

УДК 004.94

Вишнівський В.В., докт. техн. наук; **Волчек О. О.**, докт. географ. наук;
Костюк Д. О., канд. техн. наук; **Петров Д. О.**

ГЕОМЕТРИЧНА ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ЗОНИ ЗАТОПЛЕННЯ ДЛЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ І ПРОГНОЗУВАННЯ ПАВОДКУ

Vyshnivskyy V.V., Volchek O.O., Kostyuk D.O., Petrov D.O. Geometrical visualization of area of submergence for the system of monitoring and prognostication of flood. The algorithm is presented to calculate flooding situation based on water level data taken in control points placed in the river basin. The calculation includes constructing the curved surface of a water mirror and finding the line of its crossing with digital elevation map of the terrain. The got decision is able for certain to forecast floods in any river basin, at presence of results of the hydrological measurings and topographical information. Basis of construction of model of mirror of water and its crossing with the digital model of hypsography is a method of decision of task of calculation the contour of limit of water taking into account inclination of its surface along the river-bed of the river on the basis of approximation of levels from the known values. Proposed method needs no high processing power but correctly models the spread of water over the complex terrain; it can be used in distributed calculating networks, and allows conter-balancing of digital elevation map inaccuracies with use of flood empirical observations data.

Keywords: distributed calculating network, visualization, area of submergence, flood, digital model of locality, monitoring, prognostication

Вишнівський В.В., Волчек О.О., Костюк Д.О., Петров Д.О. Геометрична візуалізація зони затоплення для системи моніторингу і прогнозування паводку. У статті представляється алгоритм розрахунку картини затоплення паводковими водами на основі даних про рівень води в контрольних точках русла річки. Розрахунок включає побудову криволінійної поверхні дзеркала води, і лінії її перетину з моделлю рельєфу місцевості. Представлений підхід не вимагає високопродуктивних обчислювальних засобів, дозволяє коректно моделювати поширення води по складному рельєфу місцевості і може використовуватися в розподілених обчислювальних мережах, а також допускає можливість нівелювання помилок моделі рельєфу за допомогою даних емпіричних спостережень за паводком.

Ключові слова: розподілена обчислювальна мережа, візуалізація, зона затоплення, паводок, цифрова модель місцевості, моніторинг, прогнозування

Вишневский В.В., Волчек А.А., Костюк Д.А., Петров Д.О. Геометрическая визуализация зоны затопления для системы мониторинга и прогнозирования паводка. В статье представляется алгоритм расчета картины затопления паводковыми водами на основе данных об уровне воды в контрольных точках русла реки. Расчет включает построение криволинейной поверхности зеркала воды, и линии ее пересечения, с моделью рельефа местности. Представленный подход не требует высокопродуктивных вычислительных средств, позволяет корректно моделировать распространение воды по сложному рельефу местности и может использоваться в распределенных вычислительных сетях, а также допускает возможность нивелировки ошибок модели рельефа с помощью данных эмпирических наблюдений за паводком.

Ключевые слова: распределенная вычислительная сеть, визуализация, зона затопления, паводок, цифровая модель местности, мониторинг, прогнозирование

1. Вступ. Щорічно значні території в багатьох країнах опиняються в зоні паводку, на ліквідацію наслідків якого витрачаються значні кошти. Найчастіше через неможливість повністю виключити повені, першочергове завдання полягає в тому, щоб максимально пристосувати господарську діяльність до можливих екстремальних умов, і тим самим мінімізувати втрати.

В рамках вирішення цієї проблеми у ряді країн розробляються спеціальні програмні засоби для візуалізації повеней: як реальної ситуації, так і очікувань, що ґрунтуються на прогнозних значеннях рівня води [1, 2]. У даній роботі представлено алгоритмічне рішення, розроблене нами для такої системи, що орієнтоване на контроль паводку в заплаві р. Прип'ять. Отримане рішення здатне достовірно прогнозувати повені в басейні будь-якої річки при наявності результатів гідрологічних вимірювань і топографічних даних [1].

Метою статті є розробка методики алгоритму розрахунку картини затоплення паводковими водами на основі даних про рівень води в контрольних точках русла річки.

2. Принципи геометричного розрахунку зони затоплення. Моделювання паводкової ситуації в рамках ГІС як правило полягає в побудові перетину поверхні рельєфу з дзеркалом води. Достовірність реалізації такої геометричної моделі багато в чому залежить від вибору методики моделювання поверхні рельєфу.

Найпростіший підхід, який застосовується в багатьох дослідженнях з оцінки затоплення, припускає, що водна поверхня має постійну висоту [2-4], а моделювання виконується перетином поверхні рельєфу з горизонтальною площиною, висота якої відповідає позначці рівня води для заданого фрагмента місцевості. Основний недолік цього підходу можна наочно спостерігати на рис. 1, де виявляється затоплена ізольована область, яка насправді недоступна паводку. У ряді випадків (таких, як моделювання затоплення морського узбережжя) даний підхід може давати в цілому прийнятний результат. Абсолютно неприйнятним він виявляється для задач, де доводиться брати до уваги перепад водного рівня уздовж досліджуваного відрізка в порівнянні з величиною підняття води в ході затоплення: наприклад, при оцінці затоплення річкової мережі [2].

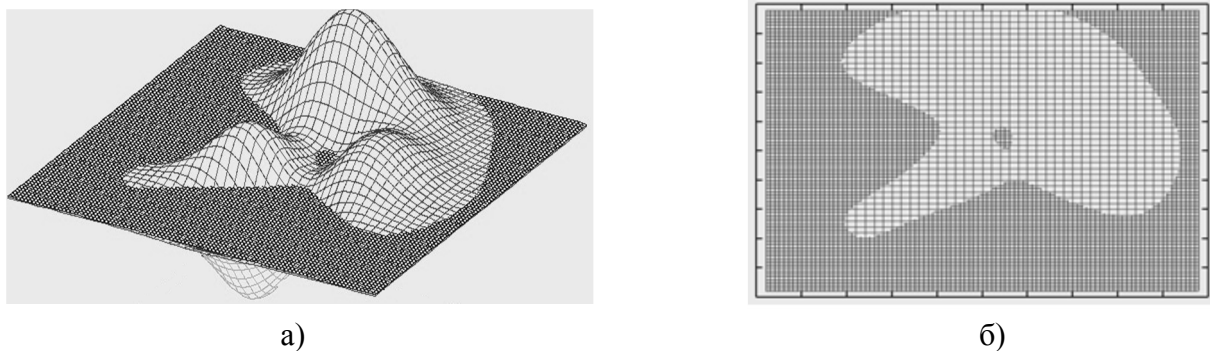


Рис. 1. Перетин поверхні рельєфу горизонтальною площиною

В [5, 6] сформульовані наступні етапи геометричного розрахунку зон затоплення заплави річки:

1. Підготовка даних для побудови цифрової моделі рельєфу;
2. Побудова цифрової моделі рельєфу;
3. Побудова криволінійної поверхні або тривимірних похилих площин, які наближено описують дзеркало води;

4. Визначення перетину площин з цифровою моделлю рельєфу і знаходження зони затоплення, побудова зони на цифровій карті.

У менш ресурсоємному, але не дуже точному варіанті реалізації дзеркало води описують похилі площини, які задаються за даними спостережень на гідропосту. У більш складному варіанті (і в математичному та в обчислювальному плані) дзеркало води представляється вузькою криволінійною інтерполяційною мережевою поверхнею, розміщеною вздовж річки.

У підсумку можна виділити дві відносно незалежні частини розрахунку: побудова поверхні води (рис. 1, а) і побудова перетину поверхні води з цифровою моделлю рельєфу (рис. 1, б). У ході розробки системи візуалізації паводку [1] нами були запропоновані власні реалізації для кожної з цих частин, чому і присвячені наступні розділи.

3. Побудова поверхні води. В якості відправної точки при розробці методу побудови моделі дзеркала води та її перетину з цифровою моделлю рельєфу місцевості ми вибрали запропонований в [7] метод вирішення задачі розрахунку контуру межі води з урахуванням нахилу її поверхні вздовж русла річки на основі апроксимації рівнів від відомих значень в гідропосту. Згідно [7], на початковому етапі будуються перпендикуляри до осьової лінії ріки, напрямки яких коригуються, щоб уникнути самоперетинів (перпендикуляри перетворюються в так звані «квазіперпендикуляри»).

На нашу думку, такий підхід необґрунтовано ускладнений [8]. Замість побудови перпендикулярів з подальшим коректуванням їх напрямів, доцільніше будувати спочатку

непересічні поперечні відрізки, що формують скелет поверхні для моделі дзеркала води. Подібна модифікація зменшує необхідний обсяг обчислень і спрощує алгоритм. Крім того, запропонована частота розміщення точок інтерполяції уздовж осьової лінії явно надлишкова, тому що робить скелет поверхні неоптимальним.

Зростання оснащення гідропостів електронним обладнанням призводить до того, що використання автоматичних або автоматизованих засобів моніторингу – все більш типова ситуація (особливо це вірно для досить щільно заселених європейських територій). Застосування мережі автономних гідрологічних пристроїв, які оптимально розташовані в руслі річки і виконують регулярні вимірювання, робить інтерполяцію значень рівня води не основним, а лише додатковим джерелом даних для побудови дзеркала води.

Описані особливості і міркування стали основою для нового алгоритму побудови поверхні (рис. 2).

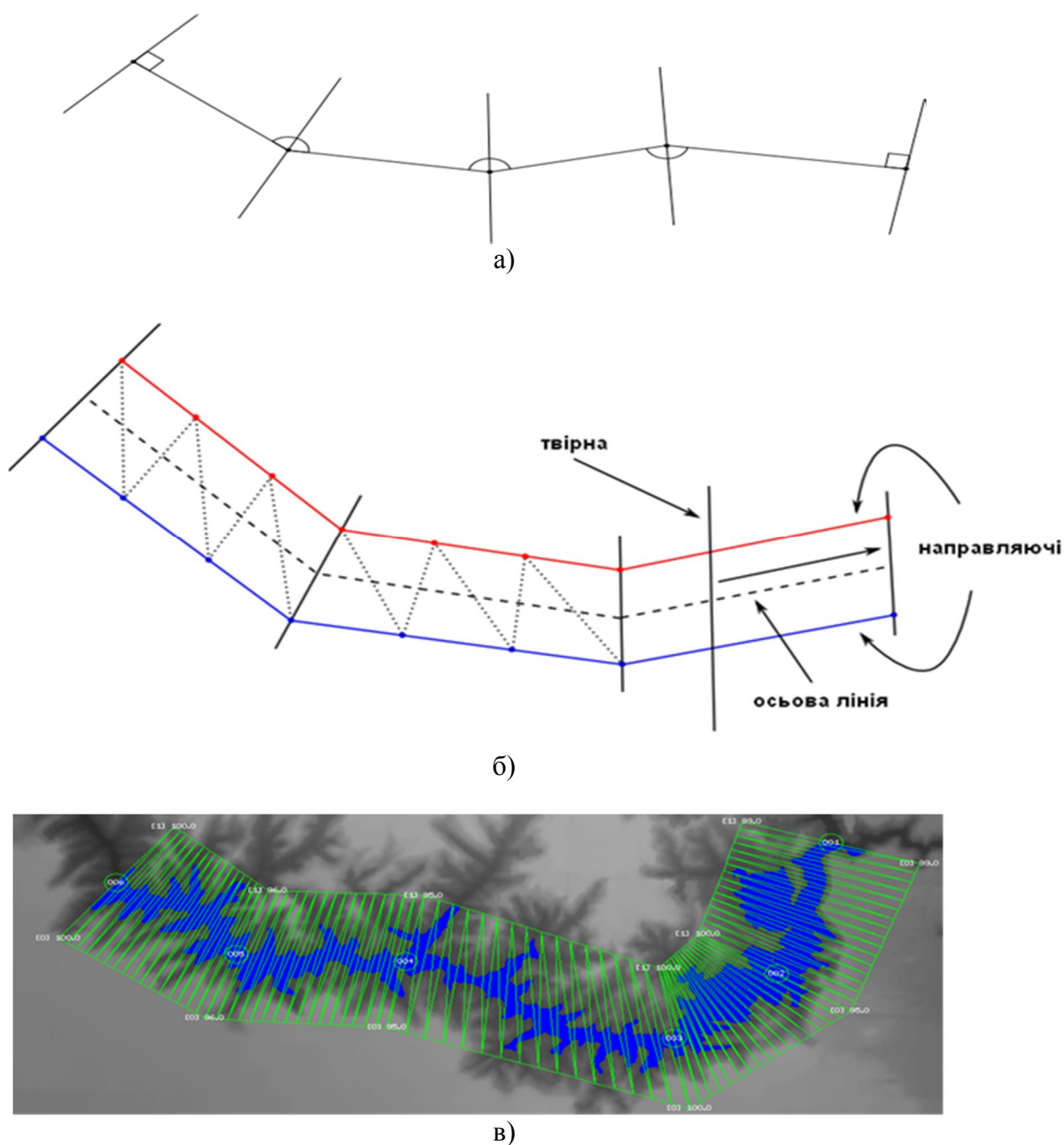


Рис. 2. Побудова поверхні

- а) – осьова лінія з поперечними відрізками;
- б) – побудова сегментів криволінійної смуги, яка наближено описує дзеркало води;
- в) – демонстраційний розрахунок зони затоплення.

При розробці підходу до побудови дзеркала води ми вибрали метод апроксимації смуги криволінійної поверхні плоскими трикутними гранями, що дозволяє зменшити обчислювальне навантаження при збереженні досить високої точності розрахунку. Алгоритм включає наступні етапи:

1. Через контрольні точки з координатами Z , рівними вимірної висоті рівня води, проводиться ламана осьова лінія. Для формування поперечних перерізів майбутньої криволінійної поверхні через ці ж точки проводяться відрізки прямих, які паралельні площині XY геометричної моделі (рис. 2, а).

2. Відрізки поперечних прямих, що проходять через першу і останню контрольні точки, перпендикулярні першому і останньому сегментам осьової ламаної лінії, а інші відрізки орієнтовані вздовж бісектрис кутів, утворених на площині XY суміжними сегментами осьової лінії. Довжина поперечних відрізків обмежується, щоб виключити можливість їх взаємного перетину.

3. Модель дзеркала води складається з розбитих на трикутні грані сегментів, утворених апроксимацією руху твірної уздовж осьової лінії між сусідніми поперечними перетинами криволінійної поверхні. Є можливість підбору кроку апроксимації руху твірної дозволяє змінювати деталізацію поверхні, і тим самим отримувати необхідний баланс точності і тривалості розрахунку (рис. 2, б)

4. Побудова перетину поверхні води з цифровою моделлю рельєфу. Побудова перетину поверхні дзеркала води з моделлю рельєфу, яка представлена матрицею висот, включає переведення триангульованої поверхні в матрицю висот і виконання модифікованого растрового алгоритму заливки з запалом, координати якого відповідають розташуванню першого гідропосту на цифровій моделі рельєфу. Алгоритм носить рекурсивний характер.

На кожній ітерації виконується вибір на матриці висот сусідніх невідмічених точок, що належать поверхні дзеркала води (мають висоту, що не перевищує реальний або прогнозований рівень води). Далі обрані точки відзначаються як покриті водою, і виконується перехід до наступної ітерації алгоритму, до досягнення умови неможливості вибору нових точок на матриці висот, які відповідають заданому критерію.

Результат візуалізації зони затоплення на демонстраційній поверхні можна бачити на рис. 2, в.

5. Коригування картини затоплення в умовах неточної моделі рельєфу. Основний фактор, що впливає на появу значних помилок при побудові прогнозованої зони затоплення методом перетину моделі поверхні води в річці з цифровою моделлю рельєфу навколишньої місцевості – це недостатня якість доступних дослідникам картографічних даних для побудови цифрової моделі місцевості.

Наприклад, при використанні загальнодоступної моделі рельєфу Землі SRTM [11-13] з просторовою роздільною здатністю за широтою та довготою в 3 кутові секунди (90 м) неможливо розрізнити русло рівнинних річок в їх верхній течії на тлі навколишньої місцевості. З цієї причини в ряді випадків потрібен метод побудови зони затоплення, що використовує картографічні дані в опосередкованому вигляді.

Запропонований нами підхід будується на використанні архіву детальних описів паводків (наприклад, для басейну р. Прип'ять на території Білорусі такі дані надаються у відкритому доступу МНС). Це дозволяє виявити емпіричну залежність між шириною розливу відносно осьової лінії річки в околицях населеного пункту (або об'єкта господарювання) і висотою підйому рівня води на найближчому гідропосту.

Побудова зони затоплення здійснюється способом визначення координат набору точок, віддалених від осьової лінії річки на відстань обчисленої ширини розливу як по правому, так і по лівому березі. Потім через кожну з точок проводиться еквідистанта до осі річки. Межі зони затоплення по правому і лівому березі являють собою криві, які проходять між еквідистантами. Ці криві з'єднують точки, які характеризують обчислену ширину розливу річки.

Для спрощення розрахунку межі зони затоплення пропонується перетворити геометрію околиць річки за допомогою набору кусково-проективних трансформацій в спеціальну координатну систему, де одна з координатних осей витягується вздовж річки (рис. 3).

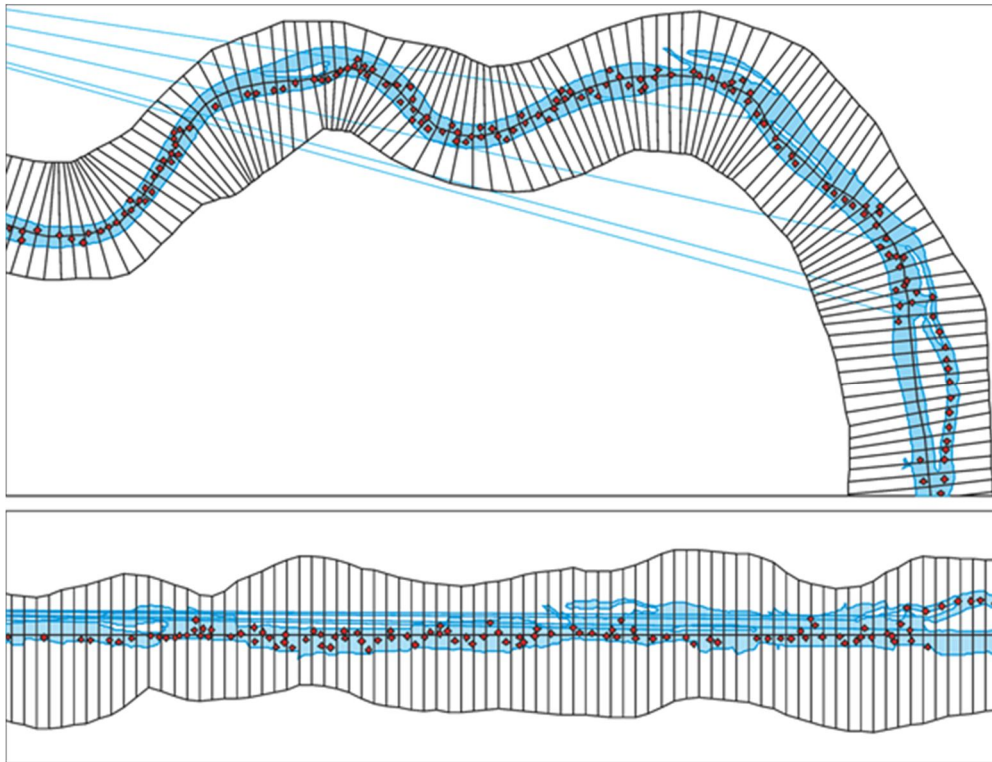


Рис. 3. Ілюстрація методу кусково-проектних перетворень околиці русла річки

6. Висновки. Таким чином, у статті представлено алгоритм розрахунку картини затоплення паводковими водами на основі даних про рівень води в контрольних точках русла річки. Розроблений алгоритм включає побудову криволінійної поверхні дзеркала води, і лінії її перетину з моделлю рельєфу місцевості. Даний підхід не вимагає високопродуктивних обчислювальних засобів та дозволяє коректно моделювати поширення води по складному рельєфу місцевості. Він може використовуватися в розподілених обчислювальних мережах, а також допускає можливість нівелювання помилок моделі рельєфу за допомогою даних емпіричних спостережень за паводком.

Література

1. Волчек А. Розрахунок затоплення території для системи моніторингу і прогнозування паводку / А. Волчек, Д. Костюк, Д. Петров, Н. Шешко // Електроніка та інформаційні технології. – 2012. – Випуск 2. – С. 178-183.
2. Постнова И.С. Технология оценки с помощью ГИС зон затопления весенними паводками малой обеспеченности / И.С. Постнова, С.Г. Яковченко, В.О. Дмитриев // Вычислительные технологии. – 2005 г. – Том 10, Спец. выпуск. – С. 39-46.
3. Wagner Th. W. Preparing for floodplain mapping and flood monitoring with remote sensing and GIS. Report of the Workshop on Remote Sensing for Floodplain Mapping and Flood monitoring, Dhaka, Bangladesh, 1989.
4. Meijerink A.M.J.et al. Introduction to the use of Geographic Information Systems for practical hydrology, UNESCO-ITC publication, N 23. – 273 p.
5. Павлов С.В. Геоинформационная система оценки, моделирования и прогнозирования чрезвычайных ситуаций в Республике Башкортостан [Электронный ресурс] / С.В. Павлов, В.Х. Багманов, А.Н. Васильев, В.Е. Гвоздев, Р.З. Хамитов, И.У. Ямалов

// Современные геоинформационные технологии. – 2000. – №4. – Режим доступа : http://www.dataplus.ru/Industries/2MVD/6_Bashkor.htm

6. Мирза Н.С. Геометрический подход для решения задачи расчета зон затопления / Н.С. Мирза // GraphiCon'2007: материалы конференции, Москва, 23–27 июня, 2007.

7. Алсынбаев К.С. Разработка интегрированной системы мониторинга и прогнозирования ледовой и паводковой обстановки на реках автономного округа на основе оперативных данных ДЗЗ и гидропостов / К.С. Алсынбаев, Я.С. Суляев // Югорский НИИ информационных технологий. – 2007. – 52 с.

8. Волчек А.А. Расчет затопления территорий для системы мониторинга и прогнозирования паводка / А.А. Волчек, Д.А. Костюк, Д.О. Петров // Сахаровские чтения 2011 года: экологические проблемы XXI века: материалы 11-й междунар. науч. конф., 19–20 мая 2011 г., г. Минск, Республика Беларусь. – Минск : МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2011. – С. 318.

9. Mazria E., Kershner K. Nation under siege: sea level raise at our doorsteps. A Coastal impact study. – 2030 Research center. 2007 – 34 p.

10. Хоперсков А.В. Разработка серверной геоинформационной системы по моделированию динамики зон затопления на заданном рельефе местности / А.В. Хоперсков, С.С. Храпов, А.В. Писарев // Сборник статей участников Всероссийского конкурса научных работ студентов и аспирантов «Телематика'2010: телекоммуникации, веб-технологии, суперкомпьютинг». – Санкт-Петербург : СПбГУ ИТМО, 2010. – С. 80-83.

11. Карионов Ю.И. Оценка точности матрицы высот SRTM / Ю.И. Карионов // Геопрофи. – 2010. – №10. – С. 48-51.

12. Farr T.G. et al. The shuttle radar topography mission // CEOS SAR Workshop. Toulouse 26-29 Oct. 1999. Noordwijk. – 2000. – PP. 361-363.

13. Karwel A.K. Estimation of the accuracy of the SRTM terrain model on the area of Poland / A.K. Karwel, I. Ewiak // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B7. Beijing 2008, pp. 169-172.

Автори статті

Вишнівський Віктор Вікторович – доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел. +380 (63) 474 79 24. E-mail: vish_vv@ukr.net.

Волчек Олександр Олександрович – доктор географічних наук, професор, декан факультету інженерних систем і екології, Державний технічний університет, Брест, Білорусія.

Костюк Дмитро Олександрович – кандидат технічних наук, доцент кафедри ЕОМ і систем, Державний технічний університет, Брест, Білорусія.

Петров Дмитро Олегович – старший викладач кафедри ЕОМ і систем, Державний технічний університет, Брест, Білорусія.

Authors of the article

Vyshnivskyy Viktor Viktorovich – doctor of sciences (technical), professor of department of computer sciences and information technologies, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +380 (63) 474 79 24. E-mail: vish_vv@ukr.net.

Volchek Oлександр Oлександрович – doctor of sciences (geographical), professor, dean of faculty of the engineering systems and ecology, State Technical University, Brest, Belorussia.

Kostyuk Dmytro Oлександрович – candidate of sciences (technical), associate professor of department of Computer and systems, State Technical University, Brest, Belorussia.

Petrov Dmytro Oлександрович – senior teacher of department of computer and systems, State Technical University, Brest, Belorussia.

Дата надходження в редакцію: 16.01.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. М. К. Жердев