

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

На правах рукопису

БЕЦЬ СВІТЛАНА ОЛЕКСАНДРІВНА

УДК 625.72

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ
ПРОСТОРОВОЇ ВИДИМОСТІ НА
АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ**

05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному транспортному університеті
Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Пальчик Анатолій Миколайович,
Національний транспортний університет,
професор кафедри проектування доріг, геодезії та
землеустрою

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Смірнова Наталія Володимирівна,
Харківський національний автомобільно-
дорожній університет, професор кафедри
будівництва та експлуатації автомобільних доріг

кандидат технічних наук, старший науковий
співробітник

Вирожемський Валерій Костянтинович,
ДП «ДерждорНДІ», начальник центру
нормоконтролю, оцінки відповідності та
міжнародного співробітництва

Захист відбудеться «05» березня 2021 р. о 10:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.059.02 у Національному транспортному університеті за адресою: 01010, Україна, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 209.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного транспортного університету за адресою: 01103, Україна, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42.

Автореферат розісланий « 04 » лютого 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук, доцент



О. Ю. Усиченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Розвиток економіки України в період 2000 – 2021 рр. характеризується стрімким зростанням автомобільного парку. Це призводить до збільшення інтенсивності дорожнього руху і навантаження на мережу автомобільних доріг. Для задоволення цих вимог необхідно розширення існуючої мережі автомобільних доріг та їх реконструкція і ремонт.

З розвитком транспортної мережі підвищуються й вимоги до транспортно-експлуатаційного стану автомобільних доріг. Зростають швидкості руху транспортних засобів, і як наслідок підвищується аварійність на дорогах. Одним із головних факторів підвищення аварійності є недостатня видимість на автомобільних дорогах.

Існуючі методи визначення видимості дають неоднозначні результати, що потребує їх удосконалення.

Удосконалення методів визначення просторової видимості на автомобільних дорогах є актуальною та важливою науковою задачею. Питання проектування та реконструкції доріг з урахуванням забезпечення достатнього рівня видимості залишається відкритим та гострим. Саме тому важливо розробити методіку, яка дасть змогу аналізувати просторову видимість, для вибору оптимальних заходів по її покращенню. Просторова видимість – це видимість автомобільної дороги в конусі зору водія.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основні дослідження теоретичного та прикладного характеру виконані за планами Міністерства освіти і науки України, науково-дослідних робіт у Національному транспортному університеті «Удосконалення методів проектування та реконструкції автомобільних доріг» номер держреєстрації 0106 U 000699, «Удосконалення принципів і методів проектування, реконструкції та паспортизації доріг» номер держреєстрації 0111 U 010362.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є удосконалення методу визначення просторової видимості з урахуванням параметрів автомобільних доріг визначених на основі геодезичних координат, отриманих за допомогою супутникових технологій або технологій лазерного сканування місцевості для підвищення безпеки руху.

Для досягнення вказаної мети необхідно вирішити наступні задачі дослідження:

- провести аналіз існуючих методів визначення просторової видимості;
- удосконалити методи розрахунку параметрів автомобільної дороги на основі геодезичних координат з використанням супутникових технологій;
- удосконалити метод визначення просторової видимості з обґрунтуванням напрямку видимості та конуса зору водія;
- розробити практичні рекомендації з впровадження результатів дослідження просторової видимості.

Об'єкт дослідження – вплив геометричних параметрів та просторової видимості на безпеку дорожнього руху на автомобільних дорогах.

Предмет дослідження – розрахунок просторової видимості на автомобільних дорогах на основі тривимірних координат.

Методи дослідження. У рамках дисертаційної роботи застосовувались методи математичного моделювання, математичної статистики, залежності між параметрами автомобільної дороги та видимістю, експериментальні дослідження для визначення відстані просторової видимості.

Наукова новизна отриманих результатів:

- *отримано:* критерії видимості, як в просторі, так і в горизонтальній та вертикальній площині для її оцінки;

- *удосконалено:*

- метод розрахунку просторової видимості на автомобільних дорогах;
- методи визначення геометричних параметрів на основі геодезичних координат з використанням супутникових технологій та технологій лазерного сканування місцевості;

- математичну модель визначення просторової видимості з використанням конуса видимості.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що удосконалений метод розрахунку просторової видимості та визначення параметрів автомобільної дороги дозволяють: проводити аналіз безпеки руху на етапі проектування; обґрунтовувати необхідність реконструкції окремих ділянок автомобільних доріг.

Удосконалений метод з визначення просторової видимості дає можливість оцінювати видимість, як окремо в плані та профілі, так і в просторі.

Удосконалені методи з визначення геометричних елементів на автомобільних дорогах на основі координат, дають змогу врахувати кривизну в кожній точці, на відміну від існуючих методів, які використовуються лише для розрахунку колових кривих.

Розроблена методика з оцінки просторової видимості дає змогу аналізу та прийняття оптимальних заходів по її покращенню та підвищенню безпеки руху.

Результати дисертаційної роботи були використані в навчально-методичних комплексах дисциплін „Вишукування та проектування автомобільних доріг”, для студентів спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія, ОП „Автомобільні дороги, вулиці та дороги населених пунктів”, при формуванні програм лекційних занять та в дипломному проектуванні.

Особистий внесок здобувача. Усі результати, що наведені в дисертації та представлені здобувачем до захисту, одержані здобувачем особисто [1, 3, 4, 5, 15] або за його безпосередньою участю [2, 6-14]. У спільних працях здобувачем: [6] – запропоновано використовувати для визначення радіусу на перехідних кривих удосконалені методи, які дають змогу визначення радіусу кривизни в будь-якій точці дороги, в тому числі на перехідних кривих; [7, 8, 9] – проаналізовано вплив просторової видимості на швидкість руху транспортних засобів; [10] – розроблені рекомендації щодо застосування супутникових технологій при паспортизації автомобільних доріг; [11] – представлено методи визначення геометричних параметрів, які враховують зміну кривизни на перехідних кривих; [12, 13] – проаналізовано перспективи застосування GPS

технології при паспортизації автомобільних доріг; [14] – проведено аналіз ділянки дороги Новики-Тарасів та запропоновано застосування супутникових геодезичних карт при вишукуванні та паспортизації автомобільних доріг;

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на наукових конференціях професорсько-викладацького складу аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету (2011, 2012, 2015, 2017 рр., м. Київ, НТУ) та на міжнародному науково-технічному семінарі «Сучасні геоінформаційні технології при підготовці фахівців дорожньої галузі» (Харків: ХНАДУ, 2015 р).

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 15 робіт, з них 4 в періодичних фахових виданнях, що входять до переліку МОН України, 1 стаття в зарубіжних періодичних наукових виданнях; 8 у наукових виданнях апробаційного характеру; 2 статті додатково відображають наукові результати дисертації.

Структура та обсяг роботи. Дисертація включає вступ, чотири розділи, загальні висновки, список використаних джерел із 147 найменувань та 7 додатків. Основний текст викладений на 121 сторінці. Текст ілюструється 60 рисунками і містить 17 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі наведена загальна характеристика роботи, обґрунтована актуальність теми, сформульовано мету, задачі та методи дослідження. Визначено об'єкт та предмет дослідження, викладені наукова новизна і практична цінність одержаних результатів.

У першому розділі наведено огляд та аналіз результатів існуючих досліджень, що відображають сучасні методи визначення видимості.

Забезпечена видимість на автомобільних дорогах є найважливішим показником її транспортно-експлуатаційних якостей та безпеки руху. Для безпеки руху на дорозі водій повинен бачити перед собою ділянку достатньої довжини, з тим щоб, побачивши перешкоду, вжити заходи по своєчасному гальмуванню. Сучасні методи оцінки видимості (видимість поверхні дороги, бічна видимість, видимість на горизонтальних кривих, видимість зустрічного автомобіля в поздовжньому профілі, нічна видимість та метеорологічна видимість) базуються на представленні дороги в двох окремих площинах, горизонтальній та вертикальній. Такий підхід не може забезпечити достатньої точності, якщо дорога проходить в ускладнених умовах та має поєднання елементів в плані та профілі.

Огляд літературних джерел вказує на те, що визначення видимості є важливою задачею дорожньої галузі при проектуванні та реконструкції автомобільних доріг, що сприяє забезпеченню достатнього рівня безпеки руху.

За останні півсторіччя багато авторитетних вчених, фахівців дорожньої галузі зробили значний внесок у розвиток проектування автомобільних доріг: Андреев О.В., Бабков В.Ф., Бегма І.В., Білятинський О.А., Біруля А.К., Брімлі Б., Богаченко В.М., Васильєв А.П., Вознюк А. Б., Воігт А., Гаврилов Е.Р.,

Гайдукевич В. А., Гамеляк І.П., Гуков М. І., Гусев О.В., Гюлер Е., Дмитрієв М.М., Домке Е.Р., Еркін Е., Есан К., Калужський Я.А., Кастро. М., Кизима С.С., Краммес Р., Лобанов Є.М., Орнатський Н.П, Павлюк Д.О., Пальчик А.М., Піліпака Л.М., Поліщук В.П., Пу Дзянтао, Сільянов В.В., Смірнова Н.В., Старовойда В.П., Федотов Г.А., Філіпов В.В., Хамед А. М., Хамроз К., Хомяк Я. В., Шилова Т.О. та інші. В процесі цих досліджень був накопичений великий обсяг інформації, проте питанню визначення просторової видимості не приділено достатньо уваги.

Проведений аналіз літературних даних свідчить, що дослідження, в яких розглядалася просторова видимість, в основному були зосереджені на визначенні напрямку зору водія, або впливу його психо-емоційного стану на рух. Саме тому важливо розробити методику, яка дасть змогу аналізувати просторову видимість, для вибору оптимальних заходів по її покращенню.

Другий розділ присвячений теоретичному дослідженню просторової видимості та геометричних параметрів автомобільних доріг.

Траса дороги описується точками з тривимірними координатами. На основі цих даних можна визначити геометричні параметри дороги, а саме радіус кривої, як в плані і профілі, так і в просторі.

В ході дисертаційного дослідження було встановлено, що в реальних умовах при суміщенні кривих в плані з вертикальними кривими або похилами, перевірок видимості зустрічного автомобіля окремо в плані та окремо в профілі – недостатньо.

Допомогти уникнути такої ситуації може перевірка дороги на забезпечення просторової видимості. Просторова видимість – це видимість автомобільної дороги в конусі зору водія.

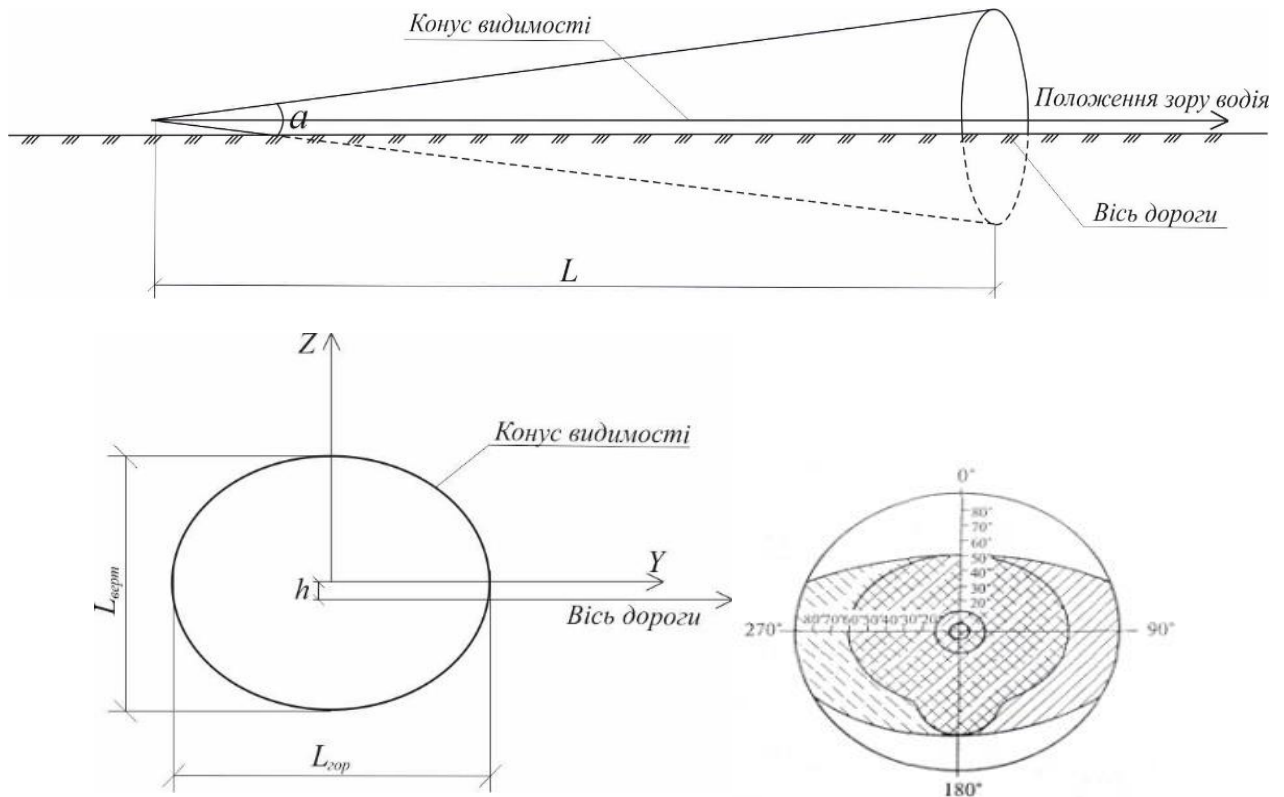
Удосконалений метод «конусів» для оцінки просторової видимості дозволяє проводити оцінку видимості на основі аналізу елементів дороги в просторі. При цьому можна аналізувати просторову видимість на основі геодезичних координат отриманих за допомогою супутникових технологій або технологій лазерного сканування місцевості.

Він ґрунтується на розподіленні концентрації зору водія. Водій може чітко бачити ситуацію в межах конуса, вершина якого знаходиться на рівні очей водія. Висота конуса залежить від швидкості руху транспортного засобу та часу доби. Кут між бічними стінками конуса (кут розподілення концентрованого зору водія) становить 12° – в денний час та 3° – в нічний час доби. Кут периферійного зору водія становить 36° , в межах цього конуса водій помічає перешкоду, але не може її класифікувати.

За допомогою програмного комплексу Civil 3D та функції завантаження координат з Google Earth створюється просторова модель місцевості та дороги. Для більш точного визначення видимості необхідно, щоб на моделі місцевості окрім рельєфу ще розміщувалися об'єкти, які можуть створювати перешкоди для забезпечення видимості: будинки, дерева, кущі дорожні знаки, тощо.

На рівні зору водія встановлюється конус розподілу зору. Його напрямок залежить від положення просторового вектору, який складається з суми горизонтального та вертикального векторів. З рухом транспортного засобу по

просторовій моделі дороги переміщується й конус з певним інтервалом. Таким чином можна візуально оцінити межу видимості – все, що розміщується в середині конуса потрапляє в зону видимості.



L – відстань видимості, залежно від швидкості руху, погодних умов та часу доби, м;
 h – положення лінії зору водія над поверхнею дороги, м;
 α – кут розподілу концентрованого зору водія, залежить від часу доби;
 $L_{гор}$ – дальність видимості в горизонтальній площині в залежності від розподілення зору водія, м;
 $L_{верт}$ – дальність видимості у вертикальній площині в залежності від розподілення зору водія, м.

Рисунок 1 – Конус видимості на прямій ділянці автомобільної дороги

На рисунку 1 показано конус видимості, який дає можливість оцінити видимість в просторі. Після оцінки просторової видимості можна визначити ділянки, де видимість не забезпечена, як в горизонтальній, так і у вертикальній площині.

В аналітичному вигляді цей метод описується рівнянням конуса в просторі:

$$\begin{cases} \frac{x^2}{d^2 \operatorname{tg}^2 4^\circ} + \frac{y^2}{d^2 \operatorname{tg}^2 6^\circ} + \frac{z^2}{d^2 \operatorname{tg}^2 4^\circ} = 1 \\ (x_2 - x_1)(x - x_2) + (y_2 - y_1)(y - y_2) + (z_2 - z_1)(z - z_2) = 0 \\ \frac{x - x_1}{m} = \frac{y - y_1}{n} = \frac{z - z_1}{1} \end{cases} \quad (1)$$

На основі математичного аналізу рівняння перехідної кривої та рівняння конуса визначається напрямок та відстань просторової видимості. Напрямок просторової математичної моделі дороги описується за допомогою векторів. Щоб отримати напрямок, тобто вектор-функцію в будь-якій точці елемента, необхідно визначити дотичну. Саме цей вектор вказує на напрямок зору водія. В цьому напрямку встановлюється конус і визначається значення видимості в даній точці по координатам. Після цього конус переміщується з певним інтервалом по дорозі та визначається відстань видимості в будь-якій точці на дорозі.

Цей метод розглядає видимість, як просторову величину і дає достовірні результати при будь-яких поєднаннях елементів плану та профілю.

Таблиця 1– Комбінації поєднання елементів

| Номер комбінації | Траса в плані | Траса в поздовжньому профілі |
|------------------|----------------------------|------------------------------|
| 1 | Пряма | Пряма |
| 2 | Пряма | Колова крива |
| 3 | Колова крива | Пряма |
| 4 | Колова крива | Колова крива |
| 5 | Перехідна крива (клотоїда) | Пряма |
| 6 | Перехідна крива (клотоїда) | Колова крива |

В третьому розділі наведені результати дослідження просторової видимості з урахуванням параметрів автомобільних доріг визначених на основі геодезичних координат, отриманих за допомогою супутникових технологій або технологій лазерного сканування місцевості.

Видимість в значній мірі залежить від геометричних параметрів автомобільних доріг. Тому необхідно отримати достовірні цифрові значення радіусів заокруглень (план і профіль) та значення подовжнього похилу.

Проведено аналіз існуючих методів визначення параметрів автомобільних доріг:

- графічно-аналітичний метод, ґрунтується на визначенні радіуса кривої за хордою та перевищенням;
- графічний метод, являє собою метод підбору. За допомогою кіл різного радіуса визначається кривизна на досліджуваній криволінійній ділянці;
- графічно-аналітичний метод для визначення похилу, ґрунтується на визначенні похилу за математичними формулами на основі побудованого подовжнього профілю.

Існуючі методи базуються на представленні криволінійних ділянок автомобільної дороги у вигляді кривих з постійним радіусом. Таким чином визначається радіус кривої на вершині, і він вважається рівним на всій криволінійній ділянці. Такий підхід не може забезпечити достатньої точності при визначенні елементів дороги з перехідними кривими, так як вони не враховують зміну радіуса.

Для цього були удосконалені два методи: метод подовжених хорд та метод перевищень. Ці методи дають змогу визначати кривизну в будь-якій точці дороги, враховуючи криві зі змінним радіусом. Удосконалені методи базуються на використанні геодезичних координат, отриманих за допомогою супутникових технологій або технологій лазерного сканування місцевості.

Удосконалені методи дають змогу отримати достовірні дані при визначенні просторової видимості та забезпечення безпеки руху на автомобільних дорогах.

Метод подовжених хорд призначений для визначення радіусів горизонтальних кривих, в тому числі кривих зі змінним радіусом. Він ґрунтується на основі методу хорд, який використовується для розбивки кривих в ускладнених умовах.

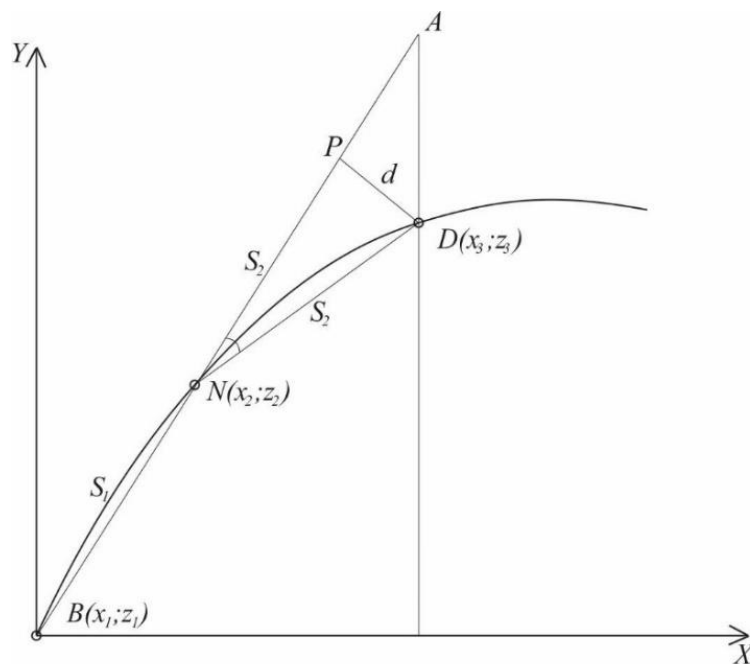


Рисунок 2 – Схема для визначення кривизни в точці у горизонтальній площині

Загальна формула для визначення радіуса заокруглення має наступний вигляд:

$$R = \frac{S_i^2}{d}, \quad (2)$$

де S_i – довжина хорди, залежить від координат визначених точок, м;
 d – проміжне переміщення, м.

Метод перевищень призначений для визначення радіусів вертикальних кривих та похилів. Він ґрунтується на залежності кривизни від похилу, який можна визначити в будь-якій точці на кривій за допомогою просторових координат.

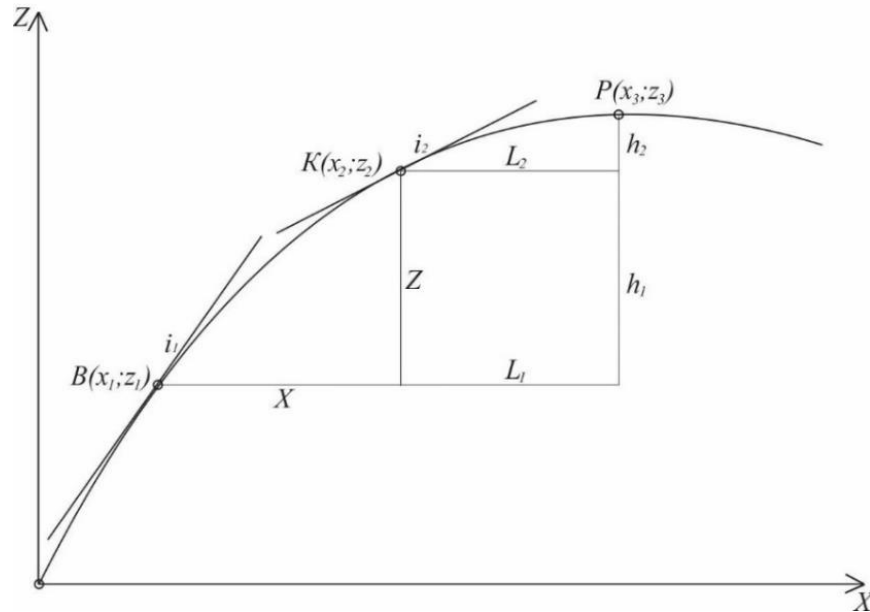


Рисунок 3 – Схема визначення кривизни в точці у вертикальній площині

Загальна формула для визначення кривизни:

$$R = \frac{X^2}{2i_1 X - 2Z}, \quad (3)$$

де X – відстань між точками в горизонтальній проекції, м;
 Z – відстань між точками у вертикальній проекції, м;
 i – похил між точками.

Суттєвою перевагою удосконалених методів, на відміну від існуючих, є їх універсальність, тобто їх можна використовувати при визначенні радіуса заокруглення будь-яких кривих (колових, або зі змінним радіусом). Ці методи базуються на визначенні радіуса в конкретній точці, яка характеризується прямокутними координатами.

Для визначення просторової видимості потрібно отримати точні значення параметрів автомобільних доріг. Для цього визначається положення автомобільної дороги в просторі.

Спочатку необхідно отримати координати точок одним із наступних способів: з використанням геодезичних приладів, GPS-приймачів, супутникових карт або лазерного сканування місцевості. Отримані координати переводяться в прямокутну систему координат за допомогою спеціальних програм для подальших розрахунків.

Рівняння дороги описується рівнянням кривої в просторі і використовується для визначення напрямку встановлення конуса видимості. Для

отримання напрямку, тобто вектор-функції, необхідно визначити дотичну в досліджуваній точці.

Отримані вектор-функції горизонтальних та вертикальних елементів дороги в будь-якій точці об'єднуються для отримання просторового напрямлення дороги – просторового вектору. В цьому напрямку встановлюється конус видимості і визначається відстань просторової видимості.

Таблиця 2 – Рівняння елементів дороги

| Назва елемента | Рівняння елемента | Перша похідна від рівняння елемента |
|-----------------|---|---|
| Пряма | $\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$ | $y' = -\frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)}$ |
| Колова крива | $(x - a)^2 + (y - b)^2 = R^2$ | $y' = \frac{(x - a)}{(x - b)}$ |
| Перехідна крива | $y = 0,000294x^2 - 0,0062x - 0,0124$ | $y' = 0,000598x - 0,0062$ |
| Парабола | $x^2 = 2py$ | $y' = \frac{2x}{2p}$ |

Використовуючи отримані вище дані розраховуються коефіцієнти просторової видимості.

Коефіцієнт просторової видимості представляє собою безрозмірну величину, яка характеризує величину дальності видимості і визначається відношенням фактичної видимості до допустимої.

Коефіцієнт просторової видимості визначається за формулою:

$$K_B = \frac{L}{L_{\text{доп}}}, \quad (4)$$

де L – фактична видимість в будь-якій точці на ділянці дороги, м;

$L_{\text{доп}}$ – допустима видимість на ділянці дороги в залежності від швидкості руху, м.

На основі визначених коефіцієнтів будується графік коефіцієнтів просторової видимості, який використовується для аналізу видимості на досліджуваній ділянці дороги.

Четвертий розділ присвячений удосконаленню методу розрахунку просторової видимості на автомобільних дорогах.

Основними чинниками, що характеризують просторову видимість є напрямок та кут зору водія. Напрямок зору водія залежить від комбінації

горизонтальних та вертикальних елементів дороги, таких як прямі, колові криві, перехідні криві, параболи.

Напрямок руху характеризується просторовим вектором. На горизонтальних кривих це є дотична в кожній точці. Те ж саме можна сказати і про вертикальні параметри.

Отже, просторова видимість характеризується сумою векторів як у горизонтальній так і у вертикальній площині та коефіцієнтами просторової видимості. На основі коефіцієнтів розробляються заходи із підвищення видимості та безпеки руху.

Блок-схема розрахунку видимості та розробки заходів по її підвищенню приведена на рисунку 4.



Рисунок 4 – Блок-схема розрахунку видимості та розробки заходів по її підвищенню

Для визначення параметрів автомобільних доріг необхідно отримати просторові координати.

Радіус горизонтальних кривих описується за допомогою координат точок вісі дороги. Інтервал часу (T) визначення координат вісі дороги при використанні супутникових технологій (GPS) залежить від швидкості руху лабораторії.

Таблиця 3 – Рекомендації по інтервалу часу при визначенні координат в залежності від швидкості руху лабораторії та радіуса горизонтальної кривої

| | | | | | | | |
|---|----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Рекомендована швидкість руху V_p , км/год | 40 | 40 | 50 | 60 | 90 | 90 | 90 |
| R , м | 50 | 100 | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 |
| T , с | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 |

При наявності вертикальних кривих та похилів більше ніж 20 % визначаються координати з інтервалом, який залежить від величини похилу та радіусу вертикальної кривої, для похилів менше 20 % він становить 4 с.

Таблиця 4 – Рекомендації по інтервалу часу при визначенні координат на вертикальних кривих

| | | | | | | | |
|------------------------------|-----|--------|--------|--------|----|----|----|
| Похил, % | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| Відстань між точками, м | 100 | 50-100 | 50-100 | 50-100 | 50 | 50 | 50 |
| Інтервал часу замірів GPS, с | 4 | 4 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Наступним етапом є визначення параметрів дороги за отриманими координатами та встановлення їх величини: радіус горизонтальних та вертикальних кривих, ширина проїзної частини, ширина узбіччя, висота насипу, глибина виїмки та поперечники. На основі вихідних даних (тривимірних координат) та розроблених методів визначаються радіус заокруглення в будь-якій точці на дорозі та вихідні дані для побудови просторової моделі місцевості і дороги.

Частота визначення координат на поперечниках залежить від радіуса горизонтальної кривої. Зі зменшенням радіуса на горизонтальних кривих частота замірів збільшується.

Таблиця 5 – Частота визначення координат на поперечниках

| | | | | | | | |
|-------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| R , м | 50 | 100 | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 |
| Відстань, м | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 100 |

Величина поперечника, відносно вісі дороги, залежить від місцевості:

- населені пункти – в межах червоної лінії;
- поза населеними пунктами – згідно СОУ 42.1-37641918-038:2016 «Паспорт автомобільної дороги».

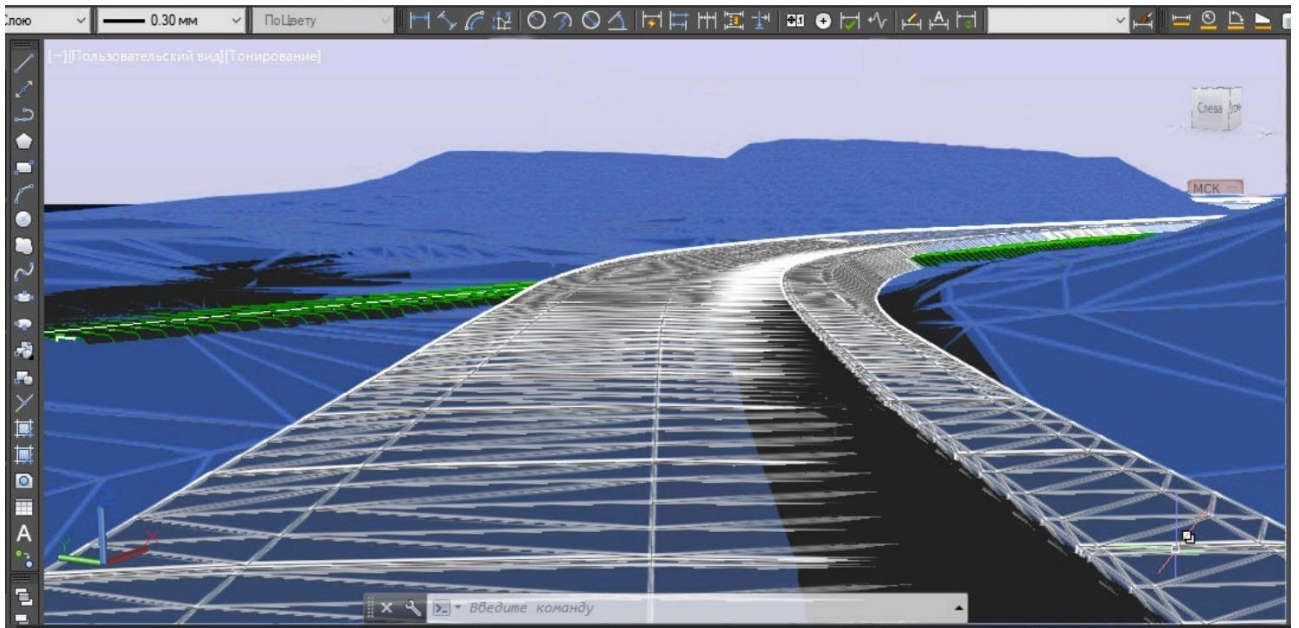


Рисунок 5 – Просторова модель дороги

Наступним етапом є розрахунок конуса видимості в просторі. Визначається рівняння прямих і кривих та похідна для встановлення напрямку вектору, що відповідає напрямку зору водія.

Після цього будується графік видимості, який показує відстань просторової видимості по всій довжині досліджуваної ділянки в будь-якій точці. Він дає змогу провести аналіз ділянки, визначити ділянки, де видимість не забезпечується та розробити заходи з покращення видимості.

Критерієм для аналізу видимості слугує коефіцієнт просторової видимості. Він становить відношення фактичної видимості до допустимої. Якщо коефіцієнт просторової видимості більше 1.0, то видимість є забезпеченою. При значенні менше 1.0 видимість є не забезпеченою. Залежно від отриманих коефіцієнтів видимості розроблені рекомендації по обмеженню швидкості руху до безпечної, що дасть можливість водієві вчасно помічати перешкоди.

На основі коефіцієнтів видимості розробляються заходи для покращення видимості та умов руху:

1. Обмеження швидкості руху в залежності від значень коефіцієнтів просторової видимості

Таблиця 6 – Обмеження швидкості руху в залежності від значень коефіцієнтів просторової видимості

| Коефіцієнт видимості | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Обмеження швидкості руху, км/год | 20 | 27 | 34 | 42 | 50 | 58 | 66 | 74 | 82 | 90 |

2. Якщо видимість погіршується за рахунок великого значення поздовжнього похилу, необхідно його зменшити і привести до допустимого для даної категорії дороги згідно з нормативами.

3. Очищення придорожньої смуги: зрізка дерев, кущів насипів, які обмежують видимість.

4. Спрямування траси. Прокладання ділянки автомобільної дороги по новій траєкторії. Збільшення радіусів заокруглення за рахунок зменшення кількості поворотів.

На основі дисертаційних досліджень запропоновано удосконалення методу визначення та аналіз просторової видимості і параметрів автомобільних доріг при оцінці умов та безпеки руху на мережі автомобільних доріг.

Результати дослідження впроваджено у навчальний процес Національного транспортного університету в навчально-методичних комплексах дисциплін «Вишукування та проектування автомобільних доріг» і «Будівництво та цивільна інженерія» за освітньою програмою «Автомобільні дороги, вулиці та дороги населених пунктів».

ВИСНОВКИ

У результаті дисертаційної роботи здійснено теоретичне узагальнення і нове вирішення науково-практичної задачі, що полягає в удосконаленні методу розрахунку просторової видимості та підвищення безпеки дорожнього руху.

Основними результатами дисертаційної роботи є:

1. Проведено детальний аналіз теоретичних та експериментальних досліджень відомих фахівців дорожньої галузі. Проведений аналіз існуючих методів визначення просторової видимості та параметрів на ділянках автомобільних доріг та виявлено їх недоліки. В сучасних умовах видимість визначається лише в одній площині: або плані, або профілі. Такі методи аналізу не можуть забезпечити достовірних результатів на складних ділянках, де має місце одночасне поєднання горизонтальних та вертикальних елементів. Для визначення геометричних елементів (радіусів заокруглення) на ділянках автомобільних доріг використовуються методи, які не враховують поступову зміну радіуса на перехідних кривих. Ці методи можна використовувати лише для визначення радіуса заокруглення на колових кривих.

2. Удосконалено методи розрахунку параметрів автомобільної дороги на основі геодезичних координат з використанням супутникових технологій та технологій лазерного сканування місцевості. Запропоновано удосконалений метод визначення радіусів горизонтальних кривих, як колових, так і змінного радіуса за допомогою геодезичних координат. Для визначення радіусів та похилів в поздовжньому профілі запропоновано метод «перевищень».

Удосконалені методи визначення радіусів заокруглення на автомобільних дорогах дозволили врахувати поступову зміну радіуса на перехідних кривих.

3. Удосконалено метод визначення просторової видимості з обґрунтуванням напрямку конуса зору водія та видимості. Метод «конусів» ґрунтується на розподіленні концентрованого зору водія. Просторовий вектор в будь-якій точці дороги буде вказувати на напрямок зору водія, а стінки конуса обмежують ділянку концентрованого зору водія. Згідно з дослідженнями розподілення зору водія обома очима прийнято в основі конуса еліпс. Удосконалений метод дозволяє визначити видимість в будь-якій точці на основі

просторових координат без додаткових інструментальних замірів, що в свою чергу дозволяє проводити всі розрахунки в камеральних умовах на основі одноразової зйомки координат на місцевості, що зменшує загальну вартість робіт на 30-40%.

4. Розроблено практичні рекомендації розрахунку просторової видимості на основі графіків коефіцієнтів просторової видимості. Проведені дослідження дозволили удосконалити урахування впливу радіусів горизонтальних, вертикальних кривих та поздовжніх похилів на дальність просторової видимості. На основі дослідження дороги виявлені ділянки з обмеженою просторовою видимістю з ПК 1+40 до ПК 3+50 та ПК 4+70 до ПК 6+40. Ці ділянки характеризуються малими радіусами горизонтальних кривих. Детальний аналіз цих ділянок з побудовою графіків коефіцієнтів просторової видимості в прямому та зворотному напрямках дозволив прийняти оптимальне рішення по покращенню просторової видимості. Встановлено що просторова видимість на першій ділянці складає 30 %, на другій ділянці 34 % від нормативної, що обумовлено наявністю підпорної стіни та зелених насаджень.

Розроблені рекомендації дають можливість планувати заходи для підвищення видимості в плані та профілі, бічної та трикутника видимості на перехрещеннях та примиканнях.

Вперше введено поняття «коефіцієнт просторової видимості», який дає змогу швидко і точно визначити проблемні ділянки автомобільної дороги, де видимість є незабезпеченою. Якщо коефіцієнт має значення менше 1.0, видимість є незабезпеченою і на даній ділянці необхідно прийняти заходи з покращення видимості. Це дало змогу зменшити собівартість робіт на 25%.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:

1. Савчук С. А. Обеспечение пространственной видимости на автомобильных дорогах. *Modern management review*, 2016, № 23. С. 45-60.

Статті у наукових фахових виданнях:

2. Савчук С. О., Пальчик А. М. Використання GPS технологій при вишукуванні та паспортизації автомобільних доріг. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво* : науково-технічний збірник. 2013. Вип. 90. С. 12-19.

3. Савчук С. О. Визначення просторової видимості на автомобільних дорогах. *Вісник Національного транспортного університету* : науково-технічний збірник. 2017. Вип. 1(37). С. 358-362.

4. Бець С. О. Розробка методів визначення параметрів кривих змінного радіуса при паспортизації автомобільних доріг. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво* : науково-технічний збірник. 2018. Вип. 104. С. 24-30.

5. Бець С. О. Analysis of spatial visibility on the roads on the basis of visibility coefficients. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво* : наук.-техн. збірник. Київ. 2019. Вип. 105. С. 28-34.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

6. Савчук С. О., Пальчик А. М. Використання GPS технологій при вишукуванні та паспортизації автомобільних доріг. *Сучасні геоінформаційні технології при підготовці фахівців дорожньої галузі* : тези доповідей міжнародного науково-технічного семінару. Х. : ХНАДУ, 2015.

7. Савчук С. О., Додух К. М. Пропускна здатність перехрещень автомобільних доріг в одному рівні. *Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету* : тези доповідей. К. : НТУ, 2011. №67. С. 133.

8. Савчук С. О., Пальчик А. М. Вплив видимості на швидкість руху транспортних засобів. *Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету* : тези доповідей. К. : НТУ, 2017. № 73. С. 196.

9. Савчук С. О., Пальчик А. М. Перспективи впровадження в Україні підземних та багаторівневих парковок. *Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету* : тези доповідей. К. : НТУ, 2012. № 68. С. 166.

10. Савчук С. О., Пальчик А. М., Соколенко Т. В. Підготовка даних для вишукування та паспортизації автомобільних доріг. *Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету* : тези доповідей. К. : НТУ, 2015. № 71. С. 203.

11. Савчук С. О., Полянська А. В., Ситник Є. В. Визначення геометричних елементів автомобільної дороги. *Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету* : тези доповідей. К. : НТУ, 2017. № 73. С. 197.

12. Савчук С. О., Соколенко Т. В., Фірова А. О. Застосування даних GPS при вишукуванні та паспортизації автомобільних доріг. *Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету* : тези доповідей. К. : НТУ, 2015. №71. С. 203.

13. Савчук С. О., Фірова А. О., Соколенко Т. В. GPS технології при паспортизації автомобільних доріг. *Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету* : тези доповідей. К. : НТУ, 2015. №71. С. 203.

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

14. Савчук С. А., Совершенствование методов определения параметров автомобильной дороги в плане и профиле. *Автомобильные дороги и мосты*. 2016. №2. С. 95-98.

15. Савчук С. О., Соколенко Т. В. Застосування супутникових геодезичних карт при вишукуванні та паспортизації автомобільних доріг. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво* : науково-технічний збірник. 2015. Вип. 93. С. 26-38.

АНОТАЦІЯ

Бець С.О. Удосконалення методу розрахунку просторової видимості на автомобільних дорогах. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.11 «Автомобільні шляхи та аеродроми». (192 – Будівництво та цивільна інженерія). – Національний транспортний університет, Київ, 2021.

В сучасних умовах збільшення інтенсивності та швидкості руху автомобілів вимагає необхідність проводити аналіз та створювати умови для забезпечення достатньої дальності видимості для безпечного та комфортного руху по автомобільним дорогам.

Забезпечена видимість на автомобільних дорогах є найважливішим показником її транспортно-експлуатаційних якостей та безпеки руху. Для безпеки руху на дорозі водій повинен бачити перед собою ділянку достатньої довжини, з тим щоб, побачивши перешкоду, вжити заходи по своєчасному гальмуванню. Існуючі методи оцінки видимості базуються на представленні дороги в двох окремих площинах, горизонтальній та вертикальній. Це обмежує можливість отримання достовірних значень реальної видимості.

Проведений аналіз існуючих методів визначення видимості та основних параметрів автомобільних доріг в ході дисертаційного дослідження показав їх не досконалість для вирішення поставленої задачі. Видимість розглядається окремо в двох площинах (в плані та профілі), що не враховує одночасну комбінацію горизонтальних та вертикальних елементів дороги. Такий підхід не може забезпечити достатньої точності при визначенні дальності просторової видимості.

В роботі виконано удосконалення методів розрахунку параметрів автомобільної дороги на основі координат, який враховує радіус заокруглення в будь-якій точці. Удосконалений метод «конусів» для оцінки просторової видимості, який на основі аналізу елементів дороги в просторі, дозволяє проводити оцінку видимості і розробляти заходи по покращенню видимості та підвищенню безпеки руху в просторі, плані та профілі.

Ключові слова: автомобільна дорога, безпека руху, вертикальна крива, видимість, геометричні параметри, горизонтальна крива, оцінка видимості, поздовжній похил, просторова видимість.

АНОТАЦІЯ

Бець С. А. Усовершенствование метода расчета пространственной видимости на автомобильных дорогах. – Квалификационный научный труд на условия рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.11 «Автомобильные дороги и аэродромы». (192 –

Строительство и гражданская инженерия). – Национальный транспортный университет, Киев, 2021.

В современных условиях увеличение интенсивности и скорости движения автомобилей требует необходимости проводить анализ и создавать условия для обеспечения достаточной дальности видимости для безопасного и комфортного движения по автомобильным дорогам.

Обеспеченная видимость на автомобильных дорогах является важнейшим показателем ее транспортно-эксплуатационных качеств и безопасности движения. Для безопасности движения на дороге водитель должен видеть перед собой участок достаточной длины, с тем чтобы, увидев препятствие, принять меры по своевременному торможению. Существующие методы оценки видимости базируются на представлении дороги в двух отдельных плоскостях, горизонтальной и вертикальной. Это ограничивает возможность получения достоверных значений реальной видимости.

Проведенный анализ существующих методов определения видимости и основных параметров автомобильных дорог в ходе диссертационного исследования показал их несовершенство для решения поставленной задачи. Видимость рассматривается отдельно в двух плоскостях (в плане и профиле), не учитывает одновременную комбинацию горизонтальных и вертикальных элементов. Такой подход не может обеспечить достаточной точности при определении дальности видимости.

В работе выполнено совершенствование методов расчета параметров автомобильной дороги на основе координат, учитывающий радиус закругления в любой точке. Усовершенствованный метод «конусов» для оценки пространственной видимости, который на основе анализа элементов дороги в пространстве, позволяет проводить оценку видимости и разрабатывать мероприятия по улучшению видимости и повышению безопасности движения в пространстве, плане и профиле.

Ключевые слова: автомобильная дорога, безопасность движения, вертикальная кривая, видимость, геометрические параметры, горизонтальная кривая, оценка видимости, продольный уклон, пространственная видимость.

ABSTRACT

Bets S. A. Improvement of the method for calculating spatial visibility on the roads. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The thesis for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.22.11 "roads and airports" – National Transport University, Kyiv, 2021.

In modern conditions increase the intensity and speed of the car requires the need to analyze and create conditions for a sufficient distance visibility for safe and comfortable movement on roads.

Ensured visibility on highways is the most important indicator of its transport and operational qualities and traffic safety. For road safety, the driver must see a section of sufficient length in front of him so that, seeing an obstacle, he can take measures to

brake in a timely manner. Existing visibility assessment methods are based on the representation of the route in two separate planes, horizontal and vertical. This limits the ability to obtain reliable real visibility values.

The analysis of the existing methods of determining the visibility and basic parameters of roads in the course of the dissertation research showed their imperfection to solve the problem. Visibility is considered separately in two planes (in plan and profile), which does not take into account the simultaneous combination of horizontal and vertical elements. This approach cannot provide sufficient accuracy in determining the range of visibility.

The paper improves the methods of calculating the parameters of the highway on the basis of coordinates, which takes into account the radius of curvature at any point. The advanced method of "cones" for the assessment of spatial visibility, which, based on the analysis of the elements of the route in space, allows to assess the visibility and develop measures to improve visibility and increase safety in space, plan and profile.

Keywords: road, traffic safety, vertical curve, visibility, geometric parameters, horizontal curve, longitudinal slope, visibility estimation, spatial visibility.