

В.М. ЖУК, кандидат технічних наук  
Л.І. ВОВК, кандидат технічних наук  
І.Ю. ПОПАДЮК, кандидат технічних наук  
І.І. МАТЛАЙ, кандидат технічних наук  
Національний університет "Львівська політехніка"

## ЗАСТОСУВАННЯ ОГЛЯДОВИХ КОЛОДЯЗІВ ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ ДОЩОВОГО СТОКУ З МАЛИХ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ

*Представлено удосконалений метод гідравлічного розрахунку об'єму споруд для регулювання дощових стічних вод з малих однорідних урбанізованих басейнів стоку. Отримано графічні залежності для визначення діапазону використання оглядових каналізаційних колодязів як односекційних резервуарів дощових стічних вод проточного типу для басейнів стоку площею до 1,0 га при діаметрі відповідного трубопроводу  $D_c = 200$  мм та довжині  $L_c = 50 \dots 100$  м.*

**Ключові слова:** дощовий стік, регулювальний резервуар.

*Представлен усовершенствованный метод гидравлического расчета объема сооружений для регулирования дождевых сточных вод с малых однородных урбанизированных бассейнов стока. Получены графические зависимости для определения диапазона использования смотровых канализационных колодцев в качестве односекционных резервуаров дождевых сточных вод проточного типа для бассейнов стока площадью до 1,0 га при диаметре отводящего трубопровода  $D_c = 200$  мм и длине  $L_c = 50 \dots 100$  м.*

**Ключевые слова:** дождевой сток, регулирующий резервуар.

*An improved method of hydraulic calculation of detention volume of stormwater regulating structures at small urbanized catchments is presented. There are obtained graphical dependencies for determining the range of using the inspection manholes as single-chamber in-line stormwater storage tanks at small catchments with area up to 1.0 ha for the outflow pipelines with diameter  $D_c = 200$  mm and length  $L_c = 50 \dots 100$  m.*

**Key words:** stormwater runoff, detention tank.

### Постановка проблеми

Регулювання дощового стоку з урбанізованих територій дозволяє зменшити об'єм та максимальну витрату дощового стоку з урбанізованих територій, запобігти перевантаженню водовідвідних мереж та затопленню територій населених місць та промислових підприємств. Ефективність регулювання суттєво зростає за умови комплексного використання різних

методів управління дощовим стоком по всій території басейну каналізування. Застосування для тимчасового затримання поверхневого стоку малих локальних регулювальних резервуарів дощових стічних вод (РДСВ) є одним з найефективніших способів управління дощовим стоком. Він дозволяє реалізувати задачу регулювання в умовах щільної міської забудови та за складних гідрогеологічних умов.

Актуальність проблеми підкреслює активний пошук новітніх конструктивних рішень РДСВ та відповідних методів їх гідравлічного розрахунку [5, 290; 6, 151]. Основним типом РДСВ є односекційні регулювальні резервуари проточного типу, які характеризуються простотою конструкції, надійністю роботи, мінімальними експлуатаційними затратами.

Метою роботи є удосконалення методу гідравлічного розрахунку об'єму споруд для регулювання дощових стічних вод з малих однорідних урбанізованих басейнів стоку, а також встановлення діапазону застосування оглядових колодязів у якості регулювальних резервуарів .

Удосконалений метод гідравлічного розрахунку об'єму регулювального об'єму РДСВ

Регулювальний об'єм споруд для тимчасового затримання дощового стоку найчастіше розраховують за формулою

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

де  $K_{\text{пер}}$  – коефіцієнт регулювального об'єму;  $Q_r$  – максимальна розрахункова витрата дощових стічних вод;  $t_r$  – час концентрації дощового стоку.

Найпоширенішим в Україні методом визначення коефіцієнта регулювального об'єму РДСВ є метод, розроблений науковцями СПбГАСУ (Санкт-Петербург, Росія) [2, 114]. Цей метод базується на лінійній моделі концентрації поверхневого стоку за умови спрощеного уявлення про постійну швидкість течії по довжині басейну.

У роботі [3, 49] наведено метод визначення коефіцієнта регулювального об'єму одно- та двосекційних РДСВ, що враховує безнапірний та напірний режими течії у відвідному трубопроводі. Коефіцієнт регулювального об'єму односекційних РДСВ проточного типу за цим методом визначається як функція трьох безрозмірних параметрів: початкового коефіцієнта регулювання витрати  $\alpha_{c,o}$ , коефіцієнта зміни напору  $b_1$  та безрозмірного діаметра відвідного трубопроводу  $D'_c$ :

$$\alpha_{c,o} = Q_{c,o} / Q_r, \quad (2)$$

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

$$D'_c = D_c / h_c, \quad (4)$$

де  $Q_{c,o}$  – пропускна здатність відвідного трубопроводу при заповненні РДСВ до рівня шелиги відвідної труби;  $\Omega_{\text{PP}}$  – площа в плані регулювального резервуару;  $D_c$ ,  $h_c$  – відповідно внутрішній діаметр та перепад відміток відвідного трубопроводу;  $h_c = i_c L_c$ , де  $i_c$ ,  $L_c$  – відповідно похил та довжина відвідного трубопроводу.

Разом з тим, зазначені методи не беруть до уваги регулювальної здатності розташованої вище водовідвідної мережі. У зв'язку з цим для малих урбанізованих басейнів стоку актуальним є питання щодо ефективності влаштування регулювальних резервуарів як окремих споруд, а також щодо можливості в ряді випадків використання в якості регулювальних резервуарів оглядових колодязів з діаметрами, більшими, ніж мінімально необхідні, регламентовані чинними будівельними нормами [1, 29].

Для розрахунку гідрографа дощового стоку з малих урбанізованих басейнів у роботі використано секторний метод [4, 31].

Гідрограф притоку з  $i$ -того сектора описується теоретичними залежностями (5–7):

$$1 \text{ етап – при } t < t_{r,i}: \quad Q_{t,i} = Q_{r,i} \cdot (t/t_{r,i})^{10/3}, \quad (5)$$

$$2 \text{ етап – при } t_{r,i} < t < t_d: \quad Q_{t,i} = Q_{r,i}, \quad (6)$$

$$3 \text{ етап – при } t_d < t < (t_d + t_{r,i}): \quad Q_{t,i} = Q_{r,i} \cdot \left[ 1 - (t/t_{r,i} - t_d/t_{r,i})^{10/3} \right]. \quad (7)$$

де  $t_{r,i}$  – час концентрації стоку з  $i$ -того сектора;  $t_d$  – час випадання дощу.

Гідрограф стоку зі всієї площі басейна стоку знаходили як суму гідрографів з усіх секторів:

$$Q_t = \sum Q_{t,i}. \quad (8)$$

Згідно вимог ДБН В.2.5-75:2013 [1, 96], при виконанні гідравлічного розрахунку мереж дощового водовідведення рекомендується враховувати збільшення пропускної здатності ділянок колекторів, які працюють з підйомом рівня води в колодязях. Це збільшення характеризується коефіцієнтом  $\beta$ , що враховує заповнення вільної ємкості мережі в момент виникнення напірного режиму.

Отже, у загальному випадку сумарний коефіцієнт регулювального об'єму складається з коефіцієнта регулювального об'єму вище розташованої водовідвідної мережі  $K_{\text{рег,ВМ}}$  та коефіцієнта регулювального об'єму РДСВ  $K_{\text{рег,РР}}$  (рис. 1).

Результати чисельного розрахунку регулювального об'єму РДСВ проточного типу за запропонованим методом

На основі запропонованого методу розроблено комп'ютерну програму для моделювання процесів наповнення та спорожнення регулювальних резервуарів проточного типу та чисельного визначення регулювального об'єму.

Програма дозволяє вирішувати як пряму, так і зворотну задачу гідравлічного розрахунку. У прямій задачі визначається максимальне наповнення та регулювальний об'єм РДСВ заданої площі  $\Omega_{\text{РР}}$  у результаті випадання розрахункового дощу певної повторюваності. У зворотній задачі виконується пошук потрібної площі регулювального резервуара в плані при відомій максимальній висоті наповнення, яка диктується заглибленням водовідвідної мережі в місці встановлення РДСВ.

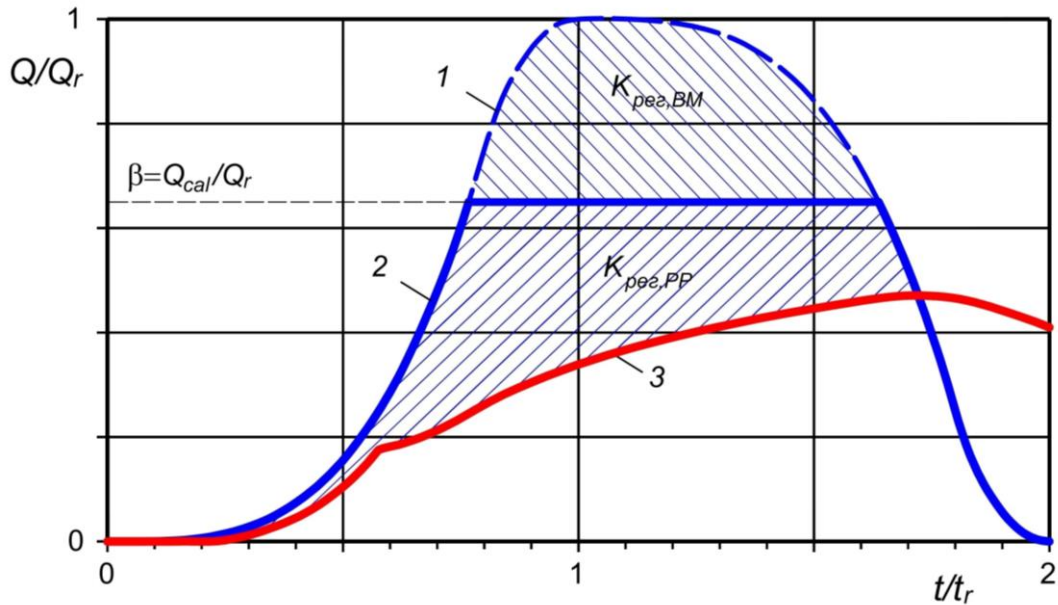


Рис. 1. Схема для визначення регульовального об'єму:

**1** – безрозмірний гідрограф дощового стоку; **2** – безрозмірний графік притоку дощових стічних вод у регульовальний резервуар; **3** – безрозмірний графік відтоку дощових стічних вод;  $K_{\text{рег,БМ}}$ ,  $K_{\text{рег,РР}}$  – коефіцієнти регульовального об'єму водовідвідної мережі та регульовального резервуару відповідно

Нижче наведено результати чисельного розрахунку для кліматичних умов м. Львова при періоді одноразового перевищення розрахункової інтенсивності дощу  $P = 1$  рік:  $q_{20} = 109$  л/(с·га);  $n = 0,73$ . Коефіцієнт заповнення вільної ємності мережі прийнято  $\beta = 0,65$ . Розглянуто малі ( $F_{\text{бас}} \leq 1$  га), квадратні в плані басейни стоку ( $L/b = 1$ ), що характеризуються коефіцієнтом стоку  $\psi_{\text{mid}} = 0,95$ . Поздовжній похил поверхні прийнято рівним  $i_0 = 0,05$ , а коефіцієнт шорсткості –  $n_1 = 0,013$ . Діаметр та поздовжній похил відвідного трубопроводу прийняті мінімально можливими згідно вимог [1, 24; 1, 27]:  $D_c = 200$  мм;  $i_c = 0,007$ .

На рис. 2 наведено приклад чисельного розрахунку регульовального об'єму для басейна стоку площею 0,4 га при довжині відвідного трубопроводу 100 м за умови, що регульовальний резервуар виконано у вигляді круглого в плані колодязя діаметром 1,5 м.

Для описаних вище умов отримано діапазони використання колодязів типових діаметрів (1 м; 1,5 м та 2 м), як регульовальних резервуарів проточного типу для квадратних у плані басейнів стоку (рис. 3).

Наприклад, як видно рис.3,б, при  $L_c = 100$  м та  $H_{\text{РР}} = 3$  м при площі басейна стоку  $F_{\text{бас}} < 3000$  м<sup>2</sup> для регулювання дощового стоку достатньо колодязя діаметром  $D_{\text{РР}} = 1$  м; для  $F_{\text{бас}} = 3000 \dots 3500$  м<sup>2</sup> –  $D_{\text{РР}} = 1,5$  м. Гранична площа, з якої стік буде зарегульований за допомогою колодязя діаметром  $D_{\text{РР}} = 2$  м, становить 4320 м<sup>2</sup>, а для басейнів більшої площі в плані виникає необхідність у РДСВ більших розмірів.

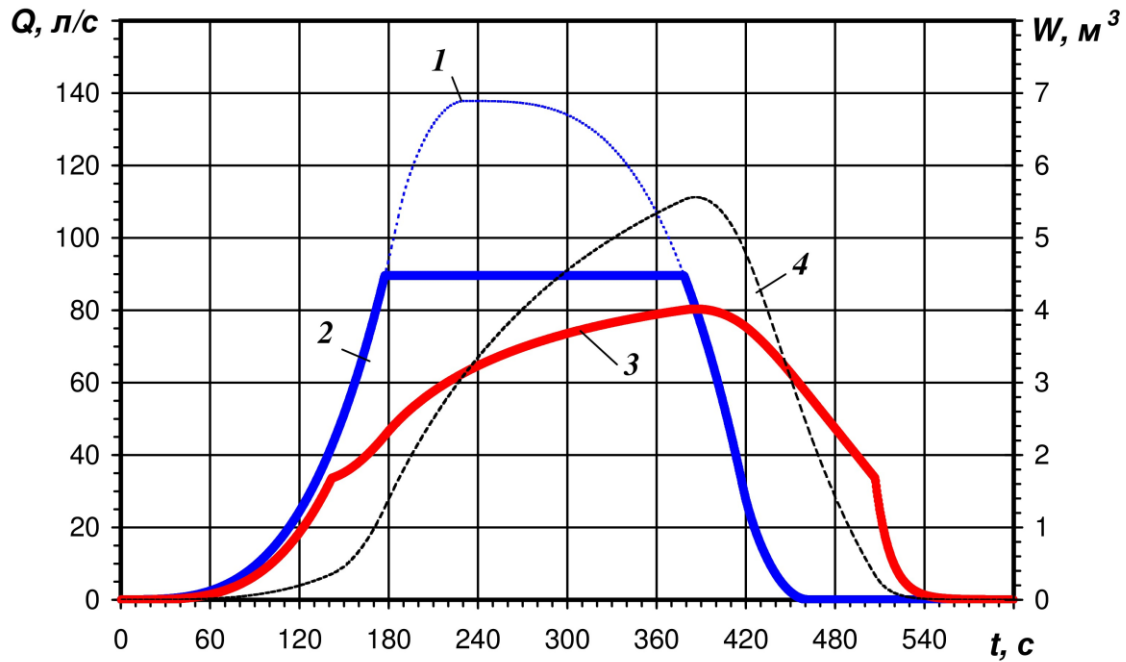


Рис. 2. Приклад визначення регулювального об'єму резервуара проточного типу: **1** – гідрограф дощового стоку  $Q_{ст}$ ; **2** – притік в резервуар  $Q_{ен}$ ; **3** – відтік з резервуара  $Q_{с}$ ; **4** – об'єм рідини  $W$  в РДСВ ( $F_{бас} = 0,4$  га;  $D_{PP} = 1,5$  м;  $L_c = 100$  м)

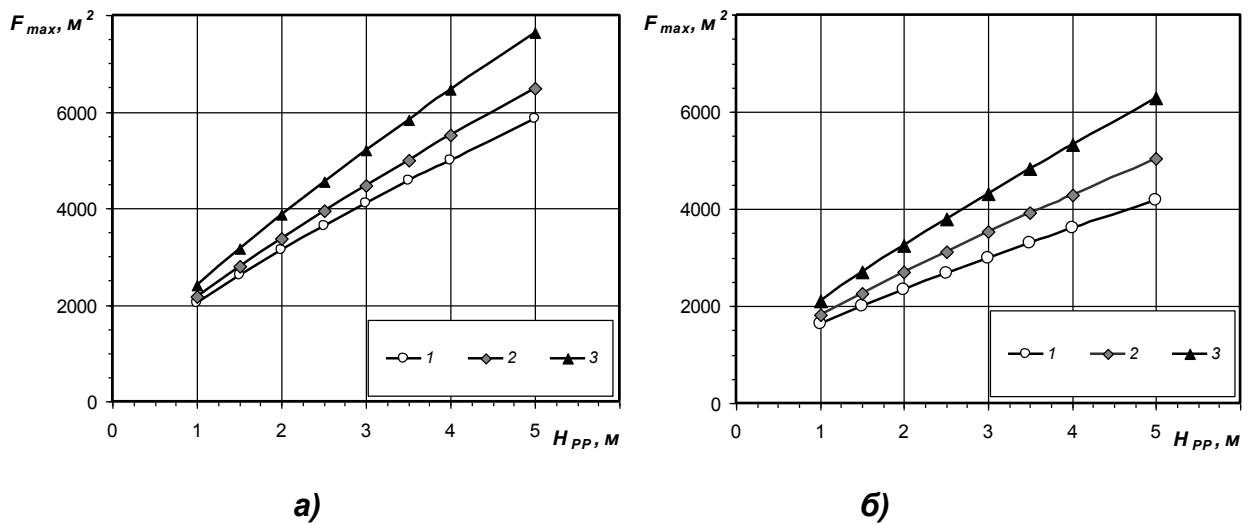


Рис. 3. Залежності граничної площі урбанізованих басейнів стоку від висоти регулювального резервуара:  
**а** –  $L_c = 50$  м; **б** –  $L_c = 100$  м; **1** –  $D_{PP} = 1$  м; **2** –  $D_{PP} = 1,5$  м;  
**3** –  $D_{PP} = 2$  м ( $q_{20} = 109$  л/(с·га);  $n = 0,73$ ;  $\beta = 0,65$ ;  $L/b = 1$ ;  $\psi_{mid} = 0,95$ ;  
 $i_o = 0,05$ ;  $n_1 = 0,013$ ;  $D_c = 200$  мм;  $i_c = 0,007$ )

Виконано порівняння залежностей регулювального об'єму РДСВ  $W_{рег}$  та коефіцієнта регулювального об'єму  $K_{рег}$  від площі малого однорідного

урбанізованого басейна стоку  $F_{бас}$ , отриманих за запропонованим у роботі методом, з відповідними результатами за методом СПБГАСУ [2, 114].

Довжина відповідного трубопроводу прийнята рівною  $L_c = 100$  м, інші вхідні параметри – такі ж, як вказано вище. Значення регулювальних об'ємів РДСВ, отримані за запропонованим у роботі методом, у 2,8...11,9 раз менші за відповідні значення за методом СПБГАСУ (рис. 4), що пояснюється різницею форми безрозмірних гідрографів притоку за цими методами, а також врахуванням у запропонованому методі регулювальної здатності розташованої вище водовідвідної мережі, яка кількісно характеризується коефіцієнтом заповнення вільної ємкості мережі  $\beta$ .

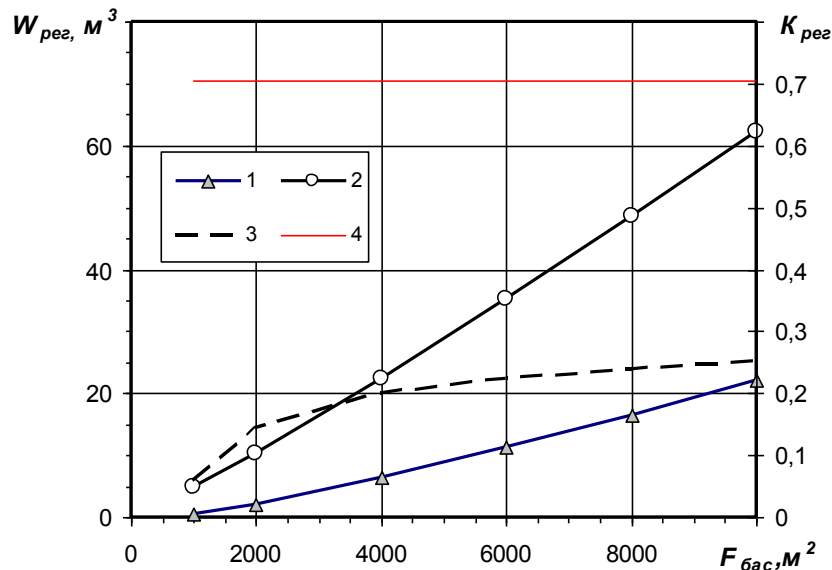


Рис. 4. Порівняння значень регулювального об'єму  $W_{рег}$  (1, 2) та коефіцієнта регулювального об'єму  $K_{рег}$  (3, 4) за представленим методом (1, 3) та за методом СПБГАСУ (2, 4): ( $q_{20} = 109$  л/(с·га);  $n = 0,73$ ;  $\beta = 0,65$ ;  $D_{рр} = 1,5$  м;  $L/b = 1$ ;  $\psi_{mid} = 0,95$ ;  $i_o = 0,05$ ;  $n_1 = 0,013$ ;  $D_c = 200$  мм;  $i_c = 0,007$ ;  $L_c = 100$  м)

Потрібно зазначити, що за методом СПБГАСУ  $K_{рег}$  залежить лише від показника степеня  $n$  та від початкового коефіцієнта регулювання витрати  $\alpha_{с,0}$ , і для вказаних розрахункових умов є величиною постійною ( $K_{рег} = 0,705$ ). За запропонованим у роботі методом коефіцієнт  $K_{рег}$  суттєво залежить від площі стоку і є меншим, ніж за методом СПБГАСУ в 2,8...11,9 раз (рис. 4).

### Висновки

1. Удосконалено метод гідравлічного розрахунку регулювальних резервуарів дощових стічних вод проточного типу, який базується на введеному в роботі [3, 49] методі трьох безрозмірних вхідних параметрів. В удосконаленому методі використано секторний метод побудови гідрографів стоку з малих однорідних урбанізованих басейнів стоку [4, 31], а також враховується регулювальна здатність розташованої вище водовідвідної мережі, що чисельно описується коефіцієнтом заповнення вільної ємкості мережі  $\beta$  [1, 96].

2. На основі удосконаленого методу розроблено комп'ютерну програму для моделювання процесів наповнення та спорожнення регульовальних резервуарів проточного типу. За допомогою програми вирішується пряма та зворотна задачі гідравлічного розрахунку: визначається регульовальний об'єм та максимальне наповнення РДСВ певної площі в плані у результаті випадання розрахункового дощу, а також виконується пошук потрібної площі регульовального резервуара в плані при відомій максимальній висоті наповнення, яка диктується місцевим заглибленням мережі.

3. Проаналізовано можливість застосування оглядових колодязів різних діаметрів з метою локального регулювання поверхневого стоку на малих урбанізованих басейнах стоку. Окреслено діапазон використання оглядових колодязів типових діаметрів (1 м; 1,5 м та 2 м) як регульовальних резервуарів проточного типу для квадратних у плані басейнів при точковій схемі водовідведення для кліматичних умов м. Львова за періоду одноразового перевищення розрахункової інтенсивності дощу 1 рік.

4. Значення коефіцієнтів регульовального об'єму та об'ємів регульовальних резервуарів, отримані за запропонованим у роботі методом, у 2,8–11,9 раз менші за відповідні значення за методом СПБГАСУ [2, 114], що пояснюється різницею безрозмірних гідрографів притоку за цими методами, а також врахуванням у запропонованому методі коефіцієнта заповнення вільної ємкості мережі  $\beta$ .

#### Список літератури

1. *ДБН В.2.5-75:2013*. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – К.: Мінрегіон України, 2013. – 128 с.
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. Ленингр. отд-ние, 1990. – 224 с.
3. *Жук В.М.* Регульовальний об'єм двосекційних резервуарів дощових стічних вод проточного типу для лінійних у плані басейнів стоку / *В.М. Жук, І.Ю. Попадюк, В.Г. Павлишин, Т.І. Фігурняк* // Труды первого международного научно-практического семинара "Повховские научные чтения" [Под общ. ред. Ступина А.Б.] – Донецк: ДонНУ, 2010. – С. 48-60.
4. *Жук В.М.* Гідрографи притоку дощових стічних вод з прямокутних у плані урбанізованих басейнів стоку для дощів постійної в часі інтенсивності / *В.М. Жук, І.І. Матлай* // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: Науково-технічний збірник. Випуск 19. – К.: КНУБА, 2012. – С. 31-39.
5. *Stec A.* Optymalizacja zbiornika retencyjnego na sieci kanalizacji ogólnospławnej miasta Przemyśl / *Agnieszka Stec, Daniel Słyś* // Proceedings of ECOpole. – Opole, 2014. – Volume 8, Issue 1. – S. 289-298.
6. *Попадюк І.Ю.* Регулювання поверхневого стоку за допомогою багатосекційних резервуарів дощових стічних вод / *І.Ю. Попадюк* // Науковий вісник НЛТУ України. – 2015. – Вип. 25.8. – С. 149-154.

Надійшло до редакції 19.11.2015