ЗМЕНШЕННЯ ОБ'ЄМІВ ДОЩОВОГО СТОКУ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗЕЛЕНОГО ДАХУ МАЛОЇ ТОВЩИНИ

В.М. Жук [1], Л.А. Кавецький [2], В.Д. Яблонський [1], А.О. Демчина [1]

[1] Національний університет «Львівська політехніка», кафедра гідравліки та сантехніки
[2] Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

STORMWATER RUNOFF DECREASING USING THE THIN EXTENSIVE GREEN ROOFS

V.M. Zhuk [1], L.A. Kavetskiy [2], V.D. Yablonsky [1], A.O. Demchyna [1]
[1] Lviv Polytechnic National University, Department of Hydraulics and Sanitary Engineering
[2] Lviv State University of Life Safety

Runoff decreasing parameters of the thin extensive green roof (h_{GR}=29 mm) with a soil depth 20 mm for the 10-years 1-min rainfall were investigated experimentally. It was obtained that the volume capturing efficiency of green roof varies from 90.1% to 38.4 % at the initial porosity of green roof in the range from 0.692 to 0.335 respectively.

Урбанізація зумовлює різке зростання площ водонепроникних поверхонь, що призводить до різкого збільшення як об'єму, так і максимальної витрати дощового стоку. Останні десятиліття у Німеччині, США та інших країнах світу активно впроваджується в інженерну практику фільтраційний метод регулювання дощового стоку з використанням зелених дахів. Зелені дахи являють собою багатошарові конструкції, основними складовими яких є шар ґрунтового субстрату, фільтраційний шар та дренаж. Дощова вода частково затримується в ґрунтовому субстраті та у спеціальних заглибленнях дренажної системи; з часом вона поглинається рослинами та повертається в атмосферу через випаровування.

Безумовним лідером у світі щодо влаштування систем зелених дахів є Німеччина, де лише в 1996 році було влаштовано 1000 га зелених дахів різних типів [1]. Використання зелених дахів є одним із дієвих способів регулювання дощового стоку, який дозволяє до 40−80% зменшувати об'єм стічних вод, що потрапляють в систему дощового водовідведення, а також їх максимальну витрату [1, 2]. Окрім того, зелені дахи збільшують середній термін експлуатації дахів за рахунок захисту їх від впливу ультрафіолетових променів і різких перепадів температури; додаткове навантаження захищає дахи від зривання під час буревіїв. Влаштування зеленого даху дозволяє знизити середню літню температуру в приміщеннях та підвищити температуру взимку, зменшуючи тим самим затрати на електроенергію [1]. Зелені дахи перешкоджають поширенню по поверхні покрівлі вогню у випадку пожежі. Додатковими перевагами є очищення рослинами повітря, поглинання пилу, покращення естетичного вигляду міського ландшафту [1−6].

Залежно від товщини розрізняють екстенсивні, напівінтенсивні та інтенсивні зелені дахи [4]. Товщина екстенсивних зелених дахів становить не більше 150 мм, при цьому у повністю водонасиченому стані вони створюють додаткове навантаження на перекриття не більше як 171 кг/м^2 [4]. Екстенсивні зелені дахи значно дешевші в монтажі та в експлуатації. Разом з тим, згідно ряду досліджень їх ефективність не набагато нижча від інтенсивних зелених дахів. Наприклад,

Міллер отримав для зеленого даху товщиною 8 см зменшення річного об'єму дощового стоку на 38−54% [5]. Залежність водопоглинальної здатності зеленого даху не є прямопропорційною до висоти шару його ґрунтового субстрату. Перевагою екстенсивних зелених дахів є те, що їх можна влаштовувати як на плоских покрівлях, так і на похилих з кутом нахилу до горизонту до 35° [4].

Мета роботи: дослідити експериментально водопоглинальні здатності зеленого даху особливо малої товщини для дощу тривалістю 1 хв з періодом одноразового перевищення розрахункової інтенсивності 10 років.

Результати дослідження.

Для експериментальної перевірки водопоглинальної здатності екстенсивних дахів особливо малої товщини було змонтовано дослідний зелений дах загальною товщиною 29 мм, розташований у пластиковому контейнері з внутрішніми розмірами 788×199×194 мм. Відтак, загальний номінальний об'єм досліджуваного зеленого даху становив $W_{ЗД}$=4,55 дм^3.

Експериментальна установка для дослідження водозатримувальних властивостей зеленого даху представлена на рис. 1.

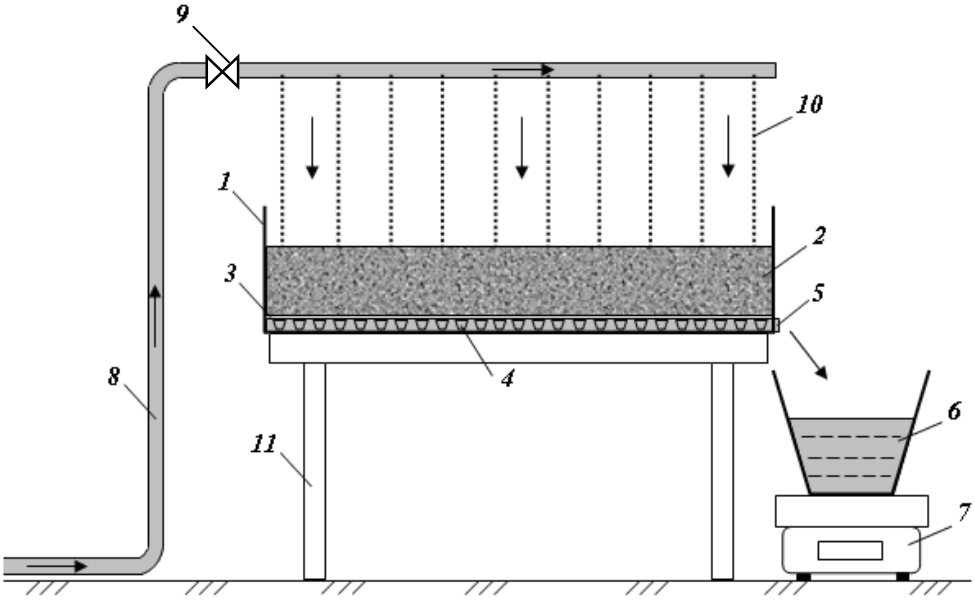

Рис. 1. Схема експериментальної установки:
1 – контейнер; 2 – ґрунтовий субстрат; 3 − геотекстильне полотно; 4 – геомембрана ІЗОЛІТ-8мм; 5 – дренажний отвір; 6 – приймальний резервуар; 7 – електронна вага Axis BDU-60; 8 – розподільний трубопровід; 9 – кульовий кран; 10 – штучний дощ; 11 – опори

Контейнер 1 із зеленим дахом встановлювали на дослідний лоток з похилом i_0=0,02 у бік дренажного отвору 5. Дослідний зелений дах складався з трьох шарів: геомембрана ІЗОЛИТ − 8 мм, геотекстильне полотно − 1 мм, ґрунтовий субстрат − 20 мм. До складу ґрунтового субстрату входили три компоненти у співвідношенні 3:1:1 за масою: керамзит фракції 10−20 мм, торф із частинками перліту та хвойна тирса. Маса ґрунтового субстрату зеленого даху на момент монтажу становила $M_{гр,поч}$=1,60 кг. Маса геомембрани − 0,09 кг.

Дощ потрібної розрахункової інтенсивності імітувався за допомогою розподільного трубопроводу 8 з рівномірно розташованими по довжині отворами діаметром 2 мм. Для даної серії дослідів за розрахунковий було прийнято дощ тривалістю 1 хв з періодом одноразового перевищення інтенсивності P=10 років для кліматичних умов м. Києва ($q_{20,P=1}$=100 л/(с·га); n=0,71; m_p=110; γ=1,54) [7]. Тоді, згідно нормативного документа [7], розрахункова інтенсивність випадання

модельного дощу: $q_{1,P=10}$=1550 л/(с·га), що при площі дослідного зеленого даху $F_{ЗД}$=0,1568 м^2 відповідає об'ємній витраті дощу Q_r=0,0243 л/с.

Притік води до приймального резервуара 6 записувався в автоматичному режимі за допомогою електронної ваги 7 марки Axis BDU-60 з цифровим інтерфейсом RS-232 для запису даних про поточну масу стоку на персональний комп'ютер. На рис. 2 представлено результати трьох експериментальних досліджень зеленого даху загальною товщиною 29 мм при різних значеннях його початкової маси. Різна початкова маса відповідає різній залишковій водонасиченості зеленого даху на момент початку випадання дощу.

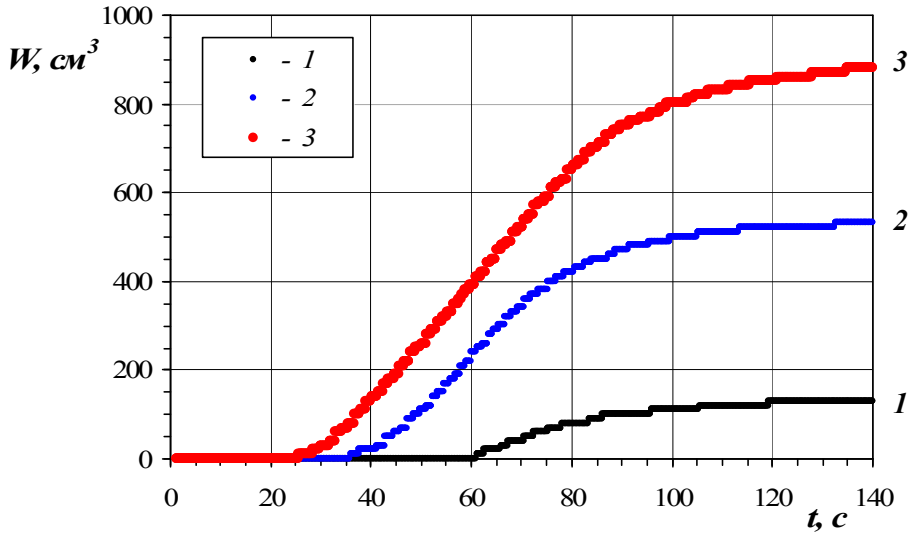

Рис. 2. Зміна в часі об'єму стоку рідини з дослідного зеленого даху загальною товщиною 29 мм (висота шару ґрунтового субстрату – 20 мм) залежно від маси зеленого даху на момент початку дощу: 1 – 1,69 кг; 2 – 3,09 кг; 3 – 3,31 кг

Для кількісної характеристики водозатримувальної здатності зеленого даху пропонується використовувати його пористість, яка чисельно дорівнює відношенню об'єму пор і пустот до номінального об'єму зеленого даху:

$$p = W_{пор} / W_{ЗД} = \frac{M_{в.н} - M}{\rho_в W_{ЗД}} , \qquad (1)$$

де $M_{в.н}$, M – відповідно маса зеленого даху у водонасиченому стані та поточна маса; експериментально було встановлено, що маса досліджуваного зеленого даху у повністю водонасиченому стані: $M_{в.н}$=7,00 кг.

Показовою характеристикою є також середня питома маса зеленого даху:

$$\rho_{ЗД} = \frac{M_{ЗД}}{W_{ЗД}} . \qquad (2)$$

Стан водонасичення ґрунтового субстрату зеленого даху може бути кількісно описаний за допомогою відносної вологості субстрату, яка чисельно дорівнює відношенню маси води, присутньої у вологому субстраті, до маси вологого ґрунтового субстрату $M_{гр}$:

$$\varphi = \frac{M_{гр} - (M_{гр})_{сух}}{M_{гр}} , \qquad (3)$$

де $(M_{гр})_{сух}$ – маса сухої речовини в ґрунтовому субстраті досліджуваного зеленого даху. Висушуванням частини ґрунтової суміші у сушильній шафі отримано, що для досліджуваного зеленого даху $(M_{гр})_{сух}$ =1,295 кг.

У таблиці 1 приведено основні інтегральні характеристики досліджуваного зеленого даху на початку та в кінці розрахункових дощів.

Таблиця 1

Характеристики дослідного зеленого даху ($h_{ЗД}$=29 мм; $h_{гр}$=20 мм)

№ досліду	1	2	3
$M_{поч}$, кг	1,69	3,09	3,31
$\rho_{поч}$, кг/м^3	371,6	679,5	727,9
$p_{поч}$	0,692	0,383	0,335
$\varphi_{поч}$, %	18,0	55,2	58,2
$q_д$, л/(с·га)	1499	1518	1537
$W_д$, дм^3	1,410	1,428	1,446
$W_{ст}$, дм^3	0,140	0,531	0,891
$M_к$, кг	2,96	3,98	3,85
$E_{ЗД}$, %	90,1	62,8	38,4
$\rho_к$, кг/м^3	650,4	874,3	847,5
$p_к$, %	0,412	0,188	0,215
$\varphi_к$, %	53,2	65,2	64,1

Висновки. Експериментально досліджено водозатримувальні характеристики екстенсивного даху особливо малої товщини ($h_{ЗД}$=29 мм) з висотою шару ґрунтового субстрату 20 мм для розрахункового дощу тривалістю 1 хв з періодом одноразового перевищення інтенсивності P=10 років. При зміні пористості зеленого даху на момент початку дощу $p_{поч}$ від 0,692 до 0,335 ефективність затримання дощового стоку змінювалася від 90,1% до 38,4 %, що підтверджує достатньо високу ефективність зменшення об'єму стоку навіть при використанні зелених дахів особливо малої товщини.

1. *Green roofs for stormwater runoff control / [Berghage R.D., Beattie D., Jarrett A.R. and oth.] // EPA/600/R-09/026. − Cincinnati, OH : National Risk Management Research Laboratory. U.S. Environmental Protection Agency, 2009. − 81 p.*

2. *Palla A. Hydrologic restoration in the urban environment using green roofs / A. Palla, I. Gnecco, L.G. Lanza // Water, N2. − 2010. − pp. 140−154.*

3. *Bengtsson L. Hydrological function of a thin extensive green roof in southern Sweden / L. Bengtsson, L. Grahn, J. Olsson // Nordic Hydrology. − 2005. − №36. − p. 259−268.*

4. *Feasibility of green roofs in Hawai'i: A source of private and public Benefits / Kaufman A., Cox L.J., Muira T., Easterday D. // Feasibility study of green roof technologies in urban districts in Hawaii. SR-86 (2006). − 2006. − 75 p.*

5. *Miller C. Vegetated roof covers: A new method for controlling runoff in urbanized areas. Proceedings: Pennsylvania Stormwater Management Symposium. Villanova University. Villanova, PA.− 1998.*

6. *Van Woert N.D. Green roof stormwater retention: effects of roof surface, slope and media depth / N.D. Van Woert, .B. Rowe, J.A. Andresen, C.L. Rugh, R.T. Fernandez, L. Xiao // Journal of Environmental Quality. − 2005. − №34(3). − pp. 1036−1044.*

7. *СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986.*