

*В.М. Жук, канд. техн. наук, доцент  
(Національний університет „Львівська політехніка”)  
Л.А. Кавецький  
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

## **ЗАПОБІГАННЯ НАДЗВИЧАЙНИМ СИТУАЦІЯМ ГІДРОЛОГІЧНОГО ХАРАКТЕРУ МЕТОДОМ ЗМЕНШЕННЯ ДОЩОВИХ СТОКІВ ЗА ДОПОМОГОЮ СИСТЕМ „ЗЕЛЕНИХ” ДАХІВ**

Наведено масштаби виникнення та негативні наслідки від надзвичайних ситуацій гідрологічного характеру. Для запобігання їх утворенню на територіях щільно забудованих міст України запропоновано новий альтернативний метод забезпечення безпеки життєдіяльності людини, який активно впроваджується у містах багатьох високорозвинутих країн світу – „озеленення” дахів. Розглянуто призначення, сферу застосування та типи „зелених” дахів, їх конструктивні рішення, переваги і недоліки. Здійснено узагальнення результатів досліджень у сфері керування дощовими стоками за допомогою систем „зелених” дахів та проаналізовано залежність ефективності роботи даних систем від ряду чинників, у тому числі – від кліматичних умов регіону.

*Ключові слова:* паводок, дощові стоки, „зелені” дахи.

**Вступ.** Останні спостереження світової гідрометеорологічної науки засвідчують глобальні зміни клімату на земній кулі. За останнє сторіччя в атмосфері збільшилась на 10% концентрація вуглекислого газу, що в результаті так званого „парникового ефекту” спричинило глобальне потепління. Середньорічна температура за останні 50 років зросла на 0,5 °С, а це, у свою чергу, призвело до небезпеки розвитку як посух, так і паводків на водних об'єктах внаслідок збільшення кількості атмосферних опадів. За прогнозом німецьких екологів протягом найближчих 50 років у приземних шарах атмосфери можливе подальше потепління майже на 1,5 °С [1]. За таких умов у майбутньому слід очікувати збільшення частоти виникнення та масштабу природних надзвичайних ситуацій, що вимагає удосконалення існуючих та розробки нових методів забезпечення безпеки життєдіяльності людини.

**Актуальність проблеми.** Паводки є частиною природного водного циклу. Джерелами повеней є дощові води та танення снігу. Катастрофічні паводки можуть супроводжуватись такими небезпечними силовими процесами, як зсув та ерозія ґрунтів, селеві потоки та карстові явища, внаслідок чого відбувається руйнування будівель, інженерних споруд та комунікацій; розмив залізничних та автомобільних шляхів. Негативний вплив на навколишнє середовище мають потенційні забруднювачі, які переносяться водою внаслідок затоплення територій: побутове сміття, нафтопродукти, важкі метали, агрохімікати та пестициди, хвороботворні мікроорганізми.

Негативні наслідки від паводків проявляються на 27% території України (165000 км<sup>2</sup>), де проживає майже третина населення. В країні практично не існує жодної території, де б не відчувався час від часу негативний вплив надзвичайних ситуацій цього характеру [2]. Так, у 2010 році на території України було підтоплено понад 65 населених пунктів, внаслідок чого загинуло три людини та порушено нормальні умови життєдіяльності більш як 15 тис. осіб, а завдані стихією збитки перевищили 980 млн. грн [3].

Проблеми підтоплення території актуальні для багатьох країн Європи і світу. Про це свідчить ситуація, що виникла в низці країн Центральної Європи в середині травня 2010 року. Внаслідок тривалих дощів у регіоні, що почалися в ніч з 15 на 16 травня, повінь охопила такі країни як Польща, Чехія, Словаччина, Угорщина, а також Австрія та Сербія.

Боротьба з гідрологічними надзвичайними ситуаціями є важливою державною задачею у багатьох країнах світу. Захист від паводків передбачає як заходи щодо зменшення ймовірності їх виникнення, так і заходи щодо зменшення негативних наслідків. Основною задачею, яка ставиться при проектуванні водорегулювальних споруд, є затримання максимально можливого об'єму дощового стоку на якомога довший час. Для захисту від паводків за-

стосовується широкий спектр технічних заходів: дамби, стінки, акумулювальні ємності, греблі для затримання води та ін. Одним із найефективніших засобів регулювання дощового стоку є затримання води ґрунтовою поверхнею, вкритою рослинністю. При цьому водорегулювання здійснюється шляхом затримання вологи рослинами, внаслідок транспірації, ґрунтового поглинання та випаровування води з поверхні. Ґрунтове покриття із зеленими насадженнями здатне затримувати до декількох десятків літрів опадів на один квадратний метр, тобто є найбільшим природним резервуаром для зменшення чи тимчасового затримання поверхневого стоку. Проте, в процесі урбанізації різко зростає відсоток водонепроникних поверхонь, що знижує інфільтраційні властивості території басейну стоку і призводить до різкого збільшення як об'єму, так і максимальної витрати дощового стоку.

**Результати попередніх досліджень.** Останні два десятиліття у Німеччині, США та інших країнах активно досліджується та широко впроваджується екологічно чистий метод регулювання дощового стоку з використанням систем „зелених” дахів. Цей метод полягає у влаштуванні на дахах будівель зелених насаджень, основна функція яких полягає у зменшенні стоку дощової води, що стікає з дахів під час сильних опадів. Вода частково затримується в субстраті зеленого покриття, поглинається рослинами та повертається в атмосферу через випаровування.

Сьогодні науковці активно досліджують характеристики цих систем у різних регіонах планети. Наймасштабнішими є дослідження, зроблені Д. Ментенсом, Д. Расом та М. Хермі (університет Лувена, Бельгія [4]); К. Манфредом (Нойбранденбургський університет, Німеччина [5]); К. Шольц-Барт (Гардвардський університет, США [6]); Е. Мораном (Державний університет штату Північна Кароліна, США [7]); Д. Хатчінсоном (Відділ з охорони навколишнього середовища штату Орегон, США [8]); Д. Тилингером, Г. Остроффом та Д. Бітті (Колумбійський університет, США [9]); *Л. Бенгтссоном* (університет Лунда, Швеція [10]).

В Україні дослідженням роботи „зелених” дахів досі не приділялося належної уваги.

**Мега роботи.** Аналіз та узагальнення результатів наукових досліджень щодо управління дощовим стоком за допомогою систем „зелених” дахів, з метою запобігання виникненню надзвичайних ситуацій гідрологічного характеру в умовах щільної міської забудови.

#### 1. Опис конструктивних рішень систем „зелених” дахів

Для управління дощовим стоком та захисту внутрішніх приміщень будівлі від зовнішніх чинників „зелені” дахи монтують із таких шарів: гідроізоляційної мембрани, дренажної системи, тканинного фільтра, родючого шару, а також самої рослинності (рис. 1). Гідроізоляційні мембрани можуть бути декількох видів – від модифікованої бітумної до полівінілхлоридної. Дренажна система влаштовується під родючим шаром ґрунту для відведення зайвої кількості води при випаданні інтенсивних опадів.

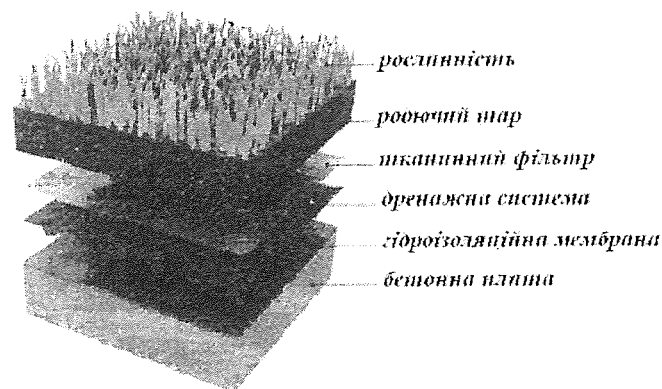


Рис. 1. Типова конструкція „зеленого” даху (за даними [12])

Деякі системи сконструйовані так, щоб частина затриманої води зберігалася і поверталася в ґрунт „зеленого” даху в період засухи. Для дренажу використовують як легкі матеріали (керамзитовий гравій, перлітовий кокс, колоту пемзу), так і значно важчі, наприклад, гравій та розпушену глину. Можливе також використання в ролі дренажного шару поліамідної губки. Між

дренажною системою та середовищем для вирощування рослин розташовують тонкий тканинний фільтр для запобігання засміченню дренажу частинками рослинного ґрунту. Ґрунтовий субстрат (вегетаційний шар) – це суміш на основі ґрунту, піску, керамзиту, перліту, торфу, глини, сланцю, деревної тріски, подрібненої кори або синтетичних матеріалів. Звичайну землю в системах „зелених” дахів використовувати не рекомендується. Важливим є правильний вибір рослин, оскільки вони повинні бути адаптованими до екстремальних умов, які можуть створитися на даху будівлі: різкі перепади температури, надмірне зволоження або тривала засуха, морози, вітри, радіація, нестача поживних речовин.

## 2. Призначення та сфера застосування „зелених” дахів

„Зелені” дахи здатні не лише затримувати, але й очищати дощову воду, що даватиме змогу використовувати її надалі в побутових чи виробничих цілях. У ряді країн світу (Німеччина, Англія, Японія) дощова вода зібрана таким способом використовується для протипожежних систем, для поливу полів, присадибних ділянок та газонів, для технологічних процесів, для використання в санітарних мережах.

Як правило, системи збору дощової води застосовуються в приватному секторі, сфері обслуговування (готелі, відпочинкові комплекси, торгово-розважальні центри), в аеропортах, на критих стадіонах, вокзалах і т. п. Наприклад, у м. Хьюстон (США) із „зеленого” даху медичного центру „251 East Medical Center” площею 1352 м<sup>2</sup> дощову воду збирають в підземний резервуар об’ємом 662 м<sup>3</sup>. Таким чином, повністю забезпечуються водою систему зрошення, протипожежну систему та зливні баки санітарної мережі цього об’єкта [13].

## 3. Переваги та недоліки „зелених” дахів

До позитивних властивостей „зелених” дахів відносять:

- зменшення об’єму та максимальної витрати дощового стоку з даху будівлі, а також відтермінування її в часі;
- запобігання швидкому розповсюдженню вогню по поверхні покрівлі при пожежі;
- скорочення витрати на електроенергію до 25% (звичайний дах улітку нагрівається до 80 °С, тоді як „зелений” дах – лише до 25 °С);
- зниження ефекту теплового острова (відбивні властивості „зелених” дахів і наявність рослинності на них дозволяють активно знижувати літню температуру та підвищувати температуру в приміщеннях взимку);
- збільшення середнього терміну служби даху від 30 до 60 років („зелені” дахи захищають будівлю від шкідливого впливу ультрафіолетових променів і різких змін зовнішньої температури; додаткова вага не дає можливості зірвати вітром дах під час буревіїв);
- покращення якості повітря в місті („зелені” дахи поглинають і перетворюють двоокис вуглецю з повітря, генеруючи кисень; дослідження показують, що 1 м<sup>2</sup> трав’яного покриву за рік поглинає з повітря 0,2 кг шкідливих речовин);
- покращення шумоізоляції;
- поглинання до 20 % пилу;
- покращення естетичного вигляду та ступеня благоустрою [4].

Поряд із значною кількістю переваг влаштування „зелених” дахів пов’язане з такими проблемами:

- суттєве збільшення навантаження на конструкцію покриття;
- хімічна та біологічна дія на гідроізоляційний захист;
- ускладнення відведення води з покрівлі;
- складність ремонту покрівлі;
- озеленення слід здійснювати рослинами, адаптованими до кліматичних умов і лише з так званою горизонтальною кореневою системою.

## 4. Типи „зелених” дахів

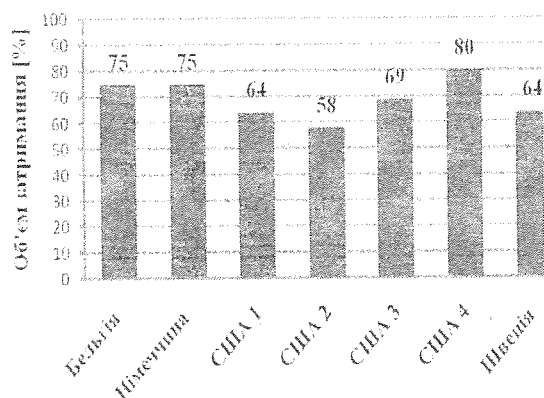
Залежно від виду рослин та глибини родючого шару „зелені дахи” поділяються на два основних типи – екстенсивний та інтенсивний.

Екстенсивні дахи мають неглибокий шар ґрунту (від 25 до 150 мм) та забезпечують життя тільки дуже витривалим і низькорослим рослинам. Питоме водопоглинання опадів дахом такого типу становить 20-23 л/м<sup>2</sup>, мінімальне навантаження на перекриття у вологонасиченому стані при висоті родючого шару 100 мм становить в межах 85-90 кг/м<sup>2</sup>. Цей вид озеленення є найдешевшим та потребує мінімального догляду за покрівлею (лише 2 рази на рік). Кут нахилу покрівлі з таким озелененням може досягати 45° [4].

Інтенсивні дахи виглядають дещо естетичніше і нагадують скоріше маленькі садки з товщиною родючого шару понад 150 мм, які спроможні затримати на площі 1 м<sup>2</sup> до 73 л опадів. Таке комплексне озеленення збільшує навантаження на перекриття до 320 кг/м<sup>2</sup> у вологонасиченому стані при висоті родючого шару 400 мм. Окрім цього, цей тип покрівельного ландшафту потребує більш регулярного та ретельного обслуговування: поливу, внесення добрив та покосу газонної трави. Відповідно, загальна сума витрат на облаштування даху такого типу збільшується. Інтенсивні системи зазвичай розміщуються на дахах із кутом нахилу менше 10° [4].

##### 5. Відсоткове зменшення дощового стоку

В цілому протягом одного року експлуатації „зелені” дахи здатні затримати 50% і більше річного обсягу опадів, які потрапили на них, та відповідно прямопропорційно зменшити об’єм дощових стоків [13]. Аналіз ряду наукових праць, щодо досліджень у сфері управління дощовим стоком за допомогою „зелених” дахів [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10] дозволяє зробити висновок, що максимальний показник затримання річного об’єму опадів становить біля 80%. Отримані результати перенесено на графік, який демонструє ефективність роботи систем „зелених” покрівель (рис. 2).



**Рис. 2.** Середня ефективність затримання опадів „зеленими” дахами (за даними [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10] відповідно)

Широкий діапазон значень ефективності систем „зелених” дахів, пояснюється впливом на нього багатьох чинників. У першу чергу, це кліматичні характеристики (кількість та інтенсивність опадів, температура повітря та швидкість вітру), структура та товщина родючого шару, кут нахилу покрівлі та вид самого озеленення [11].

К. Шольц-Барт дослідила вплив товщини родючого шару на об’єм затримання опадів. У роботі [8] показано, що при збільшенні товщини шару від 20 мм до 150 мм, ефективність затримання опадів збільшується порівняно незначно: від 58% до 72%. Вивченням питання впливу кута нахилу „зелених” дахів на ефективність їх роботи займався американський дослідник Ван Уоерт. Він тестував „зелені” дахи із кутами нахилу 2 та 6,5° та глибиною родючого шару 25; 40 і 60 мм. Найбільше скорочення об’єму дощового стоку дала покрівля з кутом нахилу 2° та глибиною шару 40 мм [14].

##### 6. Ефективність систем „зелених” дахів залежно від пори року

Ефективність „зелених” дахів щодо зменшення дощового стоку істотно змінюється протягом року. Максимальний ефект припадає на літній період, а мінімальний відповідно на зимовий. Так, у літні місяці ці системи зменшують об’єми дощових стоків до 95 %, а взимку – менше як на 20 % (рис. 3) [15].

Це пояснюється тим, що влітку з поверхні „зеленого” даху відбувається випаровування максимальної кількості вологи. Як показують дослідження [16], інтенсивність випаровування рослин зеленою травостоєю в цей період становить близько  $200 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ . Окрім транспірації, волога також інтенсивно випаровується і з поверхні самого родючого шару. Завдяки цим сумарним випаровуванням, „зелені” дахи повертають вологу назад у атмосферу та затримують значні об’єми опадів. Навпаки, взимку, при низькій температурі, випаровування відбувається значно повільніше, а самі рослини „сплять”, що обумовлює низьку ефективність „зеленого” даху в цей період року.

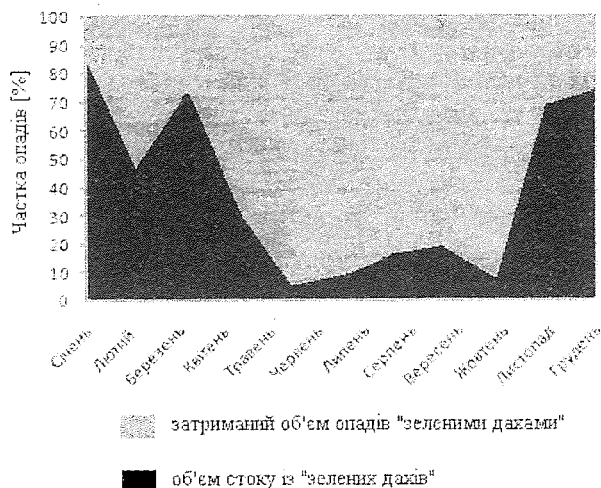


Рис. 3. Ефективність роботи „зелених” дахів залежно від пори року ([6])

#### 7. Відтермінування у часі піку дощового стоку із „зелених” дахів

Не менш важливим є той факт, що при поглинанні опадів „зеленими” дахами відбувається не лише зменшення об’єму дощового стоку та зниження максимальної витрати, але й затримання цього піку в часі. На рис. 4 зображено результати натурних досліджень науковців з університету м. Генуї (Італія) [11]. У даному дослідженні висота шару опадів становила 41,2 мм, ефективність затримання води „зеленим” дахом становила 41%, максимальна витрата дощового стоку становила 13% порівняно з витратою зі звичайного даху, а час досягнення максимальної витрати збільшився на 53 хв.

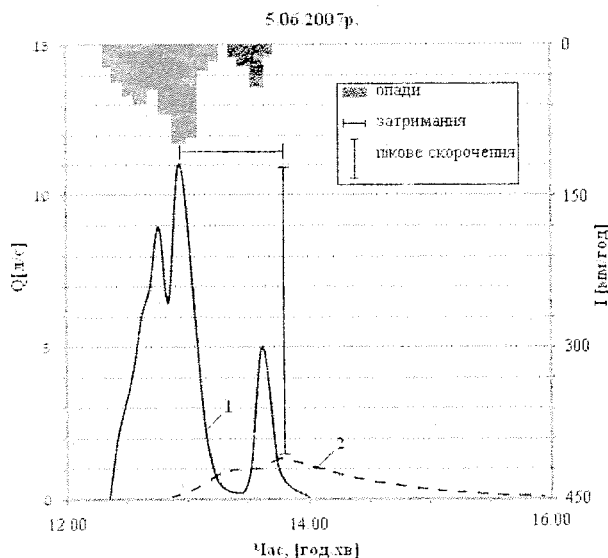


Рис. 4. Порівняльна характеристика гідрографів дощових стоків із покрівель двох видів: 1 – при використанні водонепроникних плоских покрівель; 2 – при використанні „зелених” дахів (за даними [11])

## Висновки

За умов глобального потепління у багатьох країнах світу приділяється особливе значення боротьбі із гідрологічними надзвичайними ситуаціями. У Німеччині, США, Японії та ряді інших країн світу широко запроваджується метод регулювання дощового стоку в умовах міської забудови за допомогою систем „зелених” дахів.

Аналіз наукових праць показує, що „зелені” дахи здатні затримувати до 80 % річного об’єму опадів. При цьому досягається суттєве (до 5–10 разів) зменшення максимальної витрати з відповідного басейну стоку, а також досягається суттєве відтермінування часу виникнення максимальної витрати, що має істотний водорегулювальний ефект в умовах щільної міської забудови.

Ефективність роботи „зелених” дахів найбільше залежить від таких факторів: висоти середньорічного шару опадів; середньої температури повітря у теплий період року; товщини родючого шару; кута нахилу покрівлі; виду рослинності.

Беручи до уваги досвід ряду іноземних країн із впровадження методів запобігання підтопленню територій та позитивні результати щодо використання для регулювання дощового стоку „зелених” дахів, доцільно провести систематичні натурні дослідження систем „зелених” дахів для кліматичних умов різних регіонів України.

## Список літератури:

1. **Стойко С.М.** Причини катастрофічних паводків у Закарпатті, їх прогноз та заходи боротьби / С.М. Стойко // Старий замок, 29 березня 2001 р. – С. 5-7.
2. „Концепція Державної цільової комплексної програми протипаводкового захисту у Прикарпатському регіоні на період 2009 – 2015 рр”. Офіційний веб-сайт: [www.scwm.gov.ua](http://www.scwm.gov.ua)
3. Аналіз надзвичайних ситуацій в Україні, які виникли протягом I-го півріччя 2010 року. Офіційний веб-сайт: <http://www.mns.gov.ua/opinfo/4766.html>
4. **Mentens J.; Raes D.; Hermy M.** Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? // *Landscape Urban Plan.* – V. 77. – 2006. – pp. 217–226.
5. **Koehler M.** Urban storm water management by extensive green roofs. // In *Proceedings of the World Green Roof Congress / Welt Grunddach-Kongress, Basel, Switzerland, September 2005.* – pp. 150–156.
6. **Scholtz-Barth K.** Green roofs: storm water management from the top down.– *Environ. Design and Construction*, 2001, January/February.
7. **Moran A., Hunt B., Smith J.** Hydrologic and water quality performance from green roofs in Goldsboro and Raleigh, North Carolina. // In *Greening Rooftops for Sustainable Communities, Proceedings of the Third North American Green Roofs Conference, Washington, D.C., May 2005.* Toronto: The Cardinal Group. – 2005. – pp. 512–525.
8. **Hutchinson D., Abrams P., Retzlaff R., Liptan T.** Stormwater monitoring two ecoroofs in Portland, Oregon, USA. // In *Greening Rooftops for Sustainable Communities, Proceedings of the First North American Green Roofs Conference, Chicago, May 2003.* – Toronto: The Cardinal Group. – 2003. – pp. 372–389.
9. **Bengtsson L.** Peak flows from thin sedum-moss roof. // *Nordic Hydrology.* – V. 36, (3). – 2005. – pp. 269–280.
10. **Tillinger, D.; Ostroff, G.; Beattie, D.; Berghage, R.; Mankiewicz, P.; Montalto, F.** Hydrologic functions of green roofs in New York City. In *Green Roofs in the New York metropolitan region: Research Report.* Columbia University Center for Climate System Research and NASA Goddard Institute for Space Study, 2006, pp. 27–36.
11. **Palla A., Gnecco I., Lanza L.G.** Hydrologic restoration in the urban environment using green roofs.– Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering, University of Genova // *Water*, N2. – 2010. – pp. 140–154.
12. Jackson square redevelopment initiative sustainability pilot. Vita Nuova L., Newtown C.T. // *Recommendations for Green Roof Planning Boulevard Arlington, VA 22201.* FINAL May 14, 2009.

13. Williams D., Kinder J. Prairie Designs LLC. Coupling Rainwater Collection with Living Roofs: A Water Quality Review. Colbond Project Press Release of 4.25.07. July, 2010.

14. Van Woert N.D., Rowe D.B., Andresen J.A., Rugh C.L., Fernandez R.T., Xiao L. Green roof stormwater retention: effects of roof surface, slope and media depth. // Journal of Environmental Quality. – 34, (3). – pp. 1036–1044.

15. Berghage R.D., Beattie D., Jarrett A.R., Thuring C., Razaei F. Green roofs for stormwater runoff control. // The Pennsylvania State University. University Park, PA 16802. EPA/600/R-09/026. February, 2009. – 81 p.

16. Короленко В.Г. Інтенсивність транспірації лучних рослин лівобережного лісо-степу України / В.Г. Короленко // Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія. – 2009. – Вип. 17, т. 1. – С. 166–171.

*В.М. Жук, канд. техн. наук, доцент  
(Национальный университет "Львовская политехника")*

*Л.А. Кавецкий*

*(Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности)*

### **ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ХАРАКТЕРА МЕТОДОМ УМЕНЬШЕНИЯ ЛИВНЕВЫХ СТОКОВ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМ „ЗЕЛЕННЫХ” КРЫШ**

Приведены масштабы возникновения и негативные последствия от чрезвычайных ситуаций гидрологического характера. Для предотвращения их образованию на территориях плотно застроенных городов Украины предложен новый альтернативный метод обеспечения безопасности жизнедеятельности человека, который активно внедряется в городах многих высокоразвитых стран мира – „озеленение” крыш. Рассмотрены назначение, область применения и типы „зеленых” крыш, их конструктивные решения, преимущества и недостатки. Осуществлено обобщение результатов исследований в области управления дождевыми стоками с помощью систем „зеленых” крыш и проанализирована зависимость эффективности работы данных систем от ряда факторов, в том числе – от климатических условий региона.

*Ключевые слова:* паводок, дождевые стоки, „зеленые” крыши.

*V.M. Zhuk, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor  
(Lviv Polytechnic National University)*

*L.A. Kavetskyi*

*(Lviv State University of Vital Activity Safety)*

### **EMERGENCIES PREVENTIONS OF HYDROLOGICAL CHARACTER BY REDUCING OF RAINWATERS SYSTEMS WITH THE HELP OF THE SYSTEMS OF „GREEN ROOFS”**

The article deals with the scope of occurrence and negative consequences of emergencies hydrological nature. To prevent their formation in the closely covered with building areas in Ukraine, a new alternative method is offered to ensure the human lives' safety, which is very widely spread in well-known countries like „greening” of roofs. Their purpose was to look at, sphere of appliance and the types of 'green' roofs, their constructive decisions, advantages and disadvantages. The generalization of results in the sphere of drainage systems controlling with the help of „green” roof. The dependence of these systems efficiency from a number of factors including the climatic conditions of the region is analyzed.

*Key words:* flood, rainwater systems, „green” roofs.