

8. Саранчин, А. И. Решение уравнений Эйлера для свободного гироскопа [Текст] / А. И. Саранчин, С. В. Коркишко // Вестник Морского государственного университета. Серия: История морской науки, техники и образования. – 2013. – № 61/2013. – С. 47–69.

9. Програма кочення еліпсоїда мовою пакету MATHEMATICA [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mathematica.stackexchange.com/questions/23297/how-can-i-simulate-a-pot-lid-rotating-around-an-axis-that-is-quickly-rotating>

10. Savransky, D. Poinsot Construction [Electronic resource] / D. Savransky. – Available at: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/61433-poinsot-construction?focused=7212431&tab=function>

11. Free Rotation of a Rigid Body: Poinsot Constructions [Electronic resource]. – Available at: <http://demonstrations.wolfram.com/FreeRotationOfARigidBodyPoinsotConstructions/>

12. 3D Rigid Body Simulation Instructions [Electronic resource]. – Available at: <http://ialms.net/sim/3d-rigid-body-simulation/>

13. Poinsot's construction. Polhode [Electronic resource]. – Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=BwYFT3T5uIw>

Дата надходження рукопису 15.05.2017

**Куценко Леонід Миколайович**, доктор технічних наук, професор, кафедра інженерної та аварій-рятувальної техніки, Національний університет цивільного захисту України, вул. Чернишевська, 94, м. Харків, Україна, 61023  
E-mail: leokuts@i.ua

**Запольський Леонід Леонідович**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, начальник відділу, Науково-організаційний відділ, Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, вул. Рибальська, 18, м. Київ, Україна, 01011  
E-mail: z\_l\_l@ukr.net

УДК 528.48:658.012.011.56

DOI: 10.15587/2313-8416.2017.106679

## АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ НАБОРІВ ПРОФІЛЬНИХ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ ГЕНЕРАЛЬНИХ ПЛАНІВ

© Ю. С. Максимова

*Розглянуто та порівняно особливості сучасних моделей організації даних в геоінформаційних системах. Обґрунтовано переваги використання об'єктно-реляційної моделі для розроблення та ведення наборів профільних геопросторових даних генеральних планів населених пунктів. Визначено основні принципи формування наборів профільних геопросторових даних генеральних планів в середовищі об'єктно-реляційної системи керування базою даних*

**Ключові слова:** генеральний план населеного пункту, набори геопросторових даних, об'єктно-реляційна модель даних

### 1. Вступ

Генеральний план населеного пункту є основним видом містобудівної документації на місцевому рівні, призначеної для обґрунтування довгострокової стратегії планування, забудови та іншого використання території населеного пункту.

В останні роки все ширше в містобудівному проектуванні застосовуються системи автоматичного проектування (САПР) та геоінформаційні системи (ГІС). Але в більшості випадків традиційна графічна частина генеральних планів подається як електронні версії паперових креслень, цифрові моделі яких відтворюють умовні графічні зображення об'єктів, а не їх комплексні інформаційні моделі як сукупність просторових і непросторових властивостей та відношень (логічних, функціональних і просторових зв'язків) між об'єктами.

Таке подання графічної частини генеральних планів не відповідає сучасним вимогам, зокрема положенням Закону України «Про регулювання місто-

будівної діяльності»: «Містобудівна документація розробляється на паперових і електронних носіях на оновленій картографічній основі в цифровій формі як набори профільних геопросторових даних у державній геодезичній системі координат УСК-2000 і єдиній системі класифікації та кодування об'єктів будівництва для формування баз даних містобудівного кадастру» [1].

Тому сьогодні виникає необхідність переходу до технології проектування на основі комплексного використання ГІС-технологій та баз геопросторових даних, від картографічного до геоінформаційного моделювання та прогнозування розвитку території на основі багатофакторного аналізу просторової взаємодії об'єктів і явищ міського середовища.

### 2. Літературний огляд

Згідно закону України «Про регулювання містобудівної діяльності» [1] генеральний план повинен розроблятися як комплект документів, що в тому чи-

слі включатиме в себе набори профільних геопросторових даних (НПГД) в єдиній системі класифікації та кодування. Але на сьогоднішній день вимоги до графічної частини у ДБН Б.1.1-15:2012 «Склад та зміст генерального плану населеного пункту» [2] сформовані лише в контексті формування електронного зображення графічних документів або їх аналогових документів на паперових носіях, що не задовольняє вимоги законодавства.

В роботі [3] розглядаються системні вимоги до подання містобудівної документації в цифрових форматах. Особливості архітектури сучасних геоінформаційних систем визначено в [4, 5], де наголошується на використанні баз геопросторових даних як ядра інтегрування різних інформаційних систем. В роботі [6, 7] розглянуто компоненти системи формування містобудівної документації, а саме: каталог класів об'єктів наборів профільних геопросторових даних, система класифікації й умовних позначень об'єктів [8] на електронних картах в складі містобудівної документації, фасетна система кодування складових документації тощо.

Комплексна технологія застосування геоінформаційних систем при вирішенні задач просторового планування розглядається в роботі [9], що висвітлює результати роботи проекту Plan4all. Порівняння архітектури геоінформаційних систем, аналіз використання різних засобів ГІС та огляд технології інтегрування засобів ГІС в одну інформаційну систему містобудівного кадастру при вирішенні різних задач, розглянуто в [10, 11].

Специфікація на розроблення моделі генерального плану (ГП), що включає в себе визначений склад класів та атрибутів геопросторових об'єктів генерального плану, склад набору метаданих для опису ГП, набір умовних позначень, перелік показників по місту за різними темами, що повинні формуватися на основі аналізу набору даних генерального плану засобами ГІС подано в роботі [12]. Така модель є прикладом визначення уніфікованої моделі НПГД в єдиній системі кодування та за єдиними вимогами, й може бути взята за приклад формування системних правил розроблення НПГД.

Існуюча нормативно-правова та законодавча база визначає лише загальні вимоги щодо необхідності розроблення документації як НПГД та уніфікації структури та складу містобудівної документації й потребує розширення. До того ж для уніфікації та автоматизації процесу випуску НПГД необхідно мати сформований «сценарій» організації даних та роботи з ними у середовищі певної геоінформаційної моделі: необхідно реалізувати технологічний процес від конвертації даних до потрібного формату та завантаження їх в систему до випуску готової продукції та забезпечення виконання аналітичної роботи з нею.

### 3. Мета та задачі дослідження

Мета дослідження – викладення результатів аналізу моделей організації даних в сучасних геоінформаційних системах та обґрунтування основних

принципів формування НПГД на основі об'єктно-орієнтованих моделей даних.

Для досягнення мети були поставлені наступні задачі:

- аналіз та порівняння існуючих моделей організації даних НПГД ГІС;
- формування принципів створення наборів профільних геопросторових даних генеральних планів на основі об'єктно-орієнтованих моделей даних.

### 4. Аналіз моделей наборів профільних геопросторових даних генеральних планів

#### 4.1. Аналіз основних моделей організації даних

Системна організація даних містобудівного кадастру передбачає зведення множини даних до уніфікованої моделі, яка забезпечує створення й зберігання геопросторових даних містобудівних проектних рішень як в файлових форматах інструментальних ГІС так і в середовищі універсальних систем керування базами даних (СКБД).

Від організації даних в геоінформаційній системі безпосередньо залежить ефективність використання ГІС не тільки і не стільки для створення картографічних документів, а для геопросторового моделювання проектних містобудівних рішень, повноти і якості їх геоінформаційних моделей, зокрема: досяжна точність подання просторових характеристик об'єктів, можливість контролю цілісності даних, досяжна швидкодія системи, можливість одночасного багатокористувачького доступу тощо.

В сучасних геоінформаційних системах можна виділити три основні типи моделей (рис. 1): файлова геоінформаційна модель (ФГМ), геореляційна (ГРМ) та об'єктно-реляційна (ОРМ).

У файловій геоінформаційній моделі вся геометрія, умовні позначення і атрибутивна інформація зберігаються в одному файлі креслення, що призводить до дублювання атрибутивних даних для кожного масштабу подання об'єктів [13]. Така організація даних застосовується, наприклад в САПР AutoCAD (dwg, dxf файли), ArchiCad (pln, pla файли).

Застосування геореляційної моделі дозволяє зменшити надлишковість в зберіганні різномасштабних геопросторових даних за рахунок поєднання просторових властивостей об'єктів у форматах файлів геоінформаційної моделі з атрибутивними даними в середовищі реляційної системи керування базою даних. Таким чином, декілька просторових моделей одного об'єкта з різною точністю й деталізацією відповідних масштабів логічно зв'язуються з єдиним набором його атрибутів в системі керування базою даних (наприклад, shp-файли ArcGIS, tab- файли MapInfo).

Об'єктно-реляційна модель забезпечує організацію даних у вигляді структурних таблиць в середовищі об'єктно-реляційної системи керування базою даних (ОР СКБД) з розширеннями для зберігання, аналізу та опрацювання геопросторових даних, так званими просторовими розширеннями для СКБД (наприклад, PostgreSQL/Postgis, Oracle, DB2, Microsoft SQL Server). Такі БД дістали назву бази геопросторових даних (БГД).

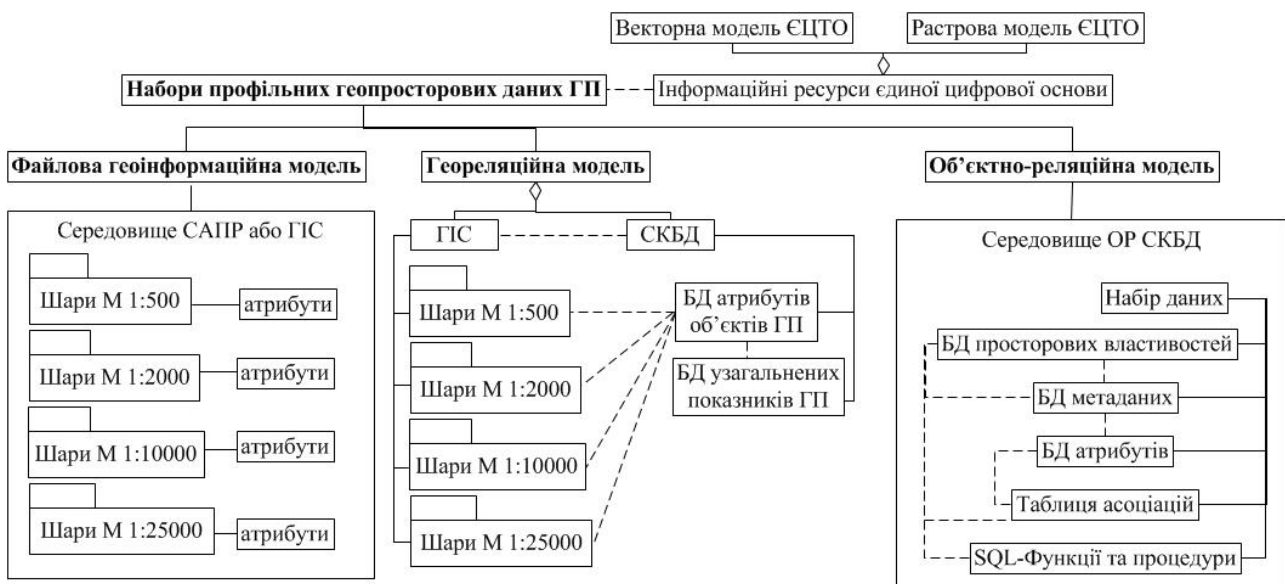


Рис. 1. Структурна модель наборів профільних геопросторових даних

На рівні фізичної реалізації БГД в середовищі певної СКБД одному набору векторних даних відповідає база даних набору з таблицями для зберігання цифрових моделей просторових властивостей, атрибутів, логічних і топологічних відношень об'єктів, а також метаданих щодо версії, джерела походження та якості просторових властивостей і атрибутів об'єктів, набір процедурних функцій SQL.

Використання метаданих в БГД дозволяє забезпечити, зокрема, реалізацію механізму підтримки багатоверсійності подання об'єктів в БГД у відповідності із їх розглядом у різних проектних рішеннях та/або у відповідності із змінами властивостей об'єкта або фази його життєвого циклу: проектний,

будівництво, експлуатація, реконструкція, знесення, тощо.

#### 4. 2. Порівняння існуючих моделей організації даних

Незалежно від вибраної моделі реалізації даних, важливо в результаті отримати комплексну інформаційну модель як сукупність просторових і непросторових властивостей та відношень (логічних, функціональних і просторових зв'язків) між об'єктами. Будь-яка із розглянутих моделей в тій чи іншій мірі дозволяє це реалізувати. При цьому складність реалізації комплексної інформаційної моделі в різних середовищах є різною (табл. 1).

Таблиця 1

Порівняльні характеристики моделей організації геопросторових даних

Назва властивості	ФГМ	ГРМ	ОРМ
Об'єктність моделі	–	+	+
Доменна цілісність	⊘	⊘	+
Посилальна цілісність (логічні зв'язки)	–	⊘	+
Топологічна цілісність (просторові зв'язки)	⊘	⊘	+

В будь-якому випадку моделі даних повинні бути об'єктними в розумінні, що в файлах або в структурі СКБД подаються не окремі моделі графічних позначень, як моделі креслень карти, а кожен запис в файлі або таблиці відповідає об'єкту з атрибутами. В об'єктній моделі набір атрибутів має визначати його стан, а набір методів (функцій) – поведінку.

Цілісність даних – відповідність наявної в базі даних або файлах інформації їх внутрішній логіці, структурі та заданим правилам. Кожне правило, оскільки воно пов'язане з деякими обмеженнями на можливий стан або поведінку об'єкту в моделі, називається обмеженням цілісності.

Зараз в проектних підприємствах при розробленні містобудівної документації переважно використовуються програмні засоби автоматизованого проектування, наприклад, AutoCAD, ArchiCAD та створюються файлові геоінформаційні моделі, що

не задовольняють у повній мірі вимоги щодо об'єктності моделі.

Геореляційна модель має низку переваг над файловою й здатна забезпечити вимоги щодо об'єктності, доменної, посилальної та топологічної цілісності даних. Основним недоліком геореляційної моделі є залежність від структури та форматів зберігання даних ГІС.

Об'єктно-реляційна модель є незалежною від типу інструментальної ГІС, що виключає необхідність конвертування даних, дублювання робіт. До того ж сьогодні постачальники ГІС значною мірою розвинули й постачають нові версії своїх систем, в яких реалізовані концепції та методи опрацювання геопросторових даних у середовищі СКБД, прикладом є БД ArcSDE ArcGIS (зберігають свої дані в універсальних СКБД, зокрема, DB2, Oracle, Informix SQL Server та PostgreSQL). Але безпосередня робота в ОРСКБД

має певні переваги над рішеннями в ГІС, що використовують в своїх середовищах методи оброблення ОРСКБД. Наприклад, ArcGIS не має можливості забезпечувати топологічну цілісність на льоту в порівнянні з ОРСКБД. Ця можливість в ArcGIS реалізована через додатковий модуль як перевірка топології, що унеможливорює контроль введення даних в реальному часі.

#### 4.3. Загальні вимоги до об'єктно-орієнтованої моделі генерального плану

Об'єктно-орієнтована модель геопросторових даних генерального плану відображає структуру бази геопросторових даних об'єктів містобудування (сукупність просторових і непросторових властивостей та відношень між об'єктами), вбудованих процедур і метаданих, які забезпечують зберігання, аналіз і моделювання містобудівних рішень в середовищі ОР СКБД.

Типові системи БГД сьогодні мають можливість та функції [14–16], здатні вирішити ряд питань оптимальнішими методами в порівнянні з класичною ГІС, наприклад за допомогою представлень, функцій, тригерів, декларування нових типів даних із складною внутрішньою структурою, зв'язування з ними методів доступу до них та функцій аналізу стану і відношень між об'єктами. Доступ до таких БГД реалізовано на основі нового стандарту, який перетворює SQL із мови декларативних запитів до мови процедурного програмування, що дає можливість описувати не тільки стан, а й поведінку об'єктів.

Методи, що забезпечують обмеження цілісності даних визначаються на основі тригерних функцій SQL-процедур особливого типу, виконання яких обумовлено дією з модифікації даних (додавання, вилучення, оновлення) та запускаються сервером бази даних автоматично для коректного завершення певної дії над об'єктами БД. Вони дозволяють забезпечити окрім характерних для будь-якої СКБД доменної та посилальної цілісності даних, ще й цілісність даних за правилами координатної та топологічної узгодженості просторових об'єктів.

Так обмеження координатно-топологічної цілісності просторових даних призначені для контролю структури об'єктів, їх геометричних елементів та просторових відношень між ними. Правила топології визначаються на рівні: екземпляра об'єкта, об'єктів одного класу, відношень об'єктів різних класів.

На рівні екземпляра об'єкта можуть визначатися вимоги:

- щодо подання його як об'єкта з простою геометрією (наприклад, визначення типу просторового подання – точка, лінія, полігон без дублювання точок та самоперетинання контурів);

- контролю способу просторово-геометричного подання (наприклад, визначає обмеження на розмір кутів, відстаней між точками та площ об'єктів тощо).

На рівні об'єктів одного класу правила координатно-топологічних обмежень контролюють просторові відношення для об'єктів в межах певного класу. Наприклад, об'єкти класу «Будівлі житлові» або «Земельні ділянки» не повинні перетинатися між собою, а межі земельних ділянок повинні утворювати

суцільне полігональне покриття без накладання і проміжок.

На рівні об'єктів різних класів правила координатно-топологічних обмежень контролюють просторові відношення між об'єктами різних класів. Наприклад:

- контури будівель не повинні перетинати межі земельних ділянок, контури вулиць;

- будівлі повинні повністю розміщуватися в межах певних земельних ділянок;

- ділянки схоронення твердих побутових відходів розміщуються на відстані не менше 200 м від автомобільних доріг тощо.

Складніші SQL процедури постійного зберігання дають можливість реалізувати функціональну поведінку об'єктів. Моделювання функціональної поведінки об'єктів є більш складною задачею та передбачає автоматизацію процесів визначення загальних показників (на основі функцій визначення просторових відношень), побудови містобудівних об'єктів, таких як СЗЗ, охоронні зони (з використанням тригерних функцій та функцій опрацювання геометрії) тощо. Такі методи реалізуються в ОР СКБД як SQL-функції постійного зберігання.

НПГД генеральних планів можна визначити як ідентифіковану сукупність шарів (піднаборів) геопросторових об'єктів. Кожний піднабір складається із цифрових векторних моделей об'єктів містобудівної діяльності, що належать до певного класу об'єктів. Кожен об'єкт як екземпляр класу повинен мати ідентифікаційні характеристики (ознаку належності до певного класу об'єктів з відповідним типом просторової локалізації, унікальний ідентифікатор) та значення набору атрибутів, що його описують.

Наприклад, простий об'єкт як територіальна зона, описується таким мінімальним набором атрибутів: унікальний ідентифікатор містобудівного об'єкта (MOID), код класу об'єкта, код типу зони за класифікатором, назва зони, площа зони.

Для такого масивного об'єкта як будівля не є достатнім визначення його контуру та адреси, оскільки такий мінімальний набір атрибутів не характеризуватиме його стану. Набір атрибутів для будівлі, виходячи з вимог ДБН Б.1.1-16:2013 Склад та зміст містобудівного кадастру, має бути таким: унікальний ідентифікатор містобудівного об'єкта (MOID), код класу об'єкта, адреса, місцеположення, назва, реєстраційний номер в Державному реєстрі речових прав на нерухоме майно, код за державним класифікатором будівель та споруд, функціональне призначення, приналежність об'єкта до режимоутворюючих, стадія будівництва (для будівель, що будуються), код ступеню вогнестійкості, поверховість, ширина, висота, довжина, площа під забудовою, корисна площа, площа вбудованих нежитлових приміщень, будівельний об'єм, рік побудови, рік вводу в експлуатацію, код категорії цінності, охоронний номер, кількість жителів, відсоток зносу, код категорії надійності електропостачання, код матеріалу будівлі тощо.

Визначивши структури БД для збереження НПГД (таблиці, представлення, функції тощо) один раз відкине зайву роботу при створенні нових даних, аналізу, розроблені нової документації і роботі з нею.

Така система буде динамічною з визначеними властивостями об'єктів, відносинами між ними та як наслідок інтероперабельною.

Концептуальна модель НППД ГП повинна бути визначена в каталозі класів геопросторових об'єктів, який доцільно реалізувати за вимогами міжнародного стандарту ISO 19110 Методика каталогізації об'єктів. Каталог класів об'єктів генерального плану – це уніфікована система класифікації, що визначає склад об'єктів, систему кодування та класифікацію атрибутів, регламентує правила цілісності даних для реалізації моделі наборів даних генерального плану в середовищі ОР СКБД [17].

Окремою частиною електронного каталогу є набір функцій, визначених на мові SQL, що реалізують зв'язки між розділами каталогу об'єктів, забезпечують автоматичне формування структури набору даних в середовищі ОРСКБД за визначеною каталогом схемою та оновлення цього набору (наприклад, додавання нових атрибутів до таблиць) на основі внесених змін до каталогу, реалізують визначену каталогом «поведінку об'єктів», контроль цілісності даних.

Реалізація моделі каталогу класів геопросторових об'єктів генерального плану в середовищі ОР СКБД у вигляді окремого блоку дозволить використовувати його в середовищах різноманітних інструментальних ГІС для створення стандартизованих наборів даних та приведення до уніфікованої структури масиву існуючих наборів даних, забезпечить систему контролю їх якості на етапах створення та ведення, надасть можливість передавати його разом з набором геопросторових даних.

### 5. Результати досліджень та їх обговорення

Реалізувати графічну частину містобудівної документації як комплексну геоінформаційну модель в повній мірі можливо саме в середовищі об'єктно-реляційної СКБД. Об'єктно-реляційна модель не тільки незалежна від будь-яких форматів ГІС, а й здатна визначити стан та поведінку об'єктів, забезпечити автоматичний процес їх контролю.

Зважаючи на великий об'єм неструктурованих даних в сфері містобудівного кадастру та використання організаціями різних підходів до їх створення й ведення – одночасний перехід до використання об'єктно-орієнтованого підходу є неможливий. Тому однією з першочергових задач є визначення структури

НППД для різних форм організації даних, з урахуванням особливостей найбільш поширених форматів ГІС та на основі каталогу класів об'єктів. Уніфікація структури та складу містобудівної документації забезпечить оперативний обмін даними та контроль їх якості.

Результатом вирішення цієї задачі має стати розроблення специфікації даних рівня ДБН або настанови, в якому визначатиметься сукупність системних вимог до цифрового подання і кодування містобудівної документації, вимоги до об'єктного й атрибутивного складу документації, визначення структури НППД, що має стати специфікацією рівня настанови або ДБН.

### 6. Висновки

В процесі роботи та вирішення поставлених задач було зроблено наступні висновки:

1. Кожна з розглянутих моделей організації даних в тій чи іншій мірі дозволяє створити комплексну інформаційну модель НППД. Але складність реалізації комплексної інформаційної моделі в різних середовищах є різною. Аналіз та порівняння існуючих засобів організації даних в ГІС показав, що найбільш ефективною моделлю для створення наборів профільних геопросторових даних генеральних планів є об'єктно-орієнтована модель, що здатна не тільки більш оптимально задовольнити вимоги до НППД як комплексної моделі, а й значно підвищити рівень автоматизації містобудівної діяльності.

2. Розглянуто особливості створення НППД ГП на основі об'єктно-орієнтованих моделей даних. Важливо зазначити, що середовище ОР СКБД з типом даних геометру та бібліотекою підтримання, аналізу, опрацювання просторових даних через мову SQL за стандартом SQL99 на рівні SQL-функцій постійного зберігання в повній мірі дозволяє реалізувати об'єктно-реляційної моделі, в тому числі значний комплекс прикладних задач щодо забезпечення цілісності даних, включаючи координатно-топологічну узгодженість моделей та методи, що моделюють поведінку об'єктів. Перспективною задачею є створення еталонної комплексної геоінформаційної моделі генерального плану в середовищі ОР СКБД з визначенням структури даних, правил доменної, топологічної, геометричної взаємодії між об'єктами та технології автоматичного формування узагальнених показників на основі процедурних функцій СКБД.

### Література

1. Закон України «Про регулювання містобудівної діяльності» [Текст]. – Верховна Рада України, 2011. – № 3038-VI.
2. ДБН Б.1.1-15:2012. Склад та зміст генерального плану населеного пункту [Текст]. – К.: Мінрегіон України, 2012. – 21 с.
3. Лященко, А. А. Системні вимоги до сучасного містобудівного кадастру та містобудівної документації [Текст] / А. А. Лященко // Містобудування та територіальне планування. – 2013. – Вип. 47. – С. 397–405.
4. Лященко, А. А. Архітектура сучасних ГІС на основі Баз геопросторових даних [Текст] / А. А. Лященко, А. Г. Черін // Вісник геодезії та картографії. – 2011. – № 5 (74). – С. 45–50.
5. Introduction to PostGIS [Electronic resource]. – Boundless. – 2017. – Available at: <http://workshops.boundlessgeo.com/postgis-intro/index.html#top>
6. Лященко, А. А. Інфраструктурний підхід до створення сучасної системи містобудівного кадастру [Текст] / А. А. Лященко, Ю. В. Кравченко, Д. В. Горковчук // Вісник геодезії та картографії. – 2014. – № 6 (93). – С. 21–27.
7. Айлікова, А. В. Методологические вопросы применения ГИС- технологий в системах градостроительного кадастра [Текст] / Ю. О. Карпинский, А. А. Лященко, Ю. Н. Палежа, В. В. Янчук // Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского. Серия: «География». – 2013. – Т. 26, № 1. – С. 3–11.
8. Айлікова, Г. В. Система класифікації та умовних позначень об'єктів для містобудівної документації [Текст] / Г. В. Айлікова, В. В. Янчук // Містобудування та територіальне планування. – 2013. – Вип. 47. – С. 37–46.

9. Plan4all Project Interoperability for Spatial Planning [Text] / M. Salvemini, F. Vico, C. Iannucci (Eds.). – Plan4all Consortium, 2011. – 210 p.
10. Yeh, A. G.-O. Urban planning and GIS [Text] / A. G.-O. Yeh // Geographic Information Systems. – 2005. – P. 877–888. – Available at: [http://www.geos.ed.ac.uk/~gisteac/gis\\_book\\_abridged/files/ch62.pdf](http://www.geos.ed.ac.uk/~gisteac/gis_book_abridged/files/ch62.pdf)
11. Abel, D. J. The systems integration problem [Text] / D. J. Abel, P. J. Kilby, J. R. Davis // International journal of geographical information systems. – 1994. – Vol. 8, Issue 1. – P. 1–12. doi: 10.1080/02693799408901984
12. Formulation of GIS-based master plans for amrut cities. Design and Standards [Text]. – Ministry of Urban Development, 2016. – 107 p. – Available: [http://www.amrut.gov.in/writereaddata/designandStandards\\_AMRUT.pdf](http://www.amrut.gov.in/writereaddata/designandStandards_AMRUT.pdf)
13. Шипулін, В. Д. Основні принципи геоінформаційних систем [Текст] / В. Д. Шипулін. – Х.: ХНАМГ, 2010. – 313 с.
14. ISO / IEC 13249-3:2011. Information technology – Database languages – SQL Multimedia and Application Packages – Part 3: Spatial [Text]. – International Organization for Standardization, 2011.
15. OpenGIS Implementation Specification for Geographic information – Simple feature access – Part 2: SQL option [Electronic resource]. – Available at: <http://www.opengeospatial.org/standards/sfs>
16. Spatial Database Systems. Design, Implementation and Project Management [Text] / A. K. W. Yeung, G. B. Hall (Eds.). – GeoJournal Library, 2007. – 553 p. doi: 10.1007/1-4020-5392-4
17. Максимова, Ю. С. Створення бази даних електронного каталогу класів об'єктів для набрів профільних геопросторових даних містобудівної документації [Текст] / Ю. С. Максимова // Містобудування та територіальне планування. – 2016. – № 62 (1). – С. 367–377.

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук, професор Лященко А. А.  
Дата надходження рукопису 22.05.2017*

**Максимова Юлія Сергіївна**, аспірант, кафедра геоінформатики та фотограмметрії, Київський національний університет будівництва і архітектури, пр. Повітрофлотський, 31, м. Київ, Україна, 03037  
E-mail: knuba@knuba.edu.ua

УДК 579.66

DOI: 10.15587/2313-8416.2017.107176

## РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОДИНАМІКИ В БІОРЕАКТОРІ З ПОВЕРХНЕВИМ КУЛЬТИВУВАННЯМ КЛІТИННИХ КУЛЬТУР

© В. Ю. Шибецький, С. М. Семенюк, С.І. Костик

*Розроблено конструкцію біореактора для культивування клітинних культур та проведено комп'ютерне моделювання гідродинаміки апарату. Було отримано поля векторів швидкостей рідини в апараті, поля векторів швидкостей повітря в апараті, швидкість зсуву потоку рідини, напруження зсуву рідини в області іммобілізації клітин. Отримані результати підтверджують технологічність розробленої конструкції біореактора та можуть використовуватися при конструюванні пілотних зразків апарату*

**Ключові слова:** біореактор, культивування клітин, комп'ютерне моделювання, гідродинаміка, напруження зсуву, іммобілізовані клітин еукаріот

### 1. Вступ

Культивування біологічних агентів (БА) останнім часом набуло надзвичайно широкого поширення практично у всіх областях сучасної біології. Неможливо уявити собі молекулярно-біологічну лабораторію або сучасне біотехнологічне підприємство, де не використовувалися б клітини людей та тварин.

Промислова фармацевтична біотехнологія при отриманні біологічно активних речовин (БАР), що слугують активними фармацевтичними інгредієнтами (АФІ), потребує забезпеченості біореакторами (ферментерами) з високофункціональними характеристиками, які б створювали сприятливі умови для розвитку БА та захищали персонал

Суттєвою проблемою під час розробки систем культивування культур клітин є той факт, що більшість БА, що використовуються у виробництві АФІ та вакцин є дуже вимогливими до асептичності середовища, є високо вразливими до надлишкових напружень зсуву, вражаються бульбашками повітря та відносяться до опорнозалежних, тобто таких, проліферація яких, як правило, можлива лише за умов прикріп-

лення до біоафінної поверхні росту [1, 2]. Зазначені особливості клітинних культур суттєво обмежують використання традиційних конструкцій ферментерів, призначених для культивування суспензійних культур мікроорганізмів в традиційних біотехнологіях.

Таким чином залишається актуальним проблема розробки оптимальних, ефективних, безпечних та високопродуктивних біореакторів, дослідження гідродинаміки, тепло- та масообміну, підбору матеріалів та способів виготовлення насадок, конструктивних частин апарату, забезпечення закритої системи протягом всього циклу процесу культивування [3, 4].

### 2. Літературний огляд

При промисловому культивуванні клітинних культур широкого використання набули wave-біореактори, біореактори з нерухомим шаром носіїв, роллерні біореактори, «класичні» ферментери, що використовуються для мікроорганізмів, біореактори з напівпроникними мембранами.

Біореактор для культивування клітинних культур в суспензійному виді або з використанням мікро-