

## МІСТОБУДУВАННЯ

УДК 711.1

**А. В. Гоблик,**

*к.т.н., доцент*

*Національний університет «Львівська політехніка»*

**П. О. Супрун,**

*Архітектурна майстерня «Penguin architects»*

*<http://penguinarchitects.com>*

### СИСТЕМИ ЧАСТИНОК ЯК ПЕРСПЕКТИВНИЙ ІНСТРУМЕНТ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИМУЛЯЦІЇ ЕВОЛЮЦІЇ МІСТОБУДІВНИХ СИСТЕМ

Анотація: стаття присвячена проблемі застосування інструментів комп'ютерної графіки, а саме, систем частинок, для комп'ютерної симуляції еволюції містобудівних систем. У роботі розглянуті особливості інструменту «системи частинок», обговорюються перспективи застосування даного інструменту для вирішення містобудівних завдань.

Ключові слова: місто, містобудівна система, еволюція, комп'ютерна симуляція, система частинок, агентно-орієнтоване моделювання, комп'ютерна графіка.

**Вступ.** Одним з глобальних явищ сучасності є прискорене територіальне зростання міст, збільшення кількості та підвищення щільності міського населення. У міру зростання територіальної концентрації населення і виробництва відбувається ускладнення функціональної організації і просторової структури населених місць. У результаті цих процесів міста перетворюються на найскладніші багатофункціональні організми. Особливістю таких систем є величезна кількість і різноманітність її складових елементів, наявність безлічі взаємозв'язків нелінійного характеру між ними. У цих умовах при прийнятті рішення щодо подальшого сценарію розвитку міста містобудівники постійно стикаються з величезною кількістю і різноманітністю вхідних параметрів, що змінюються часто одночасно і взаємопов'язаним чином, і впливають на поведінку всієї системи в цілому. Певні надії в питаннях управління розвитком міста, передбачення змін і визначення реакцій містобудівної системи на прийняті фахівцями рішення сьогодні покладаються

на сучасні комп'ютерні інформаційні технології та нові інструменти моделювання розвитку згаданих об'єктів.

Одним з перспективних методів дослідження поведінки складних систем та еволюції їхнього розвитку є метод імітаційного моделювання, який дозволяє дослідити поведінку децентралізованих агентів, і те, як така поведінка визначає поведінку всієї системи в цілому. При цьому аналітик визначає поведінку агентів на індивідуальному рівні, а глобальна поведінка виникає як результат діяльності безлічі агентів.

Технологія комп'ютерного симулювання еволюції складних систем сьогодні широко використовується для вирішення транспортних завдань, в логістиці, для вивчення процесів соціальної сегрегації населення міст, вироблення заходів безпеки в місті або на якомусь окремому об'єкті міської інфраструктури, в менеджменті трудовими ресурсами, в моделюванні історичних процесів, в економіці, в біології і багатьох інших областях.

З розвитком електронно-обчислювальних засобів, появою програмних продуктів для агентного моделювання, ГІС - технологій, пакетів комп'ютерної графіки метод імітаційного моделювання еволюції системи «знизу-вгору» став все активніше використовуватися у дослідженні проблем розвитку міст [5-12]. Однак через велику ресурсоемність процесу моделювання, слабоструктурованність і складність об'єкта дослідження – містобудівної системи, спроби комп'ютерної симуляції еволюції міста носять на даний час скоріше дослідницький характер, і спрямовані на вивчення можливостей інструментів імітаційного моделювання у вирішенні містобудівних проблем.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Незважаючи на те, що сьогодні існує більше 50 спеціалізованих програмних продуктів для виконання комп'ютерної симуляції поведінки агентів, для теорії і практики містобудування актуальною залишається проблема комп'ютерного моделювання з можливістю візуалізації міського середовища, явищ і процесів, що мають в ньому місце бути, адекватних реальному місту.

Проблема створення тривимірних агентно – орієнтованих моделей з використанням пакетів комп'ютерної графіки (3ds max) розглядається в роботах [6, 9]. З використанням пакету NetLogo, спеціально розробленого для агентного моделювання, і пакету 3ds max, як середовища для тривимірної візуалізації результатів симулювання, в цих роботах представлена технологія симуляції руху пішоходів і транспорту в місті. Однак таке застосування пакетів комп'ютерної графіки здається неповноцінним, оскільки існуючий інструмент «системи частинок» (англ. Particle system) в цих пакетах за своїми загальними принципами і властивостями корелює з агентно - орієнтованими моделями і може бути застосований для більш широкого спектру містобудівних завдань.

*Метою роботи* є оцінка перспективи використання системи частинок для комп'ютерної симуляції еволюції містобудівної системи та її різних складових підсистем.

*Виклад матеріалу.* Система частинок – це технологія симуляції поведінки безлічі об'єктів, що є елементами системи, яка використовується в комп'ютерній графіці, ігровій фізиці та анімації.

Метою симуляції є передбачення поведінки всієї системи, або розв'язок задачі моделювання поведінки близької або схожої на відому поведінку реальних об'єктів.

Системи частинок застосовують для симуляції хімічних процесів, в гідро- і газодинаміці, вселенських явищ, надвеликих систем, біологічних систем, для симуляції поведінки групи істот, наприклад людей. Вперше пакети комп'ютерної графіки були використані в роботі К. Рейнольда (1987) [5, с.59] для комп'ютерної анімації поведінки зграї птахів на основі технології «систем частинок».

*Загальні властивості системи частинок.* Основним елементом будь-якої системи частинок, є частинка, яка математично представляється як матеріальна точка з набором атрибутів. Набір атрибутів може бути різним у залежності від мети симуляції. Наприклад, у випадку симуляції фізичних процесів частинка може мати наступні атрибути: швидкість, масу, розмір, форму, пружність, кутову швидкість, заряд і т.п.

Джерелом зародження частинок може бути як точковий, площинний і об'ємний об'єкт, так і інша система частинок.

Для проведення симуляції в системі частинок передбачено введення в дію набору сил, що впливають на поведінку частинки. Наприклад, для проведення симуляції фізичних процесів може бути уведена в дію гравітація, сила вітру, тертя. Частинки можуть взаємодіяти як між собою, так і з частинками з іншої системи частинок, а також з об'єктами у віртуальному середовищі.

Найважливішою властивістю системи частинок є «подійність» – зміна поведінки частинок в результаті певної події. Прикладом події може бути входження частинки в якусь зону у просторі, взаємодія з якимось об'єктом. Важливою властивістю є можливість зміни характеристик частинки після настання події. Характер зміни поведінки є одним із завдань програмування симуляції.

Елементарні властивості частинок і характер їхньої взаємодії формують поведінку всієї системи.

Кожна симуляція займає деякий час, при цьому мається на увазі віртуальний час, а не час відведений на прорахунок симуляції. Це дозволяє спостерігати за системою в динаміці.

Загальні атрибути частинок зазвичай є достатньо простими і це дозволяє симулювати систему частинок з великою кількістю елементів (кілька мільйонів).

У комп'ютерній графіці і системах віртуальної реальності інтерфейс системи частинок являє собою середовище візуального програмування (нодовий інтерфейс – англ. Node interface). Нодовий інтерфейс за своєю суттю є двовірним простором операторів. Оператори являють собою сили, умови та події (рис. 1). Перевагою нодового інтерфейсу є загальна зручність, наочність і простота налаштування симуляції. Система частинок дозволяє створювати власні оператори та інструменти.

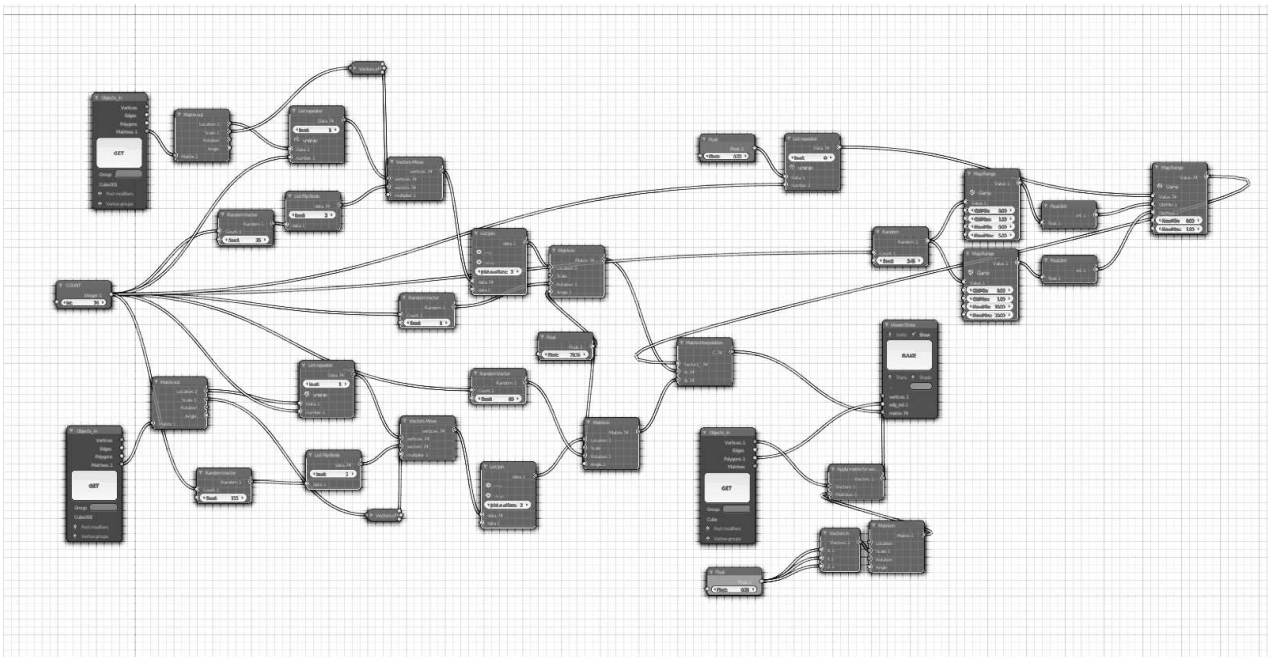


Рис.1. Скріншот нодового інтерфейсу. Джерело:  
<http://blendersushi.blogspot.com/2014/06/sverchok-basic-of-semi-procedural.html?view=classic>

Системи частинок можуть бути реалізовані як в двовимірній, так і в тривимірній графіці. Виконання симуляції частинок в тривимірному просторі є, як правило, більш ресурсномісткою процедурою.

Системи частинок застосовуються в багатьох сучасних комп'ютерних іграх, в системах віртуальної реальності, пакетах 3D моделювання (Cinema 4D, Lightwave, Houdini, Maya, XSI, 3D Studio Max and Blender) і пакетах комп'ютерної математики (Matlab) і мають великі можливості для налаштувань (рис.2).

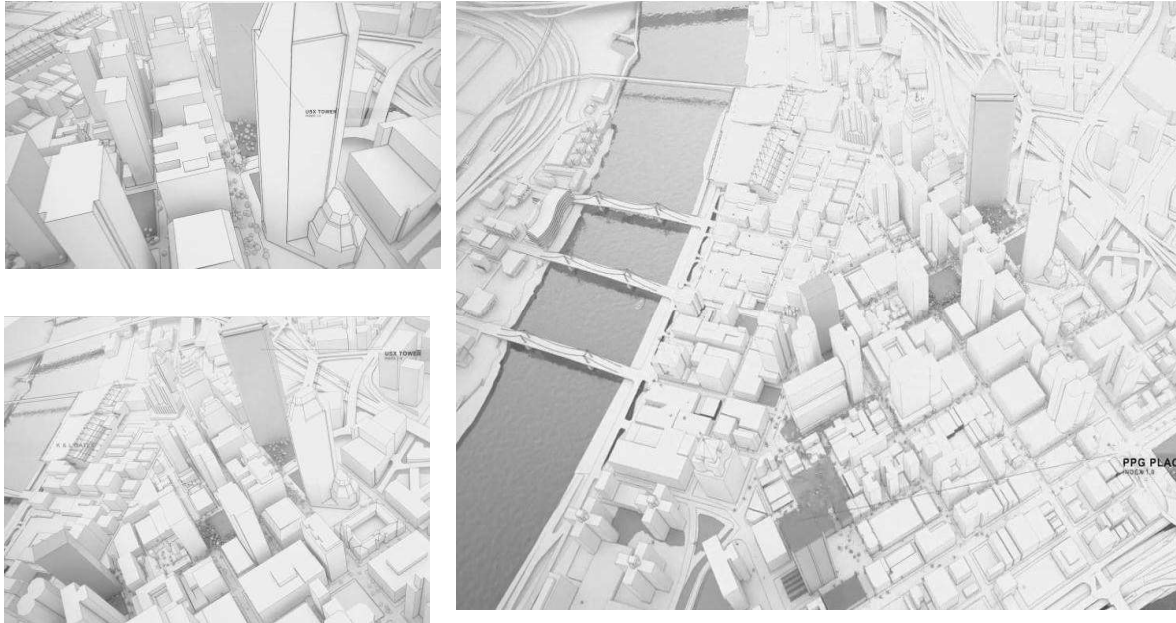
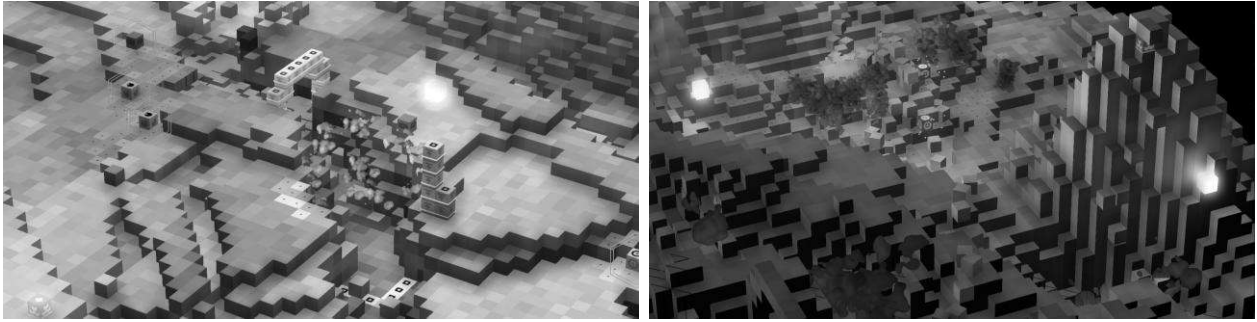


Рис.2. Скріншот симуляції системою частинок руху натовпу людей у м. Піттсбург. Джерело: <https://vimeo.com/41163684>

**Перспективи використання систем частинок для містобудівних завдань.** Прикладом застосування системи частинок для комп'ютерної симуляції еволюції складних систем, які можуть бути деяким далеким аналогом містобудівних систем, є комп'ютерна гра Планета Частинок (Particle Planet) (рис.3).

«Планета частинок» (*Particle Planet*) – гра про динамічний світ атомів, молекул і клітин, гра про живі системи, завдяки якій гравці можуть досліджувати динамічну планету, яка також є системою частинок.

У грі пропонується за допомогою комп'ютерної симуляції дослідити еволюцію «Вічного міста» (Perpetual city). Одні системи частинок можуть відображати рух і взаємодію умовних істот. Інші частинки, взаємодіючи між собою, породжують нові, в результаті симулюються різноманітні фізичні і хімічні процеси: горіння палива, виникнення пара в результаті взаємодії вогню і води, поява електроенергії та подальше використання її для освітлення міста, запуску (активації) ліфтів, машин, тощо. Гра дозволяє симулювати еволюцію природних об'єктів («Таємна долина» – Hidden Valley) з 50000 рухомими блоками (частинками) на місцевості, що складається з мільйонів блоків (частинок). Поглинання енергії одними частинками призводить до появи та зростання рослин і дерев, виникненню нових живих систем.



а)

б)

Рис.3 (а,б). Скріншот гри «Планета частинок» (Particle Planet).

Джерело: <http://www.particleplanet.com>

Частинки самі по собі є універсальним інструментом моделювання динаміки розвитку складних нелінійних систем, оскільки дозволяють моделювати процеси різномасштабні і різнорівневі.

Стосовно до містобудівних завдань можливо у вигляді кожної окремої системи частинок задати різні рівні містобудівної системи (регіон з системою населених місць, місто, окремий район міста і т.д.), при цьому також існує можливість налаштування зв'язків між різнорівневими системами частинок. У разі комп'ютерної симуляції еволюції регіональної містобудівної системи (РГС) кожне окреме місто або населений пункт, що є елементами цієї РГС, можуть бути окремою частинкою.

У симуляції еволюції розвитку містобудівної системи частинкою може бути людина, автомобіль, будівля, промислове підприємство і навіть ціле місто.

Чим може бути привабливий інструмент симуляції з використанням систем частинок, що існують в пакетах комп'ютерної графіки, для містобудівника:

- зручністю налаштування симуляції у візуальному середовищі програмування, з використанням нодового інтерфейсу;
- тривимірною реалістичною візуалізацією комп'ютерної симуляції, адекватної існуючій об'ємно - просторовій організації міста;
- можливостями налаштувати різні параметри, які задають поведінку цих частинок і таким чином отримати симуляцію всієї системи;
- підключенням зовнішнього впливу у вигляді «сил» і таким чином забезпечується відносна ізолюваність об'єкта (наприклад, його проникність для потоків населення, інформації, матеріальних ресурсів ззовні) або іншими словами відкритість системи;
- можливістю використовувати системи частинок для перевірки ефективності прийнятих рішень архітекторами / містобудівниками щодо зміни ситуації у місті. Для прикладу, досить відомою задачею є

симуляція криміногенної обстановки в місті або перевірка безпеки проекту у разі терористичної небезпеки чи певних інших техногенних катастроф (пожежі). Для проведення симуляції криміногенної ситуації можливо налаштувати / задати параметр агресивності частинок. Параметр агресивності задається індивідуально для кожної частинки при «народженні», наприклад, при перенаселенні (або інших умовах) на деякій заданій одиниці площі одна частинка може почати ліквідувати інші або вони починають частіше стикатися. Вони можуть змінювати колір залежно від «перенаселення» на деякій площі, при цьому швидкість зміни кольору буде залежати від параметра агресивності. Параметр агресивності може бути випадковим або заданий згідно певного закону. Таким чином від параметра агресивності може мінятися криміногенна ситуація в місті.

Можна налаштувати систему частинок таким чином, що у разі зменшення в місті об'єктів освіти чи охорони правопорядку буде зростати рівень криміногенності і при цьому якісь частинки почнуть «покидати» деякі райони міста. У результаті такої симуляції через деякий час буде отримано «картинку» районування міста згідно рівня криміногенності.

Частинки можна запрограмувати певним чином, щоб вони реагували, наприклад, позитивно на появу парків в місті або на задоволення інших потреб (появу в міському середовищі об'єктів освіти, охорони здоров'я, культури тощо) і у них піднімався рівень «щастя». Прикладом, де реалізована схожа ідея симуляції розвитку міста, є комп'ютерна гра SimCity [1]. Проте це всього лише іграшка, яка не дає людині / оператору повного доступу до модифікації властивостей агентів.

У 3ds max існує можливість створення поведінки частинок на основі кольорових зображень / карт, тобто їхня поведінка може здаватися не тільки подіями, а також растровими або векторними картами. Залежно від кольору текстури може щось відбуватися, наприклад, червоні частинки, якщо на текстурі присутній червоний колір – можуть бігти наліво.

### **Висновки**

Одним з істотних обмежень застосування систем частинок для комп'ютерної симуляції еволюції демоекологічних систем, до яких належать міста і населені пункти, є неможливість виконати справжню (адекватну реальній природі поведінки людини) симуляцію гетерогенності людського співтовариства, оскільки неможливо одній окремій частинці присвоїти все розмаїття людської поведінки. У разі вирішення транспортних завдань, де кожен «партікл» / частинка може бути окремим транспортним засобом, такі

інструменти комп'ютерної симуляції цілком ефективні, обґрунтовані і перспективні для використання у розробці проектів транспортних систем міст.

Дискусійним питанням також залишається застосування систем частинок для задач містобудівного планування розвитку міста, оскільки для проектування красивого і комфортного міста необхідне творче начало, яке розвивається на основі минулого людського досвіду. Однак для перевірки деяких проектних рішень на їхню ефективність забезпечення потреб городян, застосування комп'ютерних симуляцій на основі систем частинок цілком доцільно.

Перспективним може бути використання системи частинок для виявлення просторово – часових точок біфуркації системи, після проходження яких, система переходить з одного стану в інший.

Важливим напрямком залишається розробка властивостей / параметрів частинок і пошук в аналітичному вигляді законів їхньої взаємодії залежно від поставлених містобудівних завдань. Приміром, в роботі [4] експериментальним шляхом на основі статистичних даних був встановлений закон інтенсивності відвідування населенням об'єктів громадського обслуговування в залежності від відстані до них. У подальших роботах [2] було знайдено в аналітичному вигляді функцію, графік якої з високою точністю співпадає з експериментальними графіками роботи [4]. Знаходження подібних законів взаємодії між різними видами частинок дозволить більш адекватно містобудівній реальності симулювати поведінку і взаємодію елементів містобудівної системи.

Відкритим для обговорення залишається питання комп'ютерної симуляції взаємодій потенціалів просторово-часової організації території. У роботах [3] було запропоновано описувати стан упорядкованості просторово - часової організації території міста за допомогою поняття потенціалу  $P_{пот}$ .

#### Список джерел інформації

1. Гоблик А. В. Комп'ютерні ігрові симулятори містобудівної діяльності: історія розвитку та перспективи використання в містобудівному плануванні [Текст] / А. В. Гоблик // Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. збірник. – 2012. – Вип. 44. – С. 120-130.
2. Гоблик А. В. О моделировании распределения поля интенсивности тяготения населения к объекту общественного обслуживания [Текст] / А. В. Гоблик, Н. М. Дёмин // Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. збірник. – 2012. – Вип. 44. – С. 120-130.
3. Гоблик А.В. Оптимізація просторової організації територій в зоні підвищених ризиків: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.23.20 / А.В. Гоблик. – Київський національний ун-т будівництва і архітектури. – Київ, 2006. – 20 с.



4. Дёмин Н.М. Управление развитие градостроительных систем / Н. М. Дёмин. – Киев: Будивэльнык, 1991. – 184 с.
5. Фаттахов М.Р. Агент-ориентированная модель социально-экономического развития мегаполисов (на примере г. Москвы) [Текст]: дис. ... канд. эконом. наук: 08.00.13 / М.Р. Фаттахов. – Центральный экономико-математический институт РАН. – М., 2011. – 197 с.
6. Batty M. Agent-Based Models of Geographical Systems [Text] / Alison J. Heppenstall, Andrew T. Crooks, Linda M. See, Michael Batty. – Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer, 2012. – 759 p.
7. Batty M. Modeling Urban Growth: An Agent Based Microeconomic Approach to Urban Dynamics and Spatial Policy Simulation [Text] / Donghan Kim, Michael Batty // Working paper series. – London: CASA University College London, 2011. – Paper 165. – 15 p.
8. Benenson I. PARKAGENT: An agent-based model of parking in the city [Text] / Itzhak Benenson, Karel Martens, Slava Birfir // Computers, Environment and Urban Systems, 2008. – vol. 32. – p. 431 – 439.
9. Crooks A.T. 3D Agent-Based Models for Urban Systems [Text] / Crooks A.T., Hudson-Smith A., Patel A. // Working paper series. – London: CASA University College London, 2010. – Paper 161. – 34 p.
10. Crooks A.T. Key Challenges in Agent-Based Modelling for Geo-Spatial Simulation [Text] / Andrew Crooks, Christian Castle, Michael Batty // Working paper series. – London: CASA University College London, 2007. – Paper 121. – 37 p.
11. Crooks A.T. Exploring cities using agent-based models and GIS [Text] / Andrew Crooks // Working paper series. – London: CASA University College London, 2006. – Paper 109. – 10 p.
12. Feitosa F. Multi-Agent Simulator for Urban Segregation (MASUS): A Tool to Explore Alternatives for Promoting Inclusive Cities. [Text] / Flávia F. Feitosaa, Quang Bao Le, Paul L.G. Vlek // Computers, Environment and Urban Systems, 2011. – vol. 35. – p. 104 – 115.

#### Аннотация

Статья посвящена проблеме применения инструментов компьютерной графики, а именно, систем частиц, для компьютерной симуляции эволюции градостроительных систем. В работе рассмотрены особенности инструмента «системы частиц», обсуждаются перспективы применения данного инструмента для решения градостроительных задач. Ключевые слова: город, градостроительная система, эволюция, компьютерная симуляция, система частиц, агентно - ориентированное моделирование, компьютерная графика.

#### Abstract

The article deals with the application of computer graphics tools, namely, particle systems for computer simulation of the evolution of urban planning systems. The features of the tool "particle systems" are described in the paper. The prospects of using this tool for the solving urban problems are discussed. Keywords: city, urban planning system, evolution, computer simulation, particle system, agent - based modeling, computer graphics.