

УДК 004.94

Н.С. Лесковська

Харківський національний університет будівництва та архітектури

## ЗАПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ "МаксДиг" ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ ГРАФІКУ ВИКОРИСТАННЯ БУДІВЕЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ПРИ РОЗРОБЦІ КОТЛОВАНІВ

*Розглянуто систему підтримки прийняття рішення "МаксДиг" для вирішення задачі оптимізації графіку використання будівельної техніки при розробці котлованів, висвітлені принципи її побудови та функціонування, викладено технологію програмної реалізації поставленої задачі, заснованої на математичних моделях і методах оптимізації та імітаційного моделювання процесу розробки котловану для інвестиційно-будівельних проектів.*

Ключові слова: система підтримки прийняття рішень, інвестиційно-будівельний проект, комп'ютерна імітаційна модель.

Рис 5. Табл 4. Літ 7.

**Постановка проблеми.** Розробка котлованів є досить складним будівельним процесом, від правильності виконання якого залежить тривалість, час завершення та вартість усього інвестиційно-будівельного проекту [1]. За для успішного виконання таких робіт складається графік використання будівельної техніки, який повинен оптимальним чином організувати даний процес. Однак, на практиці, такий процес є досить складним, тому що необхідно враховувати множини факторів невизначеності середовища і за таких умов неможливо оптимізувати графік використання будівельної техніки належним чином. Автоматизація та запровадження системи підтримки прийняття рішень [2] при використанні тієї чи іншої одиниці будівельної техніки дозволить мінімізувати вплив факторів невизначеності середовища, скоротити час та вартість земельних робіт інвестиційно-будівельного проекту.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** показав, що вивченням і рішенням задач оптимізації використання будівельної техніки при управлінні інвестиційно-будівельними проектами на етапі розробки котлованів займалися як зарубіжні, так і вітчизняні вчені, такі як В. Л. Баладінський, В. І. Баловнев, Ю. О. Ветров, Д.П. Волков, М. Г. Домбровський, А. Н. Зеленін, Л. А. Хмара, А. М. Холодов та ін. Аналіз у даній області дозволив уточнити можливі шляхи автоматизації [3] та можливість створення системи підтримки прийняття рішень для задачі оптимізації графіку використання будівельної техніки при розробці котлованів, та показав, що ці розробки носять експериментальний характер та їх дослідження з використанням математичних моделей та можливостей сучасних програмних засобів ускладнені, оскільки, у багатьох випадках неможливо однозначно визначити вплив зовнішнього середовища на будівництво об'єкта, задача в загальному випадку є багатокритеріальною, дискретною і відноситься до класу NP-складних.

Тому **метою даної роботи** є розробка та дослідження системи підтримки прийняття рішень для задачі оптимізації графіку використання будівельної техніки при розробці котлованів.

**Основна частина.** Математичне моделювання реальних процесів, які протікають в рамках інвестиційно-будівельних проектів може виявитися досить складним завданням і на практиці вимагає враховувати множини факторів зовнішнього середовища, ряд з яких мають випадковий характер. Тому, подальше вивчення і оптимізація графіка роботи будівельної техніки при влаштуванні котловану з урахуванням множини випадкових чинників зовнішнього середовища можуть бути проведені шляхом побудови комп'ютерної імітаційної моделі та статистичного аналізу її роботи в різних умовах і з різними параметрами, а також створення на її основі системи підтримки прийняття рішення "МаксДиг". Робота імітаційної моделі задачі дослідження представлена на рис.1. У рамках програми розроблено 3 імітаційні моделі:

- імітаційна модель без оптимізації графіка роботи;
- імітаційна модель з оптимізацією графіка роботи з урахуванням геологічних вишукувань і поточної довжини черги транспортних засобів на завантаження;
- імітаційна модель з оптимізацією графіка роботи з урахуванням геологічних вишукувань і оперативної інформації щодо переміщення транспортних засобів.

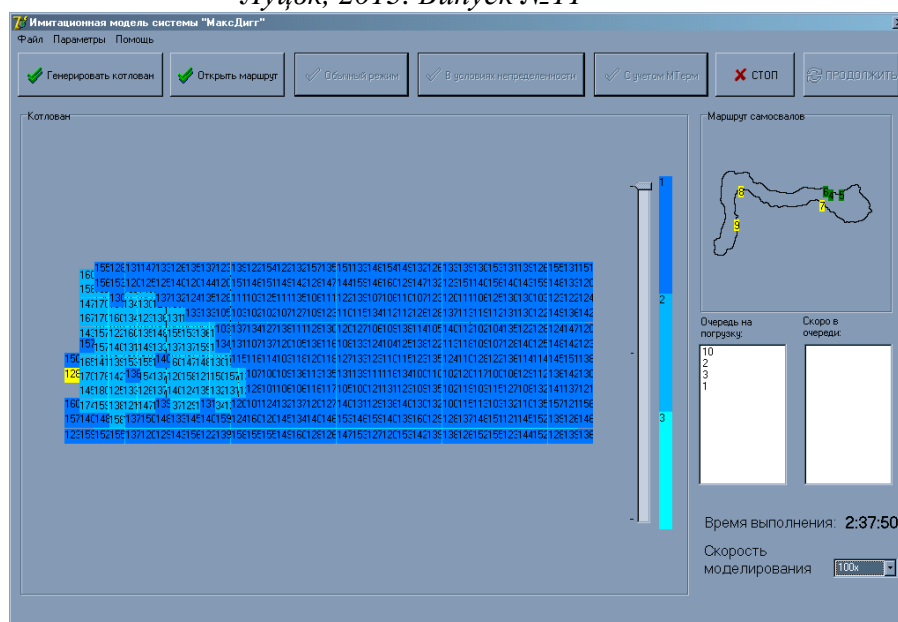


Рис. 1. Імітаційне моделювання розробки котловану  
Авторська розробка

Інтерфейс програми представлений у вигляді системи діалогових вікон, що дозволяє виконувати постановку задачі, проводити імітаційне моделювання [4] та здійснювати оцінку отриманих статистичних даних.

Для аналізу роботи моделі були використані наступні значення (табл. 1):

Таблиця 1

Вихідні параметри для аналізу роботи моделі  
Авторська розробка

Параметри	Значення
Ширина котловану, м	12
Довжина котловану, м	90
Глибина, м	3
Категорія ґрунтів	м'який
Модель екскаватора	VOLVO EW140C
Об'єм ковша, м <sup>3</sup>	0,56
Максимальна глибина копання, м	5,5
Максимальний виліт стріли, м	9,3
Коефіцієнт розпушування ґрунту	1,3
Кількість транспортних засобів, од.	12
Об'єм кузова транспортного засобу, м <sup>3</sup>	8
Середня швидкість руху транспорту, км/годину	50
Відстань до місця відвалу ґрунту, км	40
Вартість маш-год роботи екскаватора, у.о.	34
Вартість маш-год роботи самоскида, у.о.	23

Таким чином, з використанням вихідних параметрів для імітаційного моделювання поставленої задачі, результати роботи моделі представлені в табл. 2.

Результати роботи моделі  
 Авторська розробка

Найменування	Без оптимізації	Оптимізація по довжині черги	Оптимізація за даними геолокації
Час простою транспорту, хв.	10904	9705	8178
Час завантаження транспорту, хв.	3127	3127	3127
Час транспортування ґрунту, хв.	51106	51106	51106
Час простою екскаватора, хв.	612	550	471
Зменшення часу простою транспорту, %	--	11%	25%
Зменшення часу простою екскаватора, %	--	10%	23%

Таким чином, запропонований підхід дозволяє моделювати роботу будівельної техніки в процесі розробки котлованів з урахуванням множини впливів зовнішнього середовища, скорочувати час простою будівельної техніки, підвищувати ефективність її використання, а також знижувати вартість і тривалість виконання будівельних робіт для інвестиційно-будівельних проектів. Така комп'ютерна імітаційна модель є основою для побудови системи підтримки прийняття рішень "МаксДиг", що призначена для проведення комплексного аналізу та оптимізації графіка використання будівельної техніки при розробці котловану.

Розроблене програмне забезпечення (ПЗ) призначене для полегшення прийняття рішення з використання будівельної техніки при розробці котловану з урахуванням можливих впливів зовнішнього середовища. Програмне забезпечення складається з процедур, що покликані полегшити та забезпечити інформаційну підтримку прийняття рішень. Продуктивність ПЗ дозволяє особі, що приймає рішення, отримувати наглядну інформацію з використання будівельної техніки при розробці котловану, проводити аналіз використання та визначати час простою кожної одиниці техніки з урахуванням можливих впливів зовнішнього середовища, що полегшує процес прийняття рішення, а також надає загальну статистику роботи техніки. Така система забезпечує надання оперативної та своєчасної інформації щодо місця знаходження, час прибуття транспортної техніки на будівельний майданчик та дозволяє екскаваторнику визначити оптимальне рішення під час розробки ґрунту котловану.

Серверна частина програми розроблена мовою Python та фреймворком Django, а веб-інтерфейс розроблений з використанням технологій web 2.0. Система має клієнт-серверну архітектуру, яка на сьогоднішній день є домінуючою концепцією у створенні додатків з використанням методів розподільних обчислень та забезпечує функціонування всіх компонентів системи підтримки прийняття рішень. Виконання всіх функцій сервера "МаксДиг" в основному забезпечується програмними засобами, які можна представити у вигляді взаємопов'язаних компонентів моделі MVC [5] (рис. 2):

- модель (Model) – надає дані (зазвичай для View), а також реагує на запити (зазвичай від контролера), змінюючи свій стан;
- представлення (View) – відповідає за відображення інформації (інтерфейс користувача);
- контролер (Controller) – інтерпретує дані, введені користувачем, та інформує модель і уявлення про необхідність відповідної реакції.

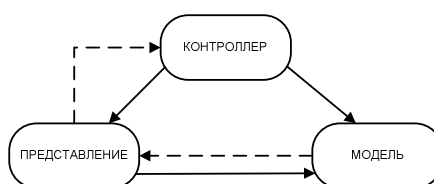


Рис. 2. Модель MVC  
 Авторська розробка

При цьому, як уявлення, так і контролер залежать від моделі. Однак модель не залежить ні від представлення, ні від контролера. Це одна з ключових переваг даного поділу, що дозволяє будувати модель незалежно від візуального представлення.

Система "МаксДиг" складається з наступних компонентів:

- сервер, що виконує запити клієнтських додатків;
- клієнт-модулі транспортних засобів, що забезпечують геопозиціонування і передачу інформації на сервер в разі несправності;
- термінал "Мтерм", що надає оперативну інформацію про поточний стан і пересування транспортних засобів, що забезпечують роботу з транспортування ґрунту;
- веб-інтерфейс, що забезпечує роботу диспетчерів та системного адміністратора;
- мережеве комунікаційне програмне забезпечення, що здійснює взаємодію між клієнтськими додатками і сервером.

Програмний продукт виконує наступні функціональні задачі:

- моніторинг, що включає визначення координат місцезнаходження транспортного засобу, його напрямку, швидкості руху;
- контроль за дотриманням графіку руху;
- облік пересування транспортних засобів, автоматичний облік доставки ґрунту на місце відвалу та ін.;
- здійснення контролю часу і місця розвантаження транспортних засобів, механізмів спецтехніки, визначення їх експлуатації поза дозволених зон та коридорів;
- проведення автоматичного контролю входу та виходу з певних об'єктів підприємства, а також його контрагентів, підрахунок кількості кругорейсів та годин простою на об'єктах. При цьому складається звіт про відвідування окремих зон;
- надання наочної інформації по експлуатації техніки, що дозволяє в цілому оцінити ефективність роботи на кожному об'єкті та згодом прийняти обґрунтовані управлінські та оптимізаційні рішення.

Система забезпечує надання оперативної інформації за процесом транспортування ґрунту та виконує аналіз даних.

Робота диспетчерів і системного адміністратора з системою "МаксДиг" здійснюється через веб-інтерфейс, таким чином клієнт відповідає лише за надання графічного інтерфейсу користувача, тоді як практично вся обробка даних здійснюється на сервері.

Веб-інтерфейс користувача розроблено відповідно до вимогам стандарту HTML 4.0 та активно використовує у своїй роботі бібліотеку JavaScript jQuery, яка забезпечує взаємодію JavaScript та HTML. Бібліотека jQuery допомагає отримувати доступ до будь-якого елементу DOM, звертатися до атрибутів та змісту елементів DOM, маніпулювати ними. Також бібліотека jQuery надає зручний API по роботі з AJAX [6, 7]. JQuery наділяє веб-інтерфейс системи "МаксДиг" наступними можливостями:

- перехід за деревом DOM, включаючи підтримку XPath як доповнення;
- візуальні ефекти;
- AJAX-додатків;
- події;
- JavaScript-доповнення.

Важливу роль у роботі системи "МаксДиг" грає картографічна складова, що базується на використанні карти Google Maps-онлайн карти google. Чим більш деталізовані і якісні карти використовуються в системі, тим зручніше диспетчерам вести моніторинг і стежити за місцезнаходженням транспортних засобів.

У клієнт-серверній архітектурі "МаксДиг" базовим програмним забезпеченням сервера є операційна система Linux – Unix-подібна операційна система, яка керує процесами, мережними функціями, периферією і доступом до файлової системи. Драйвери пристроїв або інтегровані безпосередньо в ядро, або додані у вигляді модулів, що завантажуються під час роботи системи. Окремі програми, взаємодіючи з ядром, забезпечують функції системи більш високого рівня. Взаємодія клієнта і сервера забезпечується комунікаційним програмним забезпеченням підтримуючим протокол TCP / IP. Функції системи "МаксДиг" розподілені між клієнтом та сервером таким чином, щоб обчислювальні та мережеві ресурси використовувалися оптимально, а користувачі отримали оптимальні можливості для виконання різних завдань і спільної роботи. Для

цього велика частина програмного забезпечення виконується на сервері, і тільки незначна частина логіки реалізована на клієнтських пристроях.

Структура програми містить наступні блоки:

- інтерфейс користувача, що забезпечує процес взаємодії користувача з програмою;
- обчислювальний блок, призначений для забезпечення аналізу структури системи і пошуку оптимального рішення на підставі викладених у роботі методів;
- блок планування і диспетчеризації руху транспортних засобів забезпечує можливість планування руху транспортних засобів;
- блок журналізації поломок і аварійних ситуацій;
- блок аналізу помилок здійснюється перевірка вихідної інформації на неповноту завдання, суперечливість і надмірність вихідних даних, що забезпечує економію обчислювальних ресурсів;
- блок формування звітів;
- довідкова служба містить довідкову інформацію по роботі системи і надає можливість контекстного доступу до свого змісту.

Веб-інтерфейс програми "МаксДиг" зображено на рис. 3.

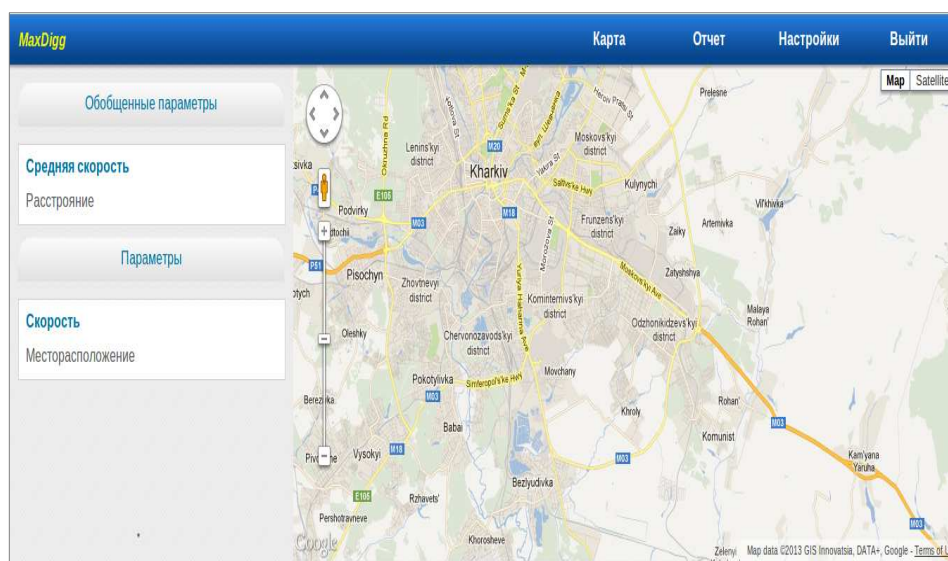


Рис. 3. Веб-інтерфейс програми "МаксДиг"  
Авторська розробка

Програма дозволяє виконувати оперативний моніторинг за переміщенням, визначати швидкість руху, час прибуття та наочно відображає на карті місцезнаходження транспортних засобів.

Сервер веб-додатку отримує інформацію щодо переміщення транспортних засобів за допомогою мобільних клієнт-модулів (рис.4), що встановлюються на транспортних засобах. Клієнт-модулі забезпечують геопозиціонування та передачу інформації на сервер, де інформація накопичується та формується статистика по кожній одиниці транспортного засобу.



Рис. 4. Мобільний клієнт-модуль транспортного засобу  
Авторська розробка

Мобільний клієнт-модуль серії HUAWEI U8510, що підтримує роботу з платформою Android 2.3 та роботу з наступними стандартами зв'язку UMTS 900/2100MHz; EDGE/GSM 850/900/1800/1900MHz, GPRS Class 10.

Повна специфікація модуля наведена в табл. 3

Таблиця 3

Специфікація модуля  
 Авторська розробка

Платформа	Операційна система	Android 2.3
	Діапазон	UMTS 900/2100MHz; EDGE/GSM 850/900/1800/1900MHz, GPRS Class 10
	Швидкість передачі даних	HSDPA 7.2Mbit/s
	Процесор	600MHz
Зовнішній вид	Розміри	110мм x 56.5мм x 11.2мм
	Вага	104гр
Обсяг пам'яті	ОЗП	256 МБ
	ПЗП	512 МБ
	Зовнішня пам'ять	до 32 ГБ
Підключення зовнішніх пристроїв	USB	USB 2.0
	Wi-Fi	802.11b / 802.11g / 802.11n
	Bluetooth	Bluetooth 2.1 / Bluetooth stereo (A2DP)
Підтримка геопозиціонування		GPS /A-GPS
Датчики	Акселерометр	
	Датчик відстані	
Акумуляторна батарея	Тип	Літій-іонна
	Місткість	1,200mAh

Модуль передачі дозволяє передавати дані, використовуючи бездротові мережі операторів мобільного зв'язку. Отримані дані аналізуються і видаються диспетчеру в текстовому вигляді або з використанням картографічної інформації.

З сервера системи оперативна інформація надходить до терміналу "МТерм" (рис. 5), що встановлюється до кабіни екскаватору та дозволяє вести оперативний моніторинг транспортування ґрунту, визначати час прибуття наступного транспортного засобу та приймати відповідне рішення, щодо оптимізації процесу розробки ґрунту. Технічні характеристики терміналу наведені у табл. 4



Рис. 5. Термінал "МТерм"  
 Авторська розробка

Технічні характеристики терміналу  
 Авторська розробка

Діагональ екрану	8"
роздільна здатність екрану	800x600
Тип сенсорного екрану	ємкісний
Процесор	Cortex A8, 1 ГГц
Кількість ядер	1 од.
Обсяг ОЗП	512 Мб
Обсяг накопичувача	4 Гб
Твердотільний диск SSD	немає
Підтримка карт пам'яті	є
Тип карт пам'яті	microSD/microSDHC
Макс. обсяг карти пам'яті	до 32 Гб
Підтримка док-станції	немає
Наявність док-станції	немає
Мережевий адаптер (RJ-45)	немає
Підтримка 3G	є
Тип 3G	зовнішній (USB, опційно)
Стандарт Wi-Fi	802.11 b/g/n
Підтримка GPS	немає
Підтримка форматів	JPG, JPEG, BMP, PNG, MP2, MP3, WAV, AAC, WMA, MPEG 1/2/4, MJPG, H.263, H.264
Ємність батареї	4000 мАч
Час роботи	3 ч (відео), 10 ч (очікування)
Операційна система	ANDROID GOOGLE 4.0.4
Габарити (ШxВxТ)	220x154x12,2 мм

Система "МаксДиг" забезпечує збір, зберігання, аналіз інформації та оперативний моніторинг використання будівельної техніки під час розробки котлованів, та визначає загальний час, вартість роботи, а також час простою будівельної техніки за кожним будівельним проектом у вигляді звіту.

Якщо в роботі системи виникають помилки або збої відбувається заповнення журналу помилок і попереджень, що формується на сервері.

Аналіз інформації з використання будівельної техніки включає:

- аналіз ефективності роботи кожної одиниці техніки;
- аналіз результатів зменшення вартості та часу виконання робіт з розробки ґрунту;
- аналіз вартості, ефективності, доходу, прибутку і рентабельності системи;
- аналіз виконання системи обмежень;
- аналіз залишкових впливів зовнішнього середовища.

**Висновки.** Таким чином, в роботі було розглянуто систему підтримки прийняття рішень "МаксДиг", що призначена для вирішення задачі оптимізації графіку використання будівельної техніки при розробці котлованів, визначені загальні принципи, функції її роботи, складові компоненти, взаємозв'язок між ними та технологію реалізації, що побудована на основі методів оптимізаційного та імітаційного моделювання для інвестиційно-будівельних проектів. Принцип роботи якої полягає у відстеженні та аналізі просторових і часових координат транспортного засобу. На транспортному засобі встановлюється мобільний модуль, що складається з наступних частин: приймач супутникових сигналів, модулі зберігання і передачі координатних даних. Програмне забезпечення мобільного модуля отримує координатні дані від приймача сигналів, записує їх в модуль зберігання та по можливості передає за допомогою модуля передачі. Оптимізація графіку використання будівельної техніки при розробці котлованів з використанням системи підтримки прийняття рішення "МаксДиг" дозволяє скоротити час простоїв будівельної техніки, мінімізувати витрати при виконанні земельних робіт, скоротити час виконання будівельних робіт, а також скоротити загальну вартість виконання будівельних робіт.

1. Хэлдман К. Управление проектами / К. Хэлдман. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 352 с.
2. Катренко А.В. Теорія прийняття рішень / А.В. Катренко, В.В. Пасічник, В.П. Пасько. – К.: Видавнича група ВНУ, 2009. – 448 с.
3. Иванов М.И. Автоматизированные системы управления строительством / М.И. Иванов, Э.С. Спиридонов, Б.А. Волков, М.С. Клыков.// М.: ИПК Желдориздат, 2000. – 640 с.
4. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. – М.: Мир, 1978. – 418 с.
5. Steven Sanderson. Pro ASP.NET MVC Framework.: Published by Apress, 2009 – 618 p.
6. Мархвида И.В. Создание Web-страниц: HTML, CSS, javascript / Мархвида И.В. – Мн.: Новое знание, 2002. – 352с.
7. Sherif M. Yacoub. Pattern – Oriented Analysis and Design: Composing Pattern to Design Software Systems / Sherif M. Yacoub, Hany H. Ammar. – Addison Wesley, 2003. – 416 p.