

УДК: 625.7

Н.О. Арсенєва, О.В. Крухмальова

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

АНАЛІЗ ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

У статті розглядаються системи автоматизованого проектування, що застосовуються в практиці проектування автомобільних доріг. Системи автоматизованого проектування дозволяють обробляти великий обсяг інформації в різноманітних галузях дорожнього проектування (інженерно-геодезичних, інженерно-геологічних і т.п.), сформувати інформаційний простір, в якому відображені вихідні дані району проектування та проектні рішення майбутньої автомобільної дороги. У результаті аналізу можливостей сучасних програмних продуктів САПР автомобільних доріг були виявлені їх основні недоліки та переваги.

Ключові слова: системи автоматизованого проектування, проектування автомобільних доріг, автоматизоване проектування траси дороги, автоматизоване проектування поздовжнього профілю

Постановка проблеми

Автомобільні дороги відносяться до складних технічних споруд. Проектування таких споруд зазвичай виконується за допомогою САПР. Ринок комп'ютерних технологій насичений безліччю програмних продуктів САПР, які розрізняються по зручності інтерфейсу, технологій і методів проектування і т.п. Вибір програм для проектування автомобільних доріг необхідно робити з урахуванням колективної роботи над проектами, функціонування об'єктів в єдину інформаційну систему, а так само можливості реалізації ефективних систем управління якістю [1].

Аналіз сучасних досліджень і публікацій

Проектування таких складних технічних споруд, як автомобільні дороги, завжди було непростим процесом, який вимагає аналізу різних факторів. У сучасному світі дороги повинні мати хороші транспортно - експлуатаційні характеристики, забезпечувати високу безпеку руху, і при цьому зводитися з мінімально можливими будівельними витратами і матеріаломісткістю. Терміни виконання проектів стислі, вимоги до якості високі. У цих умовах вирішальну роль відіграє вибір технологій і інструментів, які використовуються для проектування [2].

Протягом майже двох десятиріччів більшість автомобільних доріг проектується за допомогою систем автоматизованого проектування (САПР), що представляють собою комплекс методичних, інформаційних і програмних засобів. Автоматизоване проектування дозволяє розробити і випустити проектно - кошторисну документацію, яка має рівень якості, недосяжний засобами традиційного проекту-

вання. Сьогодні на ринку САПР для проектування автомобільних доріг пропонуються різні рішення, що розрізняються вартістю, набором функціональних можливостей, експлуатаційними характеристиками, зручністю і простотою впровадження і навчання, здатність забезпечувати інтеграцію з іншими засобами, створювати вихідну документацію відповідно до необхідних норм і правил тощо. В Україні ринок програмних продуктів для проектування доріг представлений такими системами: САПР AutoCAD Civil 3D, САПР CREDO III, AutoCAD та ін..

Слід звернути увагу на те, що у джерел створення програмного комплексу САПР CREDO III були наші вчені та їх учні. Так над розробкою програми працювали к.т.н. Величко Г.В., д.т.н. Філіпов В.В. та ін..

У даній статті вашій увазі пропонується огляд можливостей САПР від провідних виробників.

Виклад основного матеріалу

САПР автомобільних доріг включають такі рівні:

- формування цифрових моделей місцевості району проектування;
- трасування автомобільної дороги;
- проектування поздовжнього профілю;
- проектування поперечних профілів і дорожніх одягів;
- проектування штучних споруд та інженерного облаштування дороги;
- оцінка проектних рішень.

Особливістю проектування автомобільної дороги є те, що дорога - лінійно-протяжний об'єкт. Проектування дороги, істотно залежить від рельєфу, ґрунтово-геологічних і гідрологічних умов місцево-

сті. У свою чергу, геометричні параметри проектованої дороги безпосередньо пов'язані з інтенсивністю і складом транспортного потоку.

Ринок пропонує безліч систем автоматизованого проектування автомобільних доріг: **MXROAD** (Bentley Systems, США), **Plateia** (CGS plus d.o.o, Словенія), **CREDO ДОРОГИ** (Кредо-Діалог, Білорусь), **Pythagoras** (Pythagoras BVBA, Бельгія), **AutoCAD Civil 3D** (Autodesk, США), **IndorCAD / Road** (Indorsoft, Росія), **ROBUR** (Topomatic, Росія). Для всіх програм вихідними даними прийняті результати геодезичних вишукувань і карти місцевості. Результатом є тривимірна модель дороги і проектна документація. Всі системи САПР дозволяють здійснювати комплексний підхід до розробки проектів на будь-якому етапі проектування автомобільних доріг, дають кілька варіантів проектних рішень і дозволяють вибрати оптимальний варіант, з оцінкою переваг і недоліків проектних рішень.

Програма **Plateia** (CGS plus d.o.o., Словенія) використовує в якості графічного ядра AutoCAD Civil 3D, AutoCAD Map 3D і AutoCAD і складається з наступних модулів: Місцевість, Осі, Поздовжній профіль, Поперечні профілі, Транспорт [3].

Plateia забезпечує користувача командними інструментами для повного процесу проектування від введення вихідних даних до складної 3D моделі автомобільної дороги.

Модуль **Layout** (місцевість) включає набір інструментів для роботи з картами і цифровими моделями місцевості. Модуль може імпортувати дані файлів різних форматів і електронних тахеометрів. На основі цих даних модуль створює тривимірну модель рельєфу, яку можна імпортувати в спеціалізовані програми візуалізації. Модуль **Axes** (осі) дозволяє трасувати осі майбутньої дороги. Трасування виконується за класичною схемою, із застосуванням прямих, кругових кривих і перехідних кривих. У модулі здійснюється контроль параметрів проектованої траси згідно категорії дороги і розрахункової швидкості руху.

Модуль **Longitudinal Sections** (поздовжній профіль) включає формування проектної лінії, проектування водовідводу і розрахунок обсягів земляних робіт. Проектування червоної лінії поздовжнього профілю здійснюється за методом тангенсів.

Модуль **Cross Sections** (поперечні профілі) займається побудовою поперечного профілю з деталізацією водовідведення, рослинного шару, шару підсипки та ін.

Модуль **Traffic** (транспорт) служить для проектування перетинів доріг, організації дорожнього руху. До складу модуля включена функція «динамічна траєкторія» (**Dynamic Vehicle Curves**), яка дозволяє в інтерактивному режимі проаналізувати рух транспортного потоку, з урахуванням габаритів тра-

нспортних засобів і можливості заметів на поворотах. Програма розроблена під стандарти наступних країн: Німеччина, Австрія, Словенія, Польща, Чехія, Угорщина, Болгарія, Хорватія, Боснія і Герцеговина, Сербія, Македонія, Росія.

Програмний комплекс **MXROAD** (Bentley Systems, США) базується на моделюванні стрінгами (струнами). Струни представляють собою тривимірні ламані лінії, які формують модель проектованого об'єкта. У кожній струні є найменування і певні характеристики.

Програма здійснює поетапне проектування дороги від створення 3D моделі місцевості до формування проектною документації.

Робота в **MXROAD** включає: введення вихідних даних, динамічне 3D трасування, проектування поздовжнього профілю дороги, інтерактивне проектування поперечного профілю, розрахунок обсягів земляних робіт, проектування дорожніх одягів, підготовка креслень і візуалізація [4].

Траса дороги проектується наступними методами: за допомогою сплайнів, за допомогою прямих, кругових і перехідних кривих, по вершинах кутів повороту. В процесі проектування можливе редагування побудов.

Поздовжній профіль редагується з можливістю довантажувати додаткові поверхні, у випадках проектування перетинів, примикань і транспортних розв'язок. При проектуванні поперечних профілів використовуються шаблони (зі спеціальної бібліотеки). Конструкції дорожнього одягу проектується як індивідуально, так і з використанням наявних в бібліотеці шаблонів.

Програма **САПР CREDO III** включає в себе ряд програмних комплексів: **Топоплан**, **Гріс С**, **Гріс Т**, **Дороги**, **Обсяги** і т.д. За допомогою програмних продуктів **CREDO** забезпечується автоматизована обробка даних в геодезичних, землепорядних роботах, інженерних вишукуваннях; підготовка даних для різних геоінформаційних систем; створення і інженерне використання цифрових моделей місцевості; автоматизоване проектування транспортних комунікацій, генеральних планів об'єктів промислового і цивільного будівництва.

На сьогоднішній день продукти **CREDO III** імпортують:

- об'єкти, створені в системах **CREDO_MIX**, **CREDO_TER**;
- файли форматів **DXF**, **TMD**, **TXT**, **PRX**, **DBX**, **GDS**;

Експортують:

- файли **DXF** (з Креслярської моделі і через програму **CREDO конвертер**), **MIF / MID** (через програму **CREDO**

КОНВЕРТЕР);

- в текстовий файл TXT точки по групі елементів [5].

Основні функції системи CAD-credo - це проектування поздовжнього профілю методом сплайн-інтерполяції опорних точок або методом динамічної оптимізації (забезпечується коригування профілю в інтерактивному режимі, збереження і порівняння варіантів), проектування поперечних профілів земляного полотна та поздовжнього водовідведення, проектування вирівнювання поздовжнього і поперечного профілів при реконструкції (посилення) полотна дороги, розрахунок обсягів вирівнювальних шарів, конструювання та розрахунок дорожнього одягу нежорсткого типу, розрахунок обсягів земляних і планувальних робіт, складання і випуск кошторисної документації, транспортно-експлуатаційна і екологічна оцінка проекту (оцінюється вартість перевезень, швидкість руху, витрата палива, безпека, обсяги токсичних викидів), проектування екологічних заходів щодо зниження впливу шуму і токсичних викидів, а також створення і перегляд перспективних зображень проекрованої дороги в статичному і динамічному режимах [5].

Застосування програмного продукту CREDO ДОРОГИ забезпечує спільну роботу декількох фахівців над одним об'єктом. Інформація з окремих проектів легко і без втрат з'єднується в загальний документ.

У системі є бібліотеки різних даних, від ліній і штрихувань до об'єктів інженерного призначення, стилів типових діаметрів, шаблонів креслень, відомостей і т.д. Для створення нових даних або для їх коригування, відповідно до стандартів підприємства, в систему вмонтовані прості і зрозумілі редактори.

Використання бібліотек даних дозволяє підвищити швидкість і результативність роботи, позбавляючи від монотонної праці при наповненні цифрової моделі різною інформацією і при оформленні вихідних документів. Поповнення бібліотек виконується до кожного випуску системи. Потрібно відзначити, що дані бібліотек повністю відповідають актуальним вітчизняним нормам проектування і вимогам до проектної документації.

В системі закладений ряд інтерактивних методів, які дозволяють створити трасу навіть при несприятливих умовах її проходження.

Поздовжній профіль дороги можна отримати методом автоматизованої побудови за ексклюзивною методикою CREDO. В результаті створюється проектна лінія з плавною зміною кривизни.

Для створення проектних профілів в CREDO ДОРОГИ можна використовувати також методи інтерактивної побудови, які широко представлені в системі. Вони дозволяють детально проробляти складні ділянки, враховуючи різні обмеження і нор-

мативні вимоги. При цьому зручно контролювати і змінювати установки вертикальних елементів (кіл, парабол, сплайнів, прямих), виконувати їх сполучення без зламів. Швидко оцінити отриманий результат проектувальник зможе за графіками кривизни і відхилення від контрольних значень.

Якісне рішення проекту неможливо без геологічних даних. Вони формуються в системі CREDO ГЕОЛОГІЯ, а потім використовуються при проектуванні доріг.

Для порівняння і вибору найкращого рішення передбачено збереження декількох варіантів профілю (їх кількість необмежена).

Набір різних конструктивних смуг проїзної частини та узбіччя дозволяє створювати поперечники доріг будь-якого типу, включаючи міські вулиці.

Ще в системі реалізований автоматизований розрахунок ухилів на віражах декількома способами. Наприклад, на ділянках з незабезпеченим водовідведенням можна виконати відгін поперечних ухилів покриття за принципом «сухих» віражів.

У якості підказки - червоним кольором виділяються ті ділянки, на яких порушені вимоги щодо безпечного і комфортного руху на заокругленні із заданою швидкістю.

Розширення на кривих в плані можна врахувати як для кожної смуги руху, до того ж з різних сторін від осі дороги, так і у вигляді спеціальної смуги загальною шириною з внутрішньої сторони закруглень.

Для виконання ремонтних робіт в програмному продукті враховані різноманітні вимоги користувачів. У CREDO ДОРОГИ можна провести ремонт по ширині існуючого покриття, зберігаючи узбіччя і укоси, або створити розширення в ровиках, або передбачити зрізання узбіччя, поправити геометрію укосів і т.д., аж до створення картограм по всім верствам вирівнювання і по різним типам фрезерування і розбирання.

Для оцінки вихідних даних і проектних рішень проектувальник може використовувати перегляд 3D-виду проекту в режимі руху і статичний, на зазначених пікетах. При цьому у вікні перегляду відображаються основні параметри руху автомобіля.

В системі CREDO ДОРОГИ передбачено створення креслень плану з розкладкою окремих листів по довжині протяжних об'єктів.

Креслення поздовжнього профілю і діаметрів формуються відповідно до нормативних вимог.

Можна створити комплексні креслення (план, профіль, діаметр), показати конструкцію дорожнього одягу, типові поперечники земляного полотна, а також поперечники на будь-яких пікетах, з заданим кроком, і, як варіант, з геологією [6].

Програма САПР AutoCAD Civil 3D.

Система автоматизованого проектування об'єктів інфраструктури AutoCAD Civil 3D побудована на основі широко відомої платформи AutoCAD.

Система автоматизованого проектування AutoCAD Civil 3D дозволяє виконувати будь-які стадії проектів будівництва, реконструкції та ремонту автомобільних доріг всіх категорій. Структурно процес проектування за допомогою даної системи можна розбити на наступні основні етапи:

- підготовка цифрової моделі місцевості (ЦММ);
- визначення траси дороги в плані і профілі;
- тривимірне моделювання автомобільної дороги;
- розрахунок обсягів робіт і створення вихідної документації.

Почнемо з першого етапу. Ефективне застосування AutoCAD Civil 3D для переважної більшості інфраструктурних проектів неможливо без підготовленої інформації про місцевість у вигляді цифрової моделі, що включає відомості про межі землекористування, геометричне положення і характеристик існуючих об'єктів інфраструктури - автомобільних і залізних дорогах, інженерних комунікаціях, будівлях і спорудах тощо, а також про природні об'єкти - заболочених ділянках, річках та інших водоймах, лісових масивах і, звичайно ж, рельєфі. Цифрова модель рельєфу (ЦМР) є базою, на якій будується вся динамічна модель проекту дороги. ЦМР використовується для створення поздовжніх профілів лінійних споруд, є цільовим об'єктом для визначення проектних укосів і профілювання. За готової поверхні існуючого рельєфу легко визначити чорні позначки в будь-якій необхідній точці, швидко і точно підрахувати обсяги земляних робіт. [7]. За допомогою AutoCAD Civil 3D ви можете без втрат імпортувати дані з інших форматів САПР і ГІС: ESRI SHP (ArcGIS), MIF / MID і TAB (MapInfo), DGN (Microstation), LandXML, SDF і ін. Файли в форматах PDF і DWF легко використовувати як основи.

Функції імпорту зображень і моделей рельєфу з Google Earth безпосередньо в креслення із заданою системою координат дозволять вам без витрат в найкоротші терміни отримати досить точну і достовірну геопідоснову для планування робіт.

Проте хочеться відзначити, що будь-які витрати, пов'язані з підготовкою вихідних даних, компенсуються подальшим спрощенням проектних робіт.

Можливості динамічного середовища програмного комплексу зі взаємопов'язаними елементами дозволяють оперативно і якісно опрацювати безліч варіантів.

У AutoCAD Civil 3D за секунди можна створити профіль поверхні існуючого рельєфу, який буде динамічно оновлюватися зі зміною траси. Поздовжній профіль складається з самого розрізу рельєфу -

об'єкта «Профіль», сітки профілю - об'єкта «Вид профілю» і «Областей даних» - підпрофільної таблиці. Налаштування зовнішнього вигляду задаються стилями цих об'єктів і відповідають вимогам нормативних документів, що регламентують оформлення.

Проектний профіль автомобільної дороги створюється за допомогою інструментів компонування профілю. Як і при визначенні планового положення траси, проектування здійснюється з урахуванням нормативних критеріїв. За допомогою файлів, що входять в поставку програми, можна виконувати контроль проектних рішень.

Третій етап - тривимірне моделювання автомобільної дороги - починається з визначення типових поперечних профілів (конструкцій). Конструкції збираються з елементів, що приєднуються до базової лінії (лінії траси). В поставку програмного комплексу включена велика бібліотека елементів конструкцій, що представляють собою елементи земляного полотна (вихід на рельєф, ланки по зсувах, ухилам і т.п.) і дорожнього одягу (багатошарові смуги руху, узбіччя, тротуари і т.д.). Є елементи для штучних споруд, підпірних стінок, водовідведення. Елементи конструкцій мають вхідні параметри (ширина, товщина, поперечний ухил ...) і цільові параметри (можливість визначення планового і висотного положення з характеристик інших об'єктів - трас, профілів, характерних ліній і об'єктів AutoCAD). Багато елементів мають інтелектуальну поведінку. Наприклад, стандартний вихід на рельєф можна налаштувати таким чином, щоб в залежності від змінення проектного профілю встановлювалася різна крутизна укосу, на крутих ділянках насипу вставляли огорожу, а в виїмці задавався кювет з певними параметрами. Якщо в бібліотеці немає потрібних елементів, з примітивів креслення можна створити свої власні.

Динамічне середовище AutoCAD Civil 3D дозволяє автоматично оновлювати не тільки модель проекту, але і вихідні креслення і результати розрахунків. Розрахунок обсягів земляних робіт здійснюється по всіх перетинів і поверхонь чорної землі і коридору. Кодами форм елементів конструкцій можуть бути задані матеріали дорожнього одягу, облицювання та інших елементів дороги (асфальтобетон, пісок, гравій і т.д.). Потім інструментами підрахунку обсягів визначаються їх обсяги для будівництва. По всіх перетинів також оформляються необхідні для випуску проекту поперечні профілі в необхідному зовнішньому вигляді, розбиті на листи для виведення на друк. Механізм автоматизованого формування вихідних креслень дозволяє здійснити нарізку листів плану і поздовжнього профілю траси по шаблонах. У шаблонах листів є компонування форматів, масштабу друку, рамкового оформлення[8].

Висновки

Аналіз розглянутих програмних продуктів систем автоматизованого проектування показує що всі розглянуті комплекси програм призначені в основному для створення 3D-моделі земляного полотна, визначення обсягів земляних робіт (який можна мінімізувати в інтерактивному режимі) і випуску відповідного комплексу проектної документації. У кожного програмного продукту є свої недоліки та переваги. Але всі вони створюють проектні креслення та проектну документацію, які необхідні для створення якісного проекту автомобільної дороги. Нажаль, не всі програмні комплекси адаптовані під стандарти України, що зводить їх використання до мінімуму.

Література

1. Бойков, В.Н. Автоматизированное проектирование автомобильных дорог. [Текст] / В.Н. Бойков, Г.А. Федотов, В.И. Пуркин В.И. - М.: Изд-во МАДИ, 2005. – 224 с.
2. Круглов, С. Проектирование автомобильных дорог в САПР AutoCAD Civil 3D [Текст] / С. Круглов // САПР и графика. – 2011. - № 8.
3. PLATEIA (CGX Software) [Електронний ресурс] / ONEROADS. – Режим доступу: [http://www/URL: http://www.oneroads.ru/po/plateia/plateia.htm](http://www.oneroads.ru/po/plateia/plateia.htm). 2005-2018 pp.
4. Road Design And Analysis Software [Електронний ресурс] / Bentley Products. - Режим доступу: [www/ URL: https://www.bentley.com/en/products/product-line/civil-design-software/mxroad](https://www.bentley.com/en/products/product-line/civil-design-software/mxroad). 2018 p.
5. Бучкин, В. Сравнительный анализ программных комплексов. [Текст] / В. Бучкин, Е.Рижык, Е. Ленченкова // Мир Транспорта. – 2013. - № 02.
6. CREDO ДОРОГИ 1.9 [Електронний ресурс] / Программные продукты и технологии CREDO. – Режим доступу: [www/ URL: https://credo-dialogue.ru/produkty-2/korobochnye-produkty/credo_dorogi.html](https://credo-dialogue.ru/produkty-2/korobochnye-produkty/credo_dorogi.html). 2017 p.
7. Программный комплекс Credo для изыскания и проектирования [Електронний ресурс] / издательство Nestor. – Режим доступу: [www/ URL: http://www.nestor.minsk.by/sn/1997/45/sn74509.htm](http://www.nestor.minsk.by/sn/1997/45/sn74509.htm) - 1997 - 2014 pp.
8. AutoCAD Civil 3D – Возможности [Електронний ресурс] / intelligent design tools. – Режим доступу: [www/ URL: http://www.idtsoft.ru/?page=c3dfeat](http://www.idtsoft.ru/?page=c3dfeat) - 2006-2018 pp.

References

1. Boykov, V.N., Fedotov, G.A., Purkin, V.I. (2005). Automatic engineering of automobile roads, 224.
2. Kruglov, S. (2011). Engineering of automobile roads in CAD AutoCAD Civil 3D. *CAD and graphics*, 8.
3. PLATEIA (CGX Software (n.d.)). *ONEROADS*. Retrieved from: <http://oneroads.ru/po/plateia/plateia.htm>.
4. Road Design And Analysis Software (n.d.). *Bentley Products*. Retrieved from: <https://www.bentley.com/en/products/product-line/civil-design-software/mxroad>.
5. Buchkin, V., Rizhuk, E., Lenchenkova, E. (2013). Comparative analysis of software package. *The world of the transport*, 2.
6. CREDO ROADS 1.9 (n.d.) *Program products and technologies CREDO*. Retrieved from: https://credo-dialogue.ru/produkty-2/korobochnye-produkty/credo_dorogi.html.
7. *Software package Credo for research and engineering* (n.d.) Retrieved from <http://www.nestor.minsk.by/sn/1997/45/sn74509.htm>.
8. AutoCAD Civil 3D – Capabilities. (n.d.) *Intelligent design tools*. Retrieved from <http://www.idtsoft.ru/?page=c3dfeat>.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. кафедри мостів, конструкцій і будівельної механік В.П. Кожушко, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна.

Автор: АРСЕНЬСВА Наталія Олександрівна кандидат технічних наук, асистент кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою Харківський національний автомобільно-дорожній університет
E-mail - nataliarsen73@gmail.com
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6178-2558>

Автор: КРУХМАЛЬОВА Олена Василівна асистент кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою Харківський національний автомобільно-дорожній університет
E-mail - alenakrukmalova@gmail.com
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9715-6762>

ANALYSIS PROGRAM COMPLEXES OF AUTOMATED ENGINEERING OF AUTOMOBILE ROADS

N. Arsenieva, O. Krukmalova

Kharkiv National Automobile and Highway University, Ukraine

The systems of computer-aided engineering are discussed in this article, which are used in the practice of engineering automobile roads. Computer-aided designs allow to process a large information in the different areas of the road engineering (engineer-geodesic, engineer-geological etc.), to form informative spaces, where initial design data of district and future highway project decisions are reflected. The main shortcomings and advantages of modern CAD software products of automobile roads were identified as a result of the analysis of their capabilities.

Keywords: computer-aided engineering systems, automobile roads engineering, automated engineering of automobile road, automated engineering of longitudinal cross section.