

*Ю.П. Стародуб, д-р фіз.-мат. наук, професор; П.П. Урсуляк, А.П. Гавриць
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСОМ УПРАВЛІННЯ ВОДНИМИ РЕСУРСАМИ В ПРОЕКТАХ ПІДВИЩЕННЯ СТАНУ БЕЗПЕКИ

Розглянуто основні етапи проекту підвищення стану безпеки процесу моделювання водозбірних басейнів. Проаналізовано оптимальний алгоритм проекту процесу створення водозбірних басейнів. Зроблено порівняння двох типів розширення зображення, що використовуються для побудови водозбірних басейнів, наведені їхні позитивні та негативні характеристики. Наведено наочну схему визначення напрямку потоку та акумуляції стоку на основі цифрової моделі рельєфу в процесі моделювання водозбірних басейнів.

Ключові слова: етапи проекту, управління водними ресурсами, цифрова модель рельєфу, акумуляція стоку, моделювання водозбірних басейнів

Ю.П. Стародуб, П.П. Урсуляк, А.П. Гавриць

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ В ПРОЕКТАХ ПОВЫШЕНИЯ СОСТОЯНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

Рассмотрены основные этапы проекта повышения состояния безопасности процесса моделирования водосборных бассейнов. Проанализирован оптимальный алгоритм процесса создания водосборных бассейнов проекта. Проведено сравнение двух типов расширения изображения, которые используются для построения водосборных бассейнов, приведены их положительные и отрицательные характеристики. Приведено наглядную схему определения направления потока и аккумуляции стока на основе цифровой модели рельефа в процессе моделирования водосборных бассейнов.

Ключевые слова: этапы проекта, управления водными ресурсами, цифровая модель рельефа, аккумуляция стока, моделирования водосборных бассейнов

Y.P. Starodub, P.P. Ursulyak, A.P. Havrys

PROCESS SIMULATION OF WATER RESOURCES MANAGEMENT IN SECURITY IMPROVEMENT PROJECTS

In the article the main stages of the project on improvement of safety of process simulation of drainage basins management have been observed. Optimal algorithm of drainage basins designing process has been analyzed. The comparison of two types of the image expansion used for the construction of drainage basins and their positive and negative characteristics has been made. A clear diagram of flow direction determining and flow accumulation based on digital elevation model of watershed modeling process has been shown.

Key words: project management, management of water resources, emergency, digital elevation model, flow accumulation, watersheds simulation

Вступ. Управління проектом підвищення стану безпеки вивчення небезпек водних надзвичайних ситуацій – це застосування знань, навичок, інструментів і методів до робіт проекту для задоволення вимог, що пред'являються до цього проекту, а також конкретно до процесу моделювання водних об'єктів. Такий підхід потребує результативного управління процесами моделювання надзвичайних ситуацій [1].

Процес управління проектом моделювання водозбірних басейнів – це набір взаємопов'язаних дій та операцій, здійснюваних для моделювання водозбірних басейнів, рангів стоку та моделювання території підтоплення [2,3]. Процес характеризується своїми входами (вихідними даними), інструментами та методами моделювання, які можуть бути застосовані, а також результуючими виходами (результатами проекту). Керівник проекту має враховувати усі можливі заходи та засоби процесів організації та фактори середовища. Вони повинні враховуватися щодо кожного етапу процесу моделювання водозбірних басейнів, навіть якщо вони явно не вказані в списку входів в специфікації проекту. Виконавці етапів проекту дають вказівки та критерії, яким чином застосувати етапи організації процесу моделювання водозбірних басейнів до конкретних потреб. Процеси управління проектом підвищення стану безпеки представлені в якості дискретних етапів з визначеними часовими, фінансовими межами та ресурсами. Однак, на практиці вони переплітаються один з одним і взаємодіють між собою [4].

Постановка проблеми. Моделювання водозбірних басейнів – інтегративний проект, який потребує, щоб кожен процес із розробленого продукту належним чином відповідав і взаємопов'язувався з іншими процесами для полегшення їх координації. Дії, що відбуваються під час одного процесу, звичайно впливають на цей процес та інші пов'язані з ним процеси. Успішне управління таким проектом має включати в себе активне управління цими взаємодіями, щоб задовольнити вимоги спонсора, замовника та інші зацікавлені сторони. Тому, процеси моніторингу та контролю здійснюються під час виконання усіх чотирьох груп процесів, як представлено на рисунку 1.

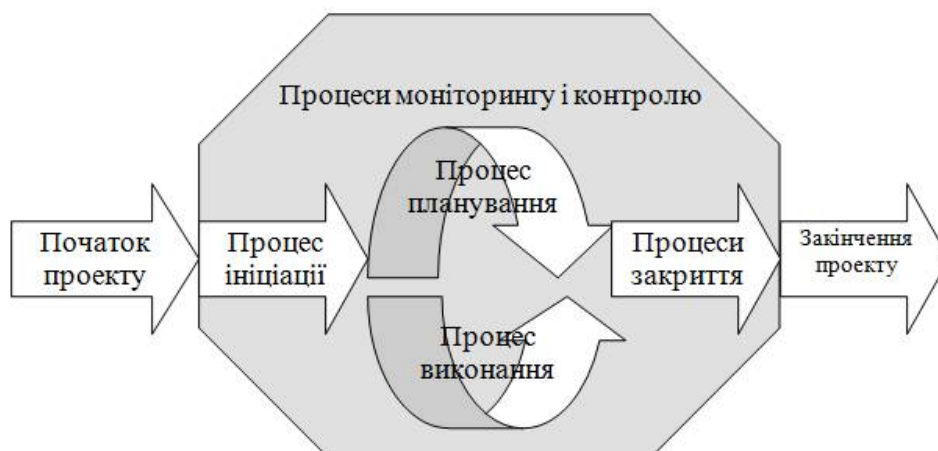


Рисунок 1 – Складові процеси управління проектом для підвищення стану безпеки в умовах невизначеності

Небезпеки, які вивчаються в даному проекті мають бути усунуті щодо наступних проблем [5]:

- недостатня кількість води (засуха);
- велика кількість води (затоплення);
- якість води не відповідає вимогам (стандартам);
- невідгідне місце розташування водних ресурсів (просторове розташування).

Проект сфокусований на підвищенні стану безпеки при ситуаціях, що пов'язані з водними ресурсами. У статті розглянутий етап усунення небезпеки затоплення територій. Моделювання розбите на вивчення двох ситуацій, гідрологічної і гідродинамічної.

Гідрологічне моделювання, зосереджується на вивченні опадів і випаровувань, що дає можливість встановити кількість води (витрат води за певний період часу Q [$\text{м}^3/\text{с}$]) на поверхні землі. Тобто дається відповідь на питання: який об'єм і куди напрямлений стік води?

Гідродинамічне моделювання використовує дані про кількість води на поверхні землі, напрямок течії і визначає з якою швидкістю, висотою (глибиною) потоку поширюється вода і яка площа буде покрита паводком. Названі дві моделі базуються на цифровій моделі рельєфу поверхні землі (ЦМР).

Ціль моделювання гідрологічних характеристик – визначити витрати води за одиницю часу (Q) на заданій території, згідно з даними про опади [5]. Для цього використовують два методи визначення:

- статистичний підхід;
- регресійний аналіз даних.

Статистичний підхід базується на використанні статистичних даних, їх загальному аналізі, після чого визначається витрата об'єму води.

Регресійний аналіз полягає у використанні інформації про дренажні площі, значення висоти затоплень водного басейну та фактора формування басейну, що представляється феноменологічною формулою [6].

$$Q = 0,471A^{0,715} E^{0,827} SH^{0,472} / T,$$

де A – дренажна площа, [м^2];

E – значення висоти водного басейну, [м];

SH – фактор формування басейну, безрозмірна величина;

T – період часу, [с].

Для визначення величини Q найперше моделюємо водозбірний басейн за допомогою технології геоінформаційних систем (ГІС) [6].

Даний процес в загальному полягає у використанні цифрової моделі рельєфу [7], знаходженні напрямку стоків, можливої площі затоплення, акумуляції стоку, водозбірник басейнів та площі розливу (підтоплення), як зображено на рисунку 2.

Спочатку вводимо вхідні дані у вигляді цифрової моделі рельєфу, на основі якої визначаємо напрямок стоку. Після цього розраховуємо можливу площу затоплення території і приймаємо рішення про те чи досліджувана територія буде дійсно затоплена. Якщо затоплення можливе, тоді отримуємо вихідні дані у вигляді території підтоплення, які, як результат процесу моделювання водозбірного басейну, будуть надалі використовуватися. Якщо затоплення не прогнозується, тоді визначаємо іншу акумуляцію стоку, що включає визначення порядку стоку, ліній стоку, а також джерел стоку. Далі окремими етапами визначаємо довжину потоку та прив'язку затоплення до території. У такому разі, як результат отримуємо водозбірні басейни, які будуть використовуватися в наступних етапах проекту.

Як результат проведеного етапу визначення напрямку потоку та акумуляції стоку, отримуємо водозбірні басейни на основі даних ЦМР. Вихідні дані цифрової моделі рельєфу беремо з інтернет-сайту EarthExplorer [8], де висотні дані отримуємо в різних форматах, які можуть підходити для певних процесів.

Існує два види висотних даних, якими можна користуватися в процесі моделювання водозбірних басейнів:

- ЦМР: цифрова модель рельєфу (земна поверхня);
- ЦМП: цифрова модель поверхні (з будівлями та деревами).

Ці дані подаються у вигляді GRID-файлів або TIN-файлів з набором даних місцевості. Файли розширення зображення типу GRID (сітка) використовуються для утворення цифрової моделі рельєфу, що має місце для великомасштабного дренажного аналізу. Триангулярні нерегулярні мережі (так звані TIN-файли) використовуються для записів лінійних об'єктів при проведенні гідрологічного аналізу та проектуванні [9]. Дані формати мають, як певні переваги, так і окремі недоліки, які беруться до уваги при управлінні проектами в процесі моделювання надзвичайних ситуацій.

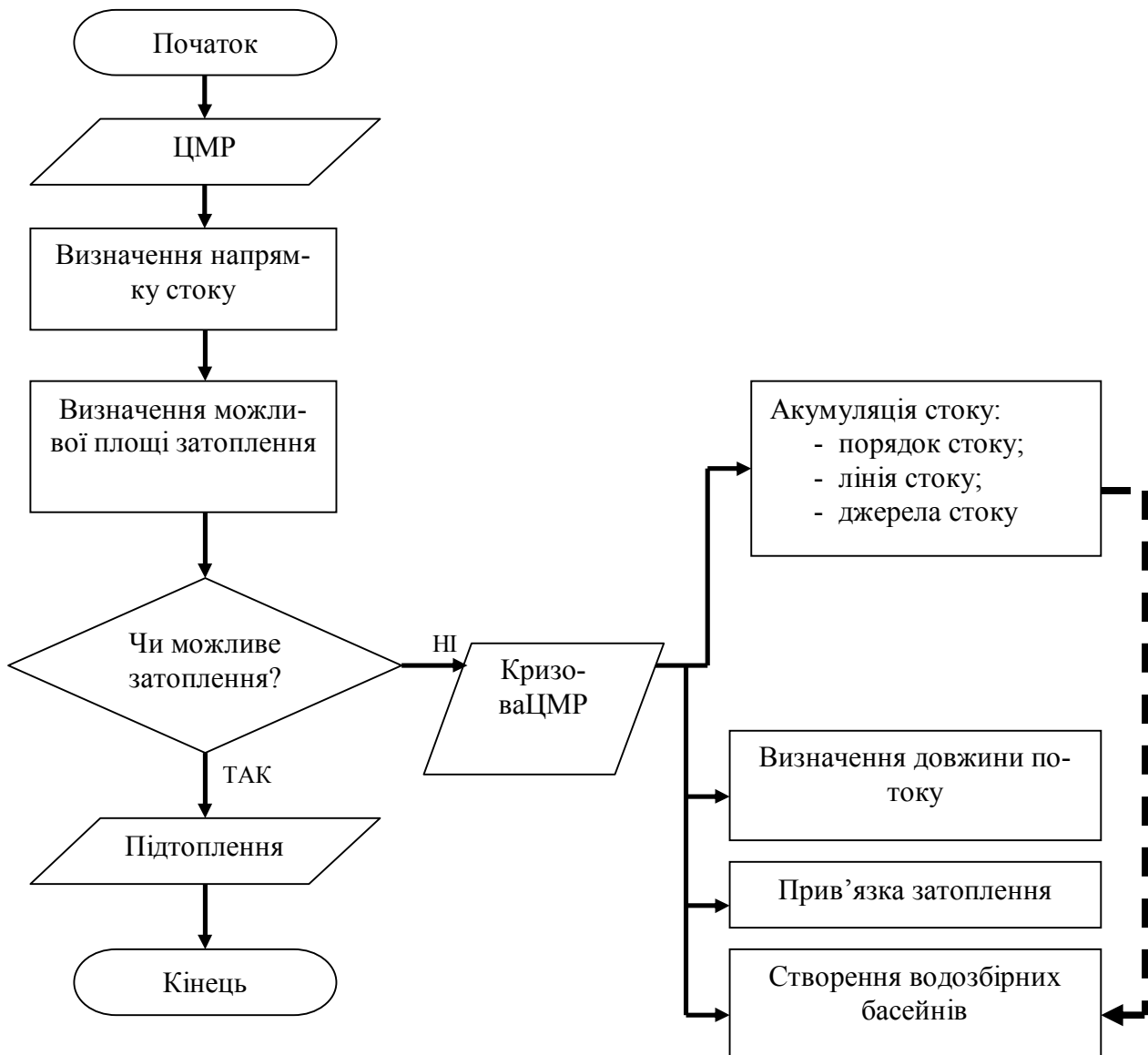


Рисунок 2 – Алгоритм покрокового виконання дій в проектах підвищення безпеки у водозбірних басейнах

До переваг TIN-розширення враховують наступне: точки зразків розташовані адаптивно відповідно до поверхні; вказуються точні значення лінійних характеристик; структурні лінії для визначення гладкості і неперервності; зразки точок рангів стоку розташовуються в строго визначених місцях; відсутні зайві (непотрібні) дані; існує можливість підвищити точність (щільність) поверхні, створення точної проекції та конкретних меж басейнів водозбору. Порівняно з перевагами файли триангулярної нерегулярної мережі мають значну кількість недоліків, таких як: необхідність значного об'єму пам'яті для зберігання інформації по точках розбиття; значні втрати роботи процесора комп'ютера для забезпечення обрахунку водозбірних басейнів; відсутність функціональних перетворень у сітці розбиття та еквівалентної алгебраїчної карти рангів стоку; потенційна складність процесу TIN-генерації.

Файли з розширенням зображення типу GRID мають більше переваг у порівнянні з TIN-розширеннями, тому використовуються більш широко. До їх переваг належать проста і ефективна структура даних, наявність алгебраїчної карти рангів стоку, відкрита конфігурація, різноманіття джерел даних, які можна використовувати для моделювання. З іншого боку, як недоліки можна вважати відсутність деталей карти (точкових об'єктів), резервування вільного місця в пам'яті, проекційні проблеми (дані сітки не можуть бути перезаписані іншими даними).

Тому, порівнявши всі вище перераховані переваги і недоліки різних типів розширення зображень, у процесі моделювання водозбірних басейнів проекту вивчення небезпек водних надзвичайних ситуацій краще використовувати як вхідні дані, так і файли цифрової моделі рельєфу (так звані GRID-файли).

Визначення напрямку потоку на основі ЦМР [7] проводиться шляхом перетворення даних рельєфу в цифрову матрицю з відповідним кодовими значеннями. Ці кодові значення присвоюються відповідним напрямкам потоку, що використовуються в даному процесі, як зображено на рисунку 3а. Далі проводиться акумуляція стоків [6] за рахунок цифрового визначення напрямку потоків і відповідно числового визначення наповненості стоків у різних місцях дослідження, що дає змогу зрозуміти, які стоки будуть більше заповнені, а які менше. Наочну схему акумуляції стоків зображено на рисунку 3, а, б.

Дана спрощена схема визначення напрямків стоку та акумуляції стоків на основі цифрової моделі рельєфу використовується в етапах процесу моделювання водозбірних басейнів. Даний процес в управлінні проектами підвищення стану безпеки допомагає вирішити завдання створення оптимізованої моделі зменшення території підтоплення.

До основних завдань моделі відносяться:

- складення переліку видів паводків, які виникають і розгляд їх відмінностей;
- ідентифікація і моніторинг небезпек, пов'язаних з паводками;

| Кодування напрямків стоку | | |
|---------------------------|---------|-------------|
| 32 – Пн.Зх | 64 – Пн | 128 – Пн.Сх |
| 16 – Зх. | | 1 – Сх. |
| 8 – Пд. Зх | 4 – Пд. | 2 – Пд.Сх |

| Числові значення кодів напрямків стоку згідно з таблицею кодування | | | | | |
|--|-----|---|---|---|---|
| 2 | 2 | 2 | 4 | 4 | 8 |
| 2 | 2 | 2 | 4 | 4 | 8 |
| 1 | 1 | 2 | 4 | 8 | 4 |
| 128 | 128 | 1 | 2 | 4 | 8 |
| 2 | 2 | 1 | 4 | 4 | 4 |

| Напрямки стоку згідно таблиці кодування | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ↘ | ↘ | ↘ | ↓ | ↓ | ↙ |
| ↘ | ↘ | ↘ | ↓ | ↓ | ↙ |
| → | → | ↘ | ↓ | ↙ | ↓ |
| ↗ | ↗ | → | ↘ | ↓ | ↙ |
| ↘ | ↘ | → | ↓ | ↓ | ↓ |
| → | → | → | → | ↓ | ← |

| Висотні дані (в умовних одиницях) | | | | | |
|---|----|----|----|----|----|
| 78 | 72 | 69 | 71 | 58 | 49 |
| 74 | 67 | 56 | 49 | 46 | 50 |
| 69 | 53 | 44 | 37 | 38 | 48 |
| 64 | 58 | 55 | 22 | 31 | 24 |
| 68 | 61 | 47 | 21 | 16 | 19 |
| 74 | 53 | 34 | 12 | 11 | 12 |
| Умовні об'єми стоку води заданого рельєфу за одиницю часу | | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 0 |
| 0 | 3 | 7 | 5 | 4 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 20 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 24 | 0 |
| 0 | 2 | 4 | 7 | 35 | 2 |

Рисунок 3,а,б – Реляційна модель процесу кодування напрямків стоку

- складення списку метеорологічних, людських та топографічних факторів, що сприяють паводкам;
- опис випадків захворюваності і смертності пов'язаних з паводками;
- пояснення різниці між повеневою шкодою і хворобами на різних фазах паводку;

- опис демографічних груп, які мають найбільший ризик постраждати від паводку, з поясненням причин;
- складання списку окремих дій для зменшення паводкових ризиків;
- роз'яснення того, чому негайні дії можуть зменшити ризик під час паводків.

Висновок. В результаті проведених досліджень запропоновано:

- модель управління водними ресурсами;
- алгоритм покрокової реалізації проекту підвищення безпеки;
- приведена оцінка стану небезпек представленої у вигляді матриці реляційної моделі водозбірних басейнів.

Список літератури:

1. **Руководство** к Своду знаний по управлению проектами (Руководство РМ BOOK) [Текст]: USA: Project Management Institute, 2013. 586 с. ISBN 978-1-62825-008-4.
2. ДСТУ 19101:2009 «Географічна інформація. Еталонна модель».
3. ДСТУ 4758:2007 «Дистанційне зондування Землі з космосу. Оброблення даних. Терміни та визначення понять».
4. **Подрезов Ю.В.** Методологические основы прогнозирования динамик чрезвычайных лесопожарных ситуаций [Текст] / Ю.В. Подрезов, М. А. Шахраманьян. – М: ВНИИ ГОЧС, 2001. – 266с.
5. **Стародуб Ю.П.** Інформаційні технології в комп'ютерному моделюванні еколого-геофізичних процесів [Текст]/ Ю.П. Стародуб, П.П. Урсуляк. – Львів : ЛДУ БЖД, 2013. – 159с.
6. **Азімов О. Т.,** Технології дистанційного зондування Землі і ГІС при створенні інформаційно-аналітичної системи аналізу ризику виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру [Текст]: матеріали конф. "ГІС Форум – 2000", 13–16 листопада 2000 р. м. Київ. – Київ : ГІС-Асоц. України, 2000. – С. 66 – 72.
7. **Сайт** компанії CGIAR – CSI . [Електронний ресурс] : Режим доступу: \www/ URL: <http://srtm.csi.cgiar.org>, 19.05.2014 р. Назва з екрану.
8. **Сайт** проекту EarthExplorer : [Електронний ресурс].: Режим доступу: \www/ URL: <http://earthexplorer.usgs.gov>, 19.05.2014 р. Назва з екрану.
9. **Бурштинська Х. В.** Аерокосмічні знімальні системи [Текст] : Навч. посібник / Х. В. Бурштинська, С. А. Станкевич. – Львів: Видавництво Львівської Політехніки, 2010. – 292 с.

References:

1. **Guide** HP is known for REDD Project Management (Manual PM BOOK) (2013), ISBN 978-1-62825-008-4, Project Management Institute, USA.
2. **ISO** 19101: 2009 «Geographic Information. Reference model».
3. **ISO** 4758: 2007 «Remote Sensing of the Earth from space. Data processing. Terms and definitions».
4. **Podrezova, Y.N.** and Shahramanyan, M.A. (2001), *Metodologicheskie osnovy prognozirovaniya dinamic chrezvychaynyh lesopozharnykh situatsiy* [Methodological basis of forecasting speaker forest fire emergency situations], VNIИ Civil Defense and Emergencies, Moscow, Russia.
5. **Starodub, Y.P.** and Ursulyak, P.P. (2013), *Informatsiyni tehnologii v komputernomy modelyvanni ekologogefizichnykh procesiv* [Information technology in computer simulation of ecological and geophysical processes], LDU BG, Lviv, Ukraine.
6. **Asimov, O.T.**(2000). “Technologies of remote sensing and GIS in the creation of information systems risk analysis of emergency situations of technogenic and natural character” *GIS Forum – 2000*. Materialu konferencii [GIS Forum – 2000, Proceedings of the conference], Kyiv. GIS Asots, Ukraine, November 13-16 2000, pp. 66 - 72.
7. **Site** of CGIAR – CSI, available at: <http://srtm.csi.cgiar.org> (assessed May 19, 2014).
8. **Project** site EarthExplorer, available at: <http://earthexplorer.usgs.gov> (assessed May 19, 2014).
9. **Burshtynska, H.W.** and Stankevich, S.O. (2010), *Aerokosmichni znimalni sustemy* [Aerospace shooting system], Vydavnyztvo Lvivska Politechnica [Publishing House of Lviv Polytechnic University], Lviv, Ukraine.