



Получена: 03.10.2020 г.

Приета: 13.10.2020 г.

ТЕНДЕНЦИИ ПРИ ВЕРТИКАЛНИТЕ ТРАСИРОВЪЧНИ ЕЛЕМЕНТИ НА ВРЪЗКИТЕ НА ПЪТНИТЕ И УЛИЧНИТЕ ВЪЗЛИ НА РАЗЛИЧНО НИВО

Д. Мартинов¹

Ключови думи: скорост, надлъжен наклон, радиус на вертикална крива, пътни възли, улични възли, пътна безопасност

РЕЗЮМЕ

В публикацията са разгледани вертикалните трасировъчни елементи при връзките на пътните и уличните възли на различно ниво – надлъжен наклон и радиус на вертикална крива. Разгледани са техните нормативни ограничения, както и тенденциите на промяна в стойностите им, приложени в различни нормативни документи и в различните етапи от тяхното издаване. Ще разгледаме какъв е логично да бъде критерият за тяхното избиране, както и до каква степен новите нормативни стойности кореспондират с него. Всичко това ще покаже дали се движим в посока към по-добра пътна безопасност.

Въведение

Разглежданите вертикални елементи са максимално допустимите надлъжни наклони и минималните радиуси на изпъкналите и вдлъбнатите вертикални криви. Съпоставянето на различните техни стойности и тенденциите, които се наблюдават, ще бъдат анализирани по отделно в следващите точки от настоящия текст.

¹ Димитър Мартинов, гл. ас. д-р инж., кат. „Пътища и транспортни съоръжения“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: martinov@mail.com

1. Максимално допустими надлъжни наклони

Връзките при пътните и уличните възли се проектират за различни скорости за движение по тях, като най-високата е 80 km/h. За открит път и за същата скорост, максимално допустимият наклон по последни промени в нормите у нас [2] е 6,5% (дълъг период от време и в много нормативи беше 6%). Т.е. имат се предвид различните посоки на движение $\pm 6,5\%$, или от $-6,5\%$ при слизване до $+6,5\%$ при качване. В този порядък са и ограниченията за максимално допустимите надлъжни наклони при връзките на пътните и уличните възли. Тук обаче се наблюдават различни стойности при слизване и качване, разлика, която идва от по-различните критерии за определяне на максималните наклони от този в открит път. При открит път основен критерий е оптимизирането на сумарните разходи, тези за строителството и тези от експлоатацията на отсечката (Методологията е описана подробно в учебника „Проектиране на пътища“ на Димитър Сотиров) [8]. Като допълнителен критерий за определяне на максимално допустимите надлъжни наклони при пътните и уличните възли, от този в открит път се явява дължината за спиране пред препятствие. Това е от голямо значение, особено при входовете на пътните възли, там, където се осъществява вливането на транспортните потоци. На тези места трябва да има пълен контрол над скоростта и точното определяне на момента за вливане. Всеки елемент, който косвено може да повлияе отрицателно на този контрол, влошава рязко безопасността на движение по връзките. Да си представим, че имаме максимално допустим наклон в посока слизване, разположен в близост при входовете от възела. Това означава, че съпротивлението от движение по наклона на автомобила всъщност действа като теглителна сила. Т.е. противодейства на спирачното усилие и удължава спирачния път, което е видно и от следващата формула за определяне на оразмерителния спирачен път. Формулата е фундаментална и идва от пътнодинамически модел за определяне на спирачния път по опростен метод [8].

$$S_{\text{сп.ораз}} = \frac{V_{\text{пр}}}{3,6} t_p + \frac{V_{\text{пр}}^2}{254(\varphi_x + f \pm i)} + l_c, \quad (1)$$

където $S_{\text{сп.ораз}}$ е оразмерителен спирачен път в [m];

$V_{\text{пр}}$ – проектната скорост на движение в [km/h];

t_p – време за реакция [s];

φ_x – коефициент за надлъжно сцепление;

f – коефициент от триене при търкаляне;

i – надлъжен наклон [%/100];

l_c – разстояние за сигурност, приема се от 5 до 10 [m].

В открит път ще има възможност да спрем пред препятствие, но при пътните възли има опасност от ненавременно коригиране на скоростта и опасност за движението. За разлика от форсираното и пълно спиране, където спираме до скорост 0 km/h, при намаляване на скоростта, $V_{\text{пр}}$ може да се представи като разлика между две скорости, началната и крайната в етапа на намаляването на скоростта. Т.е. в числителя на горната формула ще се яви по-малко число и то ще доведе до съвсем различен резултат в зависимост от различните комбинации за крайна скорост. Ето защо се налага при пътнo-динамичните модели, за някои от елементите при връзките на пътните възли да се подхожда мал-

ко по-различно от тези за открит път. Тук се въвеждат различни стойности на параметрите в моделите, такива като време за реакция и коефициенти за сигурност при сцеплението, по което се определя разстоянието за спиране и намаляване на скоростта. Това показва защо в нормативните документи, за допустимите надлъжни наклони при възлите, слизането е фиксирано с по-строги изисквания от качването. За повечето норми разликата е 1%.

Друго, което прави впечатление, е директното ограничаване на максималния надлъжен наклон, без да се има предвид скоростта на движение по връзката. Това е в полза не само на сигурността, но и на експлоатационните стойности, които се генерират във възела. Да се има предвид, че ограничението е за скорости във връзките от 80 km/h, но има и такива с по-ниски скорости, та дори и 30 km/h. Споменатото ограничение на максималния надлъжен наклон, което е представено директно със стойности и независеща от скоростта във връзката на възела, идва най-вече от факта, че трябва да се внимава и с косият наклон по връзките. При хоризонталните криви по пътищата, косия наклон е ограничен до максимум 10%. Същият има опасност да се достигне при големите позволени при пътищата напречни наклони от 7% в комбинация от големи надлъжни наклони. Тази комбинация се получава обикновено при ниските класове пътища, където движението се извършва с малки скорости и не се държи много на комфорта на движение. При прекомерно големи коси наклони има опасност освен от влошаване на комфорта при движение, но и от загуба на сцепление. При пътните възли, където основно се работи със стойности на хоризонталните криви, близки до минималните, особено при индиректните връзки, където целта е икономия на пространство, се получава необходимост от напречен наклон в повечето от случаите 6%. Да не забравяме, че пътни възли се организират обикновено при пътищата от по-висок клас, където комфортът и безопасността на движение трябва да са от особено значение. Това означава, че трябва да се ограничи общият или още наречен резултантен наклон, в случая това е косият наклон, до определени стойности. В повечето страни максималните негови стойности са 9%. Като се има всичко това предвид, а също и формулата, по която се получава той:

$$q_{\text{кос}} = \sqrt{i^2 + q_{\text{кр}}^2} \leq 9, \quad (2)$$

където $q_{\text{кос}}$ е косият наклон в хоризонталната крива в [%];

$q_{\text{кр}}$ – напречният наклон в хоризонталната крива;

i – надлъжният наклон в хоризонталната крива,

се вижда, че максималните стойности на надлъжния наклон могат да се изразят, като за тях се получава следното:

$$i \leq \sqrt{9^2 - q_{\text{кр}}^2}, \quad [\%] \rightarrow$$

$$i \leq \sqrt{9^2 - 6^2} = \sqrt{45} = 6,708\%. \quad (3)$$

Полученият по този начин максимален надлъжен наклон се доближава най-много до този за проектна скорост от 80 km/h. При евентуално допускане на по-голям надлъжен наклон във връзката, съобразно нейната проектна скорост, ще се получи по-голям от ограничения вече с 9% кос наклон. Ето защо при връзките на пътните възли, ограничението на надлъжния наклон е фиксиран със стойности, близки до тези за 80 km/h. Стойностите на надлъжния наклон даже са занижени допълнително поради това, че спирането ще се извършва в по-голямата си част по косия наклон, който винаги е по-голям,

а това ще доведе до по-големи разстояния за спиране. С други думи, при слизване е необходимо по-голямо разстояние за спиране от това при качване. А причината за това, надлъжните наклони за I клас пътни възли да са по-ниски от тези за II клас с по 1%, е именно възможността за неголямо увеличение на спирачния път при спускане, както и увеличаване на комфорта, отразен чрез косия наклон, а оттам и до повишаване на безопасността на движение при по-натоварените транспортни потоци.

Тенденцията, която се забелязва в нормативните документи от различни етапи във времето, е слабо увеличаване на максимално допустимите надлъжни наклони. Тези стойности не могат да нарастват неограничено, а да достигнат евентуално стойностите, характерни за открит път. Друга тенденция е, че при уличните възли са допуснати стойности с около 1% повече от тези при пътните възли. Но тук скоростите за движение при възлите са малко по-ниски. Освен това се търси и по-стегнато решение предвид градската среда и площните ограничения в нея. Разхищението на площи, което е и в резултат от надлъжните наклони, най-често води в посока към драстично оскъпяване на цялото транспортно съоръжение.

2. Минимално допустими радиуси на изпъкнали вертикални криви

Критерият за минимално допустимите радиуси на изпъкналите вертикални криви при връзките на възлите е като при открит път – видимост при спиране пред препятствие. Връзката е дадена към приложенията на нормативните документи чрез следващата формула.

$$\min R_{\text{изп}} \approx \frac{L_{\text{сп}}^2}{2(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}, \text{ [m]}, \quad (2)$$

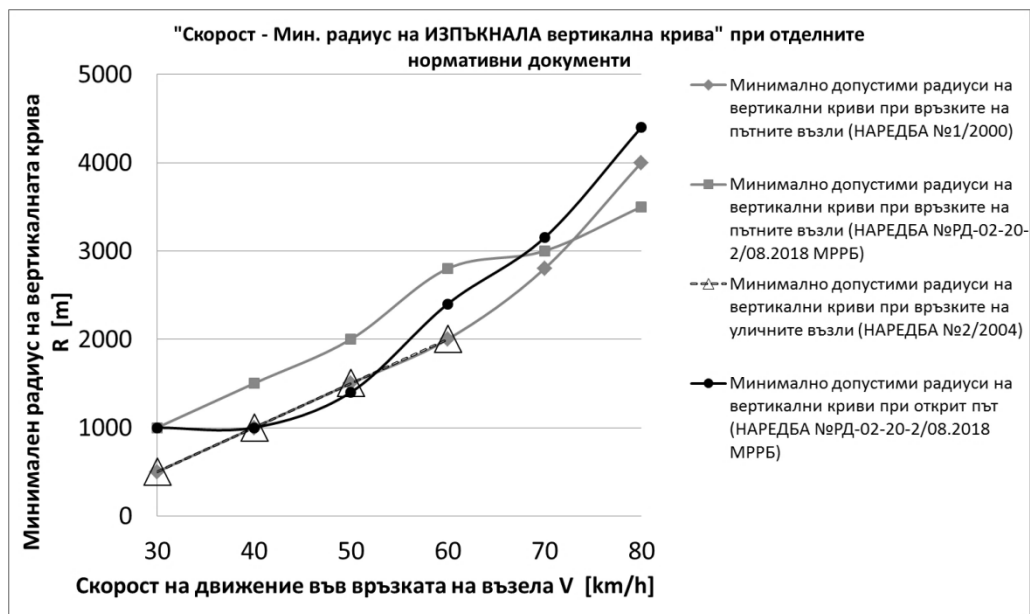
където $L_{\text{сп}}$ е минималното необходимо разстояние на видимост за спиране пред препятствие, [m];

h_1 – височината на погледа на водача [m] – приема се 1 m;

h_2 – височината на препятствието върху пътя [m] – отчита се от таблица в нормите, като до 60 km/h е 0 m, за 70 km/h е 0,05 m, за 80 km/h е 0,15 m.

Минималните радиуси при изпъкналите вертикални криви зависят от дължината на спиране пред препятствие, която пък е като функция, зависеща в най-голяма степен от скоростта на движение. Връзката „скорост – минимален радиус на изпъкнала вертикална крива“ за пътни и улични възли може да се наблюдава в следващата фигура (фиг. 1) и то за различни нормативни документи [1 ÷ 3]. На фигурата се вижда същата крива, но за открит път [2], това е пълтната черна линия с точки във вид на окръжност. Забелязва се, че при старите нормативи [1], както и тези, третиращи уличните възли [3] има обща тенденция, както и близки стойности. Единствената по-съществена разлика от тези за новите норми [2] и то за открит път е при 30 km/h, където разминаването в стойността за минимален радиус е 500 m. Тук трябва да бъде отбелязан и фактът, че всичките стойности са приети чрез закръгляне, далеч над теоретично получената чрез горната формула и графиката за определяне на разстоянието за спиране пред препятствие спрямо скоростта. Новите ограничения за пътните възли, тези в наредба № РД-02-20-2/08, 2018 г. [2] са по строги, т.е. минималните стойности са по-високи. Но това е така до 70 km/h, където кри-

вите се пресичат, и след тази скорост новият документ [2] дава по-ниски стойности за радиус на вертикалната крива. За отбелязване е фактът, че за 80 km/h стойностите са съвсем близки до тези от теоретичния модел, представен чрез горната формула.



Фиг. 1. Съпоставяне на връзката „Скорост – Минимален радиус на ИЗПЪКНАЛА вертикална крива” при отделните нормативни документи

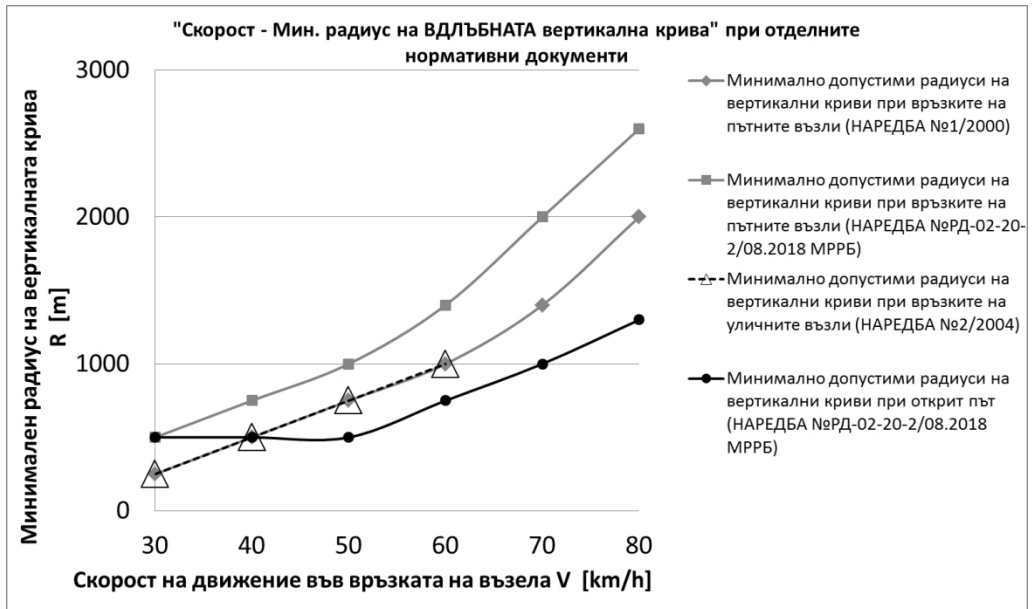
Условията за движение по връзките на пътните възли са както в открит път и би било по-редно и логично стойностите за минималните радиуси при изпъкналите вертикални криви да са същите като тези за открит път. Но като основен извод след направеното сравнение може да се отбележи, че като цяло се наблюдава покачване на минималните стойности за радиуси при изпъкналите вертикални криви. Това несъмнено ще доведе до подобряване на пътната безопасност при движение по възлите.

3. Минимално допустими радиуси на вдлъбнати вертикални криви

Критерият за минимално допустимите радиуси на вдлъбнати вертикални криви при връзките на възлите е като при открит път – видимост при спиране пред препятствие.

Минималните радиуси при вдлъбнатите вертикални криви зависят от скоростта и връзката може да бъде видяна на следващата графика. Ясно се забелязва тенденция към покачване на минималните стойности за радиуса при всяка една от скоростите. Още нещо, дори стойностите са по-строги от тези за открит път. В открит път критерият за минималния радиус на вдлъбнатите вертикални криви е категорично видимост. Има се предвид видимостта нощно време, когато се вижда осветена зона от фаровете на автомобилите. За всичко това има схеми и стойности към приложенията на нормативните документи. Друг критерий който не е меродавен при пътищата, и по-специално за открит път, е непретоварването на автомобила с повече от 5% от теглото му. Центробежната

сила, явяваща се при движение на автомобила във вертикалната, крива се контролира да е под 5% от теглото на средно статистически автомобил [8]. Този критерий е в пъти по-свободен от видимостта нощно време. При движението в пътните възли, където тенденцията е поставянето на осветление, критерият за видимост би трябвало да не е меродавен. Т.е. общата тенденция за развитие на стойностите на минималните радиуси за вдлъбнати вертикални криви даже трябва да е в обратната посока от наблюдаваната в следващата фигура. Като доказателство за последното може да се разгледа Чл. 109, ал. (12) от „Наредба № РД-02-20-2/08.2018 МРРБ” [2], която гласи: „За подобряване разпознаваемостта и безопасността на движението през тъмната част на денонощието пътните възли на автомагистралите и скоростните пътища са осветени, а за останалите републикански пътища пътните възли и кръстовища могат да бъдат осветени след необходимата обосновка”.



Фиг. 2. Съпоставяне на връзката „Скорост – Минимален радиус на ВДЛЪБНАТА вертикална крива” при отделните нормативни документи

Изводът от направеното изследване показва, че минималните стойности на радиусите на вдлъбнатите вертикални криви при връзките на възлите са се повишили, въпреки тенденцията за осветяване на възлите. Това несъмнено ще доведе до подобряване на пътната безопасност при движение по възлите.

ЛИТЕРАТУРА

1. Наредба № 1/2000 и норми за проектиране на автомобилни пътища. МРРБ, май 2000 г.
2. Наредба № 02-20-2 за проектиране на пътища. МРРБ, август 2018 г.
3. Наредба № 2/2004 за планиране и проектиране на комуникационно-транспортни системи на урбанизираните територии. МРРБ, юни 2004 г.

4. Наредба № 02-20-2 за планиране и проектиране на комуникационно-транспортната система на урбанизираните територии. МРРБ, декември 2017 г.
5. RAS-L – Richtlinie für die Anlage von Straßen, Ausgabe 1995.
6. RAL – Richtlinie für die Anlage von Landstraßen, Ausgabe 2012.
7. RAA – Richtlinien für die Anlage von Autobahnen, Ausgabe 2008.
8. *Сотиров, Д.* Проектиране на пътища. Техника, 1983.

TRENDS IN THE VERTICAL TRACING ELEMENTS ON THE CONNECTIONS OF ROAD AND STREET JUNCTIONS AT DIFFERENT LEVELS

D. Martinov¹

Keywords: *speed, longitudinal slope, radius of vertical curve, road junctions, street junctions, road safety*

ABSTRACT

The paper examines the vertical tracing elements at the connections of road and street junctions at different levels – longitudinal slope and radius of a vertical curve. Their normative limitations are considered, as well as the tendencies of change in their values, applied in different normative documents and in the different stages of their issuance. The logical criterion for their selection as well as the extent to which the new normative values correspond to it are analyzed. All this will show whether we are moving towards better road safety.

¹ Dimitar Martinov, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. "Road Construction and Transport Facilities", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: martinov@mail.com