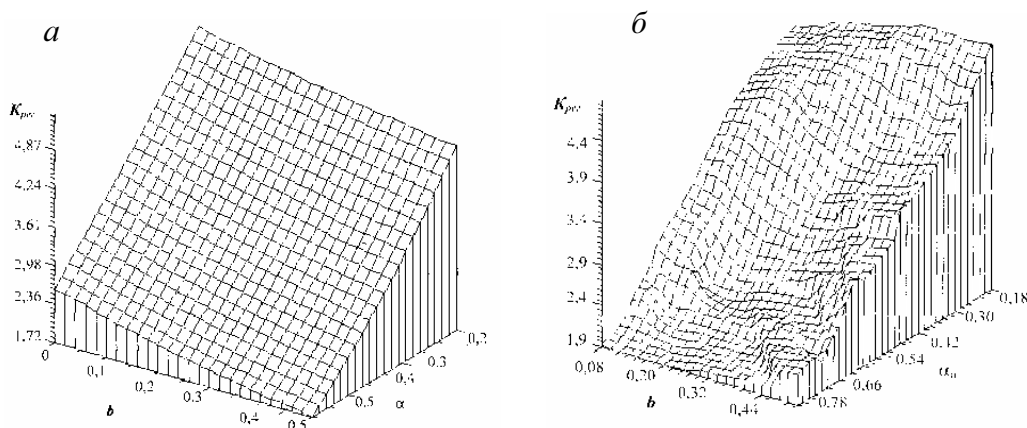


Рис. 3. Залежність коефіцієнта регулювання від безрозмірних параметрів $K_{рег}=f(\alpha_0, b)$ при $X_0=7$ за результатами: а – числового експерименту, б – фізичного експерименту

Висновки. У роботі виконано експериментальну верифікацію удосконаленої методики визначення коефіцієнта регулювального об'єму РДСВ. Результати фізичного експерименту при $\alpha_0 < 0,5$ добре узгоджуються з відповідними теоретичними результатами, їх відносне відхилення не перевищує допустимої відносної похибки експериментального визначення коефіцієнта регулювального об'єму – 7,5%. Отже, фізичний експеримент підтвердив можливість використання запропонованої авторами удосконаленої методики, відповідної комп'ютерної програми та апроксимаційної формули (3) для обчислення коефіцієнта регулювального об'єму РДСВ для дощів постійної в часі інтенсивності.

1. Калишун В.И. Водоотводящие сети и сооружения.– М.: Стройиздат, 1987.– 336с.
2. 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.
3. Жук В., Вовк Л. Регульовальний об'єм збірників дощових вод при змінній характеристиці відвідного колектора. // Aktualne problemy budownictwa i inzynierii srodowiska: IX konferencja naukowa Rzeszowsko-Lwowsko-Koszuska. – Rzeszow, 2004. – Cz.2. – S. 495–502.
4. 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.
5. Жук В.М., Вовк Л.І., Малиш Б.М. Регульовальний об'єм збірників атмосферних стічних вод для дощів постійної в часі інтенсивності // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. Теорія і практика будівництва. – № 545.– Львів. – 2005.– С. 53–60.