

ВИШУКУВАННЯ, ПРОЕКТУВАННЯ ДОРІГ ТА ПЕРЕХОДІВ ЧЕРЕЗ ВОДОТОКИ

УДК 625.72

Пальчик А.М., канд.техн.наук, Олійник М.О., канд.техн.наук

ПРОЕКТУВАННЯ ЧЕРВОНОЇ ЛІНІЇ ПОЗДОВЖНЬОГО ПРОФІЛЮ КРИВИМИ ЗМІННОГО РАДІУСА ДОРОЖНІХ РОЗВ'ЯЗОК В РІЗНИХ РІВНЯХ

Анотація. В даній роботі запропоновано метод проектування червоної лінії поздовжнього профілю автомобільних доріг кривими змінного радіуса дорожніх розв'язок в різних рівнях. Приведено числовий метод проектування визначення координат кривих змінного радіуса в залежності від радіуса та довжини кривої змінного радіуса, також при врахуванні розрахункової швидкості та значення відцентрового прискорення. Запропонований метод проектування червоної лінії поздовжнього профілю кривими змінного радіуса підвищує безпеку руху, зниження об'ємів земляних робіт та підвищення середньої швидкості руху транспортного потоку на з'їздах дорожніх розв'язок в різних рівнях.

Ключові слова: червона лінія поздовжнього профілю автомобільних доріг, криві змінного радіуса.

Аннотация. В данной работе предложен метод проектирования красной линии продольного профиля автомобильных дорог кривыми переменного радиуса дорожных развязок в разных уровнях. Приведен численный метод проектирования определения координат кривых переменного радиуса в зависимости от радиуса и длины кривой переменного радиуса, также при учете расчетной скорости и значения центробежного ускорения. Предложенный метод проектирования красной линии продольного профиля кривыми переменного радиуса повышает безопасность движения, снижает объемы

земляных работ и повышает среднюю скорости движения транспортного потока на съездах дорожных развязок в разных уровнях.

Ключевые слова: красная линия продольного профиля автомобильной дороги, кривые переменного радиуса.

Annotation. In this work the method of the red line of the longitudinal profile of road traffic variable radius curves us solutions in different levels. The numerical method of determining the coordinates of variable radius curves depending on the length of the curve radius and variable radius, also taking into account the estimated value of speed and centrifugal speedup. The proposed method of the red line of the longitudinal profile curves of varying radius enhances safety by reducing volumes of excavation and increase the average speed of traffic road junction at different levels.

Keywords: red line of longitudinal profile of roads, changing-radius curves/

Існуючі методи проектування червоної лінії поздовжнього профілю не завжди дозволяють запроекувати її через контрольну точку або витримати керуючу відмітку. Щоб запроекувати червону лінію на переломах прямих ліній і витримати керуючу відмітку, необхідно або змінити мінімальний радіус вертикальної кривої або змінити похили прямих, що неможливе через обмеження мінімально допустимих радіусів, максимально допустимих похилів та збільшення об'ємів земляних робіт. Застосування кривих змінного радіуса дозволить зменшити об'єми земляних робіт при будівництві автомобільних доріг та дорожніх розв'язок в різних рівнях та зменшити товщину дорожнього одягу при реконструкції доріг, не зменшуючи швидкості та безпеку руху. Запропонований метод проектування червоної лінії поздовжнього профілю кривими змінного радіуса рекомендований для використання у проектних роботах по реконструкції автомобільних доріг, проектування дорожніх розв'язок в різних рівнях, при розробці проектів нового будівництва автомобільних доріг у пересіченій місцевості та гірських умовах для зменшення обсягів земляних робіт при новому будівництві та максимального використання існуючого дорожнього одягу при реконструкції доріг.

Такі криві змінного радіуса як лемніската, клотоїда та кубічна парабола можна використовувати при проектуванні червоної лінії поздовжнього профілю, але в певних межах для кожної кривої.

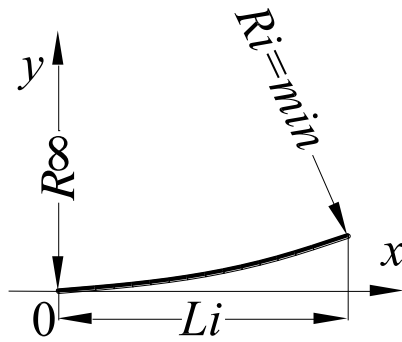


Рис. 1. Графік кривої змінного радіуса на певній ділянці L_i

З графіку кривої змінного радіуса видно, що на певному відрізку L_i , радіус кривої змінюється від нескінченності до певного необхідного радіуса.

В програмних комплексах при проектуванні червоної лінії застосовують частину параболи з незначною зміною радіуса. При зміні радіуса від нескінченності до мінімального значення – парабола не застосовується.

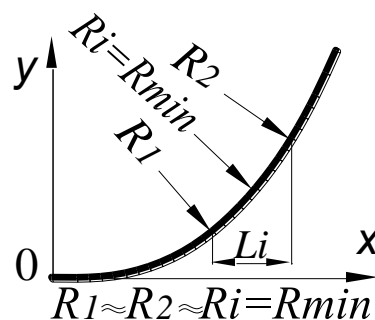


Рис. 2. Графік параболи на певній ділянці L_i

З графіку параболи видно, що на певному відрізку L_i , радіус параболи змінюється від R_1 до R_2 . Враховуючи що зміна радіуса параболи незначна і тому R_1 та R_2 приблизно рівні ($R_1 = R_2 = R_i = R_{min}$). Також, враховуючи те що R_1 та R_2 приблизно однакові, в програмних комплексах при проектуванні червоної лінії поздовжнього профілю параболами, приймають розрахунок як для колових кривих.

Проведений аналіз показав, що на певній ділянці від 0 до 400м (по осі абсцис x), що довжини кривих, кінцеві радіуси та ордината « y » практично співпадають: $R = 896$ м для клотоїди, $R = 897$ м для лемніскати, $R = 898$ м для кубічної параболи, що показано на рис 3.

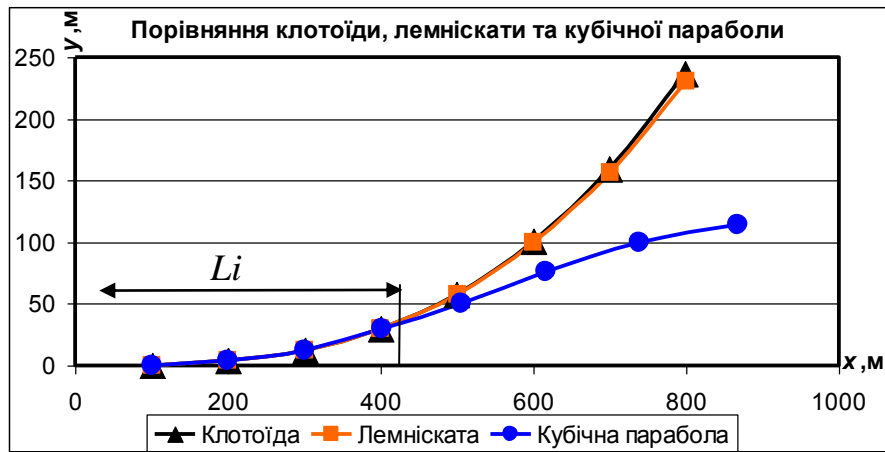


Рис. 3. Графік клотоїди, лемніскати та кубічної параболи: Li – ділянка, де координати «x» та «y» кривих співпадають

На відрізку, де криві співпадають, узагальнююче рівняння кривої змінного радіуса має вигляд:

$$y = 5 \times 10^{-7} \times x^3, \quad (1)$$

де y – координата «у»;

x – координата «х».

Для проектування червоної лінії поздовжнього профілю кривими змінного радіуса приведено рівняння кривої змінного радіуса до числових методів, що дозволяло б змінювати довжину, координати і радіус кривої (параметри кривої) та виведено рівняння кривої змінного радіуса, що характеризується коефіцієнтом n . Встановлено залежність коефіцієнта n від радіуса R , що характеризує зміну радіуса R від довжини та «у» ($R \neq \text{const}$, $L = \text{const}$, $y \neq \text{const}$) та виведене загальне рівняння кривої змінного радіуса, що пов'язує між собою довжину, координати і радіус кривої.

$$y = 0,161 \times \frac{x^2}{R}, \quad (2)$$

де y, x – поточні координати кривої;

R – радіус кривої змінного радіуса.

Користуючись змінного радіуса цим рівнянням кривої при визначеній довжині та радіусі, знаходимо координати кривої змінного радіуса, що дозволяє її застосування при проектуванні червоної лінії поздовжнього профілю.

Однак, при проектуванні червоної лінії дорожніх розв'язок в різних рівнях де радіуси приймаються менше прийнятих у роботі R(400 – 500) а мінімальні прийняті в роботі радіуси - R = 898м для кубічної параболи (R = 896м для клотоїди, R = 897м для лемніскати) ми виходимо за межі визначеного рівняння кривої змінного радіуса.

Тому, ми задаємося визначенням мінімальної довжини кривої змінного радіуса при значеннях радіусів вертикальних кривих, що приймаються при проектуванні червоної лінії дорожніх розв'язок в різних рівнях R(400-500). Також, задаємося при визначенням мінімальної довжини кривої змінного радіуса різними значеннями величини відцентрового прискорення, $a = (0.5, 0.75$ та $1.0) \text{ м/с}^2$.

Визначення мінімальної довжини кривої змінного радіуса при значеннях радіусів вертикальних кривих, що приймаються при проектуванні червоної лінії дорожніх розв'язок в різних рівнях R(400 – 500) при значенні величини відцентрового прискорення, $a = 1.0 \text{ м/с}^2$.

Таблиця 1 - Залежність довжини кривої змінного радіуса від розрахункової швидкості, величини радіусів та величини відцентрового прискорення $a = 1 \text{ м/с}^2$

V	150	140	120	110	100	90	80	60	50	30
R	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
400	180,84	147,03	92,59	71,32	53,58	39,06	27,43	11,57	6,70	1,45
450	160,75	130,70	82,30	63,40	47,63	34,72	24,39	10,29	5,95	1,29
500	144,68	117,63	74,07	57,06	42,87	31,25	21,95	9,26	5,36	1,16
550	131,52	106,93	67,34	51,87	38,97	28,41	19,95	8,42	4,87	1,05
600	120,56	98,02	61,73	47,55	35,72	26,04	18,29	7,72	4,47	0,96
650	111,29	90,48	56,98	43,89	32,97	24,04	16,88	7,12	4,12	0,89
700	103,34	84,02	52,91	40,75	30,62	22,32	15,68	6,61	3,83	0,83
750	96,45	78,42	49,38	38,04	28,58	20,83	14,63	6,17	3,57	0,77
800	90,42	73,52	46,30	35,66	26,79	19,53	13,72	5,79	3,35	0,72
850	85,10	69,19	43,57	33,56	25,22	18,38	12,91	5,45	3,15	0,68
900	80,38	65,35	41,15	31,70	23,81	17,36	12,19	5,14	2,98	0,64
950	76,15	61,91	38,99	30,03	22,56	16,45	11,55	4,87	2,82	0,61
1000	72,34	58,81	37,04	28,53	21,43	15,63	10,97	4,63	2,68	0,58

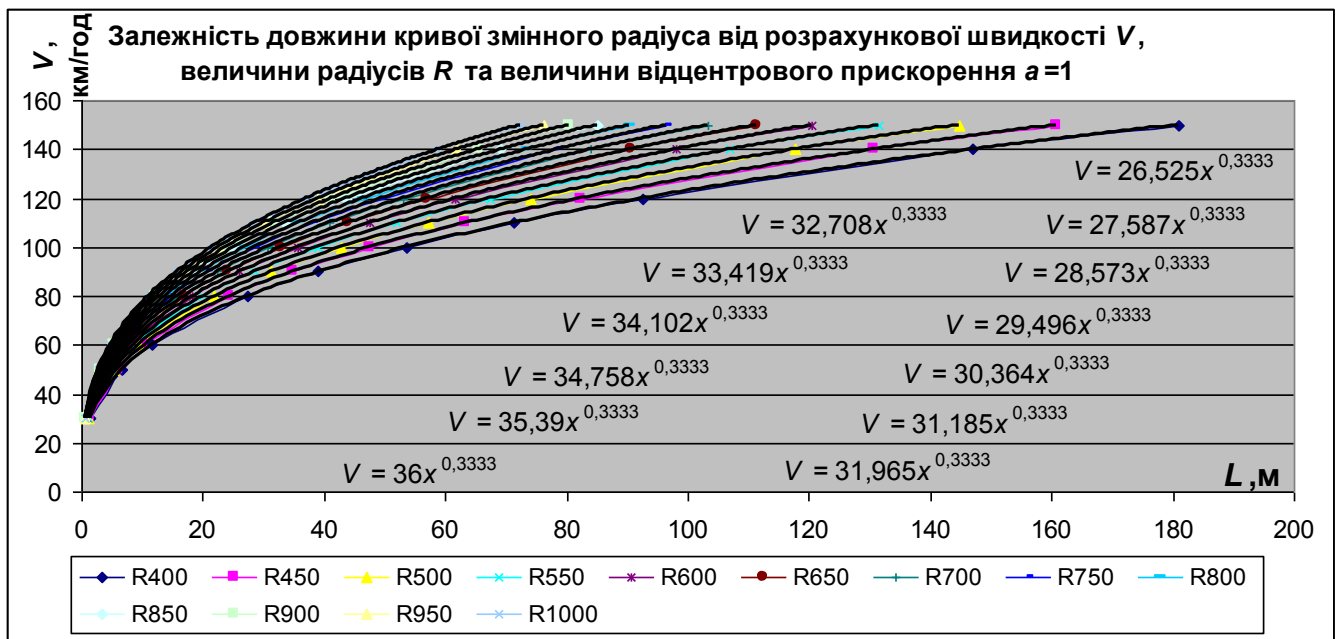


Рис. 4. Залежність довжини кривої змінного радіуса від розрахункової швидкості, величини радіусів та величини відцентрового прискорення $a = 1 \text{ м/с}^2$, із визначенням степеневої залежності, де: V – розрахункова величина швидкості, км/год; L – довжина кривої змінного радіуса, м

При визначенні залежності зміни довжини кривої змінного радіуса L , від розрахункової швидкості V , величини радіусів та величини відцентрового прискорення $a = 1 \text{ м/с}^2$, можна побачити що зі зміною розрахункової величини швидкості V змінюється L (довжина кривої змінного радіуса), що характеризується коефіцієнтом p . Зі зміною розрахункової величини швидкості V змінюється коефіцієнт p з певною залежністю:

$$V = p \times x^{0,333}, \quad x = L, \quad V = p \times L^{0,333}, \quad (3)$$

де p – коефіцієнт зведення, що пов'язує між собою R , L та V .

Таблиця 2 – Залежність коефіцієнта p від радіуса R

R	400	450	500	550	600	650	700
p	26,52	27,587	28,573	29,496	30,364	31,185	31,965
R	750	800	850	900	950	1000	
p	32,708	33,419	34,102	34,758	35,39	36	

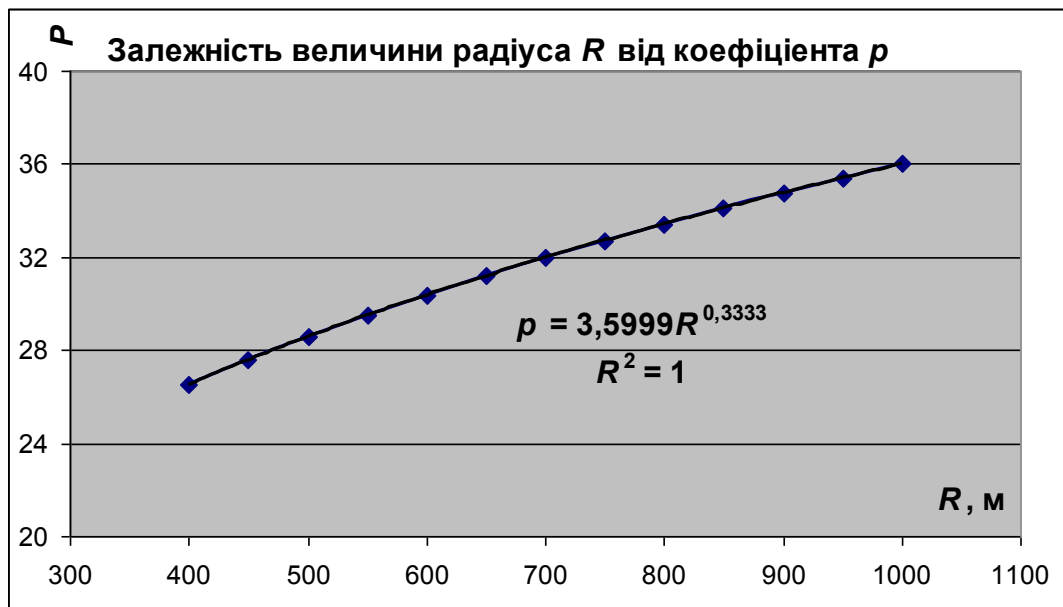


Рис. 5. Залежність коефіцієнта p від радіуса R , із визначенням степеневі залежності

Аналізуючи рис. 4, бачимо що рівняння має вигляд:

$$V = n \times L^{0.33}, \quad (4)$$

де p – коефіцієнт зведення, що пов'язує між собою R , L та V , аналізуючи рис. 5, маємо:

$$p = f(R), \quad (5)$$

$$p = 0,36 \times R^{0,333}. \quad (6)$$

Підставимо отримане значення p (6), у вираз (3):

$$L = 0.33 \sqrt[0.33]{\frac{V}{3.6 \times R^{0.33}}}. \quad (7)$$

Отримано рівняння з трьома невідомими (L , V та R), вирішення конкретної задачі при проектуванні повздожнього профілю, задаємося двома величинами з трьох.

Визначення мінімальної довжини кривої змінного радіуса при значеннях радіусів вертикальних кривих, що приймаються при проектуванні червоної лінії дорожніх розв'язок в різних рівнях $R(400 - 500)$ при значенні величини відцентрового прискорення, $a = 0.75 \text{ м/с}^2$.

Таблиця 3 – Залежність довжини кривої змінного радіуса від розрахункової швидкості, величини радіусів та величини відцентрового прискорення $a=0,75\text{м/с}^2$

<i>V</i>	150	140	120	110	100	90	80	60	50	30
<i>R</i>	<i>L</i>	<i>L</i>	<i>L</i>	<i>L</i>	<i>L</i>	<i>L</i>	<i>L</i>	<i>L</i>	<i>L</i>	<i>L</i>
400	241,13	196,04	123,46	95,09	71,44	52,08	36,58	15,43	8,93	1,93
450	214,33	174,26	109,74	84,53	63,51	46,30	32,52	13,72	7,94	1,71
500	192,90	156,84	98,77	76,07	57,16	41,67	29,26	12,35	7,14	1,54
550	175,36	142,58	89,79	69,16	51,96	37,88	26,60	11,22	6,49	1,40
600	160,75	130,70	82,30	63,40	47,63	34,72	24,39	10,29	5,95	1,29
650	148,39	120,64	75,97	58,52	43,97	32,05	22,51	9,50	5,50	1,19
700	137,79	112,03	70,55	54,34	40,83	29,76	20,90	8,82	5,10	1,10
750	128,60	104,56	65,84	50,72	38,10	27,78	19,51	8,23	4,76	1,03
800	120,56	98,02	61,73	47,55	35,72	26,04	18,29	7,72	4,47	0,96
850	113,47	92,26	58,10	44,75	33,62	24,51	17,21	7,26	4,20	0,91
900	107,17	87,13	54,87	42,26	31,75	23,15	16,26	6,86	3,97	0,86
950	101,53	82,55	51,98	40,04	30,08	21,93	15,40	6,50	3,76	0,81
1000	96,45	78,42	49,38	38,04	28,58	20,83	14,63	6,17	3,57	0,77

Зі зміною розрахункової величини швидкості V змінюється коефіцієнт p з певною залежністю:

$$V = p \times x^{0,333}, \quad x = L, \quad V = p \times L^{0,333},$$

де p – коефіцієнт зведення, що пов'язує між собою R , L та V .

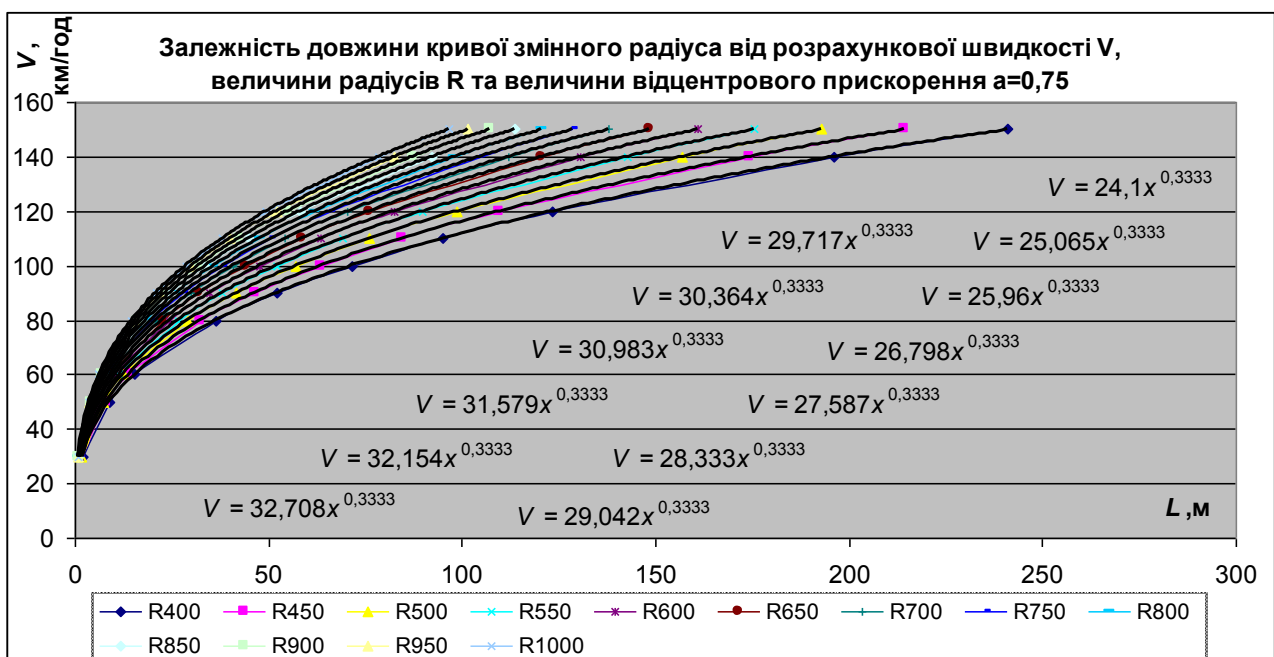


Рис. 6. Залежність довжини кривої змінного радіуса від розрахункової швидкості, величини радіусів та величини відцентрового прискорення $a = 0,75 \text{ м/с}^2$, із визначенням степеневої залежності

Таблиця 4 – Залежність коефіцієнта n від радіуса R

R	400	450	500	550	600	650	700
p	24,101	25,066	25,962	26,8	27,589	28,335	29,043
R	750	800	850	900	950	1000	
p	29,719	30,365	30,985	31,581	32,155	32,71	

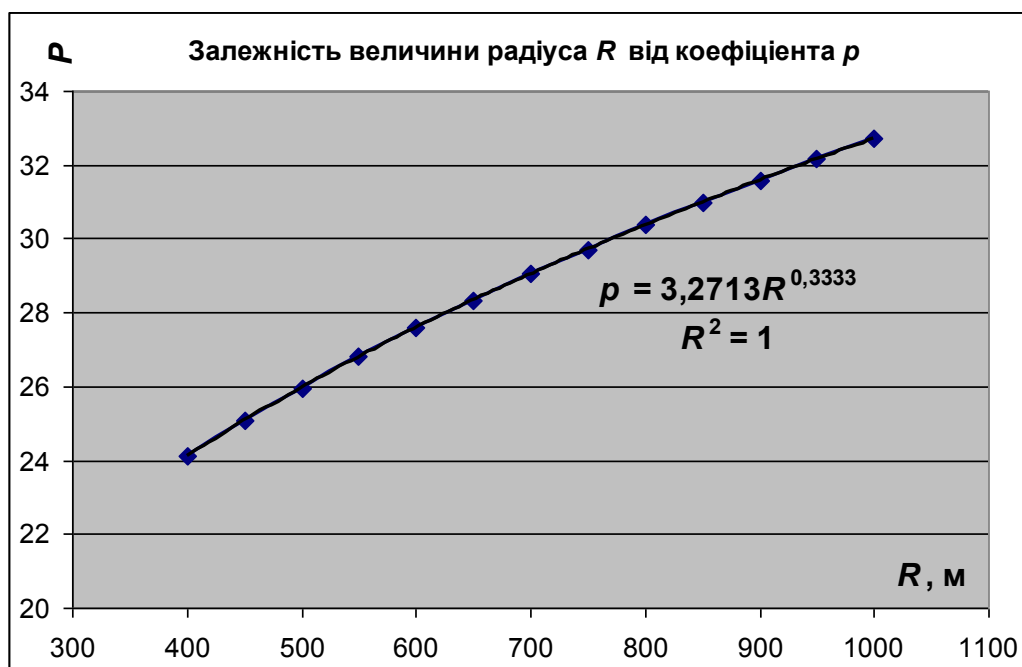


Рис. 7. Залежність коефіцієнта p від радіуса R , із визначенням степеневої залежності

Аналізуючи рис. 6, бачимо що рівняння має вигляд:

$$V = n \times L^{0,33},$$

де p – коефіцієнт зведення, що пов'язує між собою R , L та V , аналізуючи рис. 7, маємо:

$$p = f(R),$$

$$p = 0,36 \times R^{0,333}.$$

Підставимо отримане значення p (6), у вираз (3):

$$L = 0,33 \sqrt[0,33]{\frac{V}{3,6 \times R^{0,33}}}.$$

Таблиця 5 – Залежність довжини кривої змінного радіуса від розрахункової швидкості, величини радіусів та величини відцентрового прискорення $a=0,5\text{м/с}^2$

V	150	140	120	110	100	90	80	60	50	30
R	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
400	361,69	294,07	185,19	142,64	107,17	78,13	54,87	23,15	13,40	2,89
450	321,50	261,39	164,61	126,79	95,26	69,44	48,77	20,58	11,91	2,57
500	289,35	235,25	148,15	114,11	85,73	62,50	43,90	18,52	10,72	2,31
550	263,05	213,87	134,68	103,74	77,94	56,82	39,91	16,84	9,74	2,10
600	241,13	196,04	123,46	95,09	71,44	52,08	36,58	15,43	8,93	1,93
650	222,58	180,96	113,96	87,78	65,95	48,08	33,77	14,25	8,24	1,78
700	206,68	168,04	105,82	81,51	61,24	44,64	31,35	13,23	7,65	1,65
750	192,90	156,84	98,77	76,07	57,16	41,67	29,26	12,35	7,14	1,54
800	180,84	147,03	92,59	71,32	53,58	39,06	27,43	11,57	6,70	1,45
850	170,21	138,38	87,15	67,12	50,43	36,76	25,82	10,89	6,30	1,36
900	160,75	130,70	82,30	63,40	47,63	34,72	24,39	10,29	5,95	1,29
950	152,29	123,82	77,97	60,06	45,12	32,89	23,10	9,75	5,64	1,22
1000	144,68	117,63	74,07	57,06	42,87	31,25	21,95	9,26	5,36	1,16

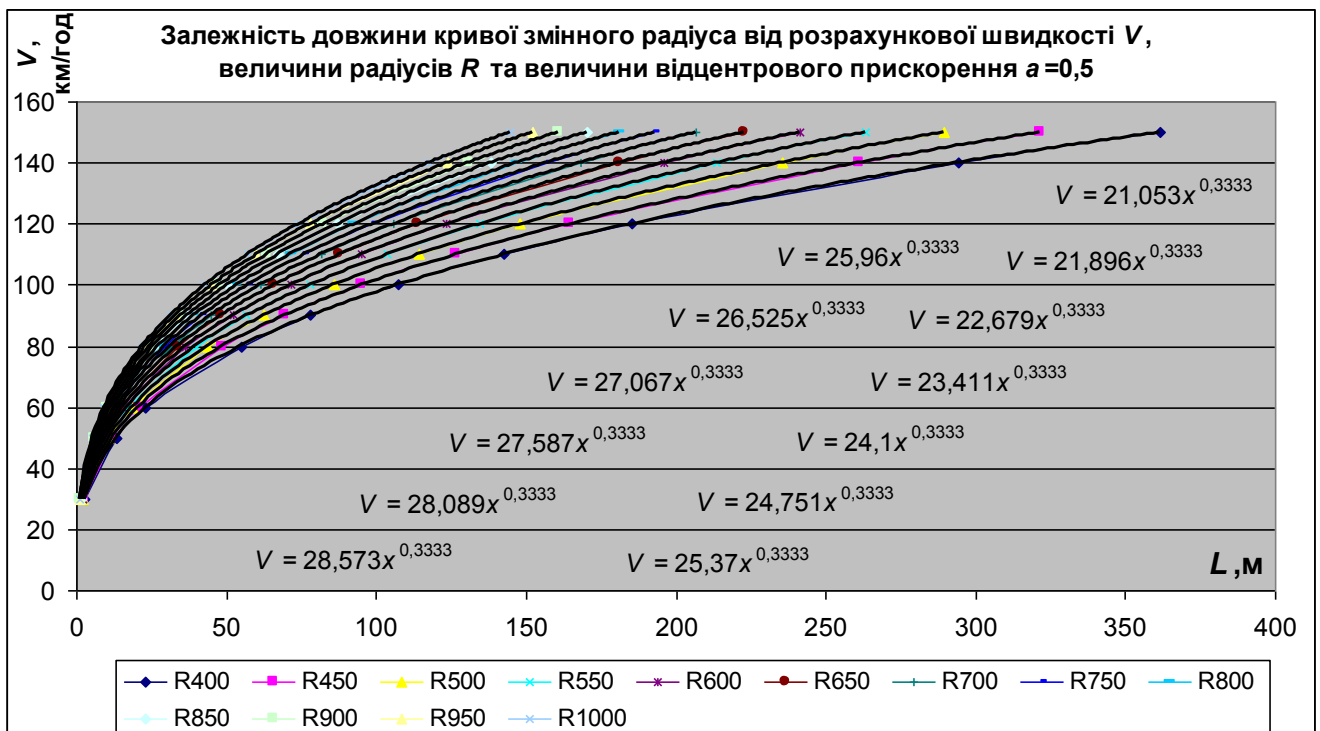


Рис. 8. Залежність довжини кривої змінного радіуса від розрахункової швидкості, величини радіусів та величини відцентрового прискорення $a = 0,5 \text{ м/с}^2$, із визначенням ступеневої залежності

Отримано рівняння з трьома невідомими (L , V та R), вирішення конкретної задачі при проектуванні повздожнього профілю, задаємося двома величинами з трьох.

Визначення мінімальної довжини кривої змінного радіуса при значеннях радіусів вертикальних кривих, що приймаються при проектуванні червоної лінії дорожніх розв'язок в різних рівнях R (400 – 500) при значенні величини відцентрового прискорення, $a = 0.5 \text{ м/с}^2$.

Зі зміною розрахункової величини швидкості V змінюється коефіцієнт p з певною залежністю:

$$V = p \times x^{0,333}, \quad x = L, \quad V = p \times L^{0,333},$$

де p – коефіцієнт зведення, що пов'язує між собою R , L та V .

Таблиця 6 – Залежність коефіцієнта p від радіуса R

R	400	450	500	550	600	650	700
p	21,053	21,896	22,679	23,411	24,1	24,751	25,37
R	750	800	850	900	950	1000	
p	25,96	26,525	27,067	27,587	28,089	28,573	

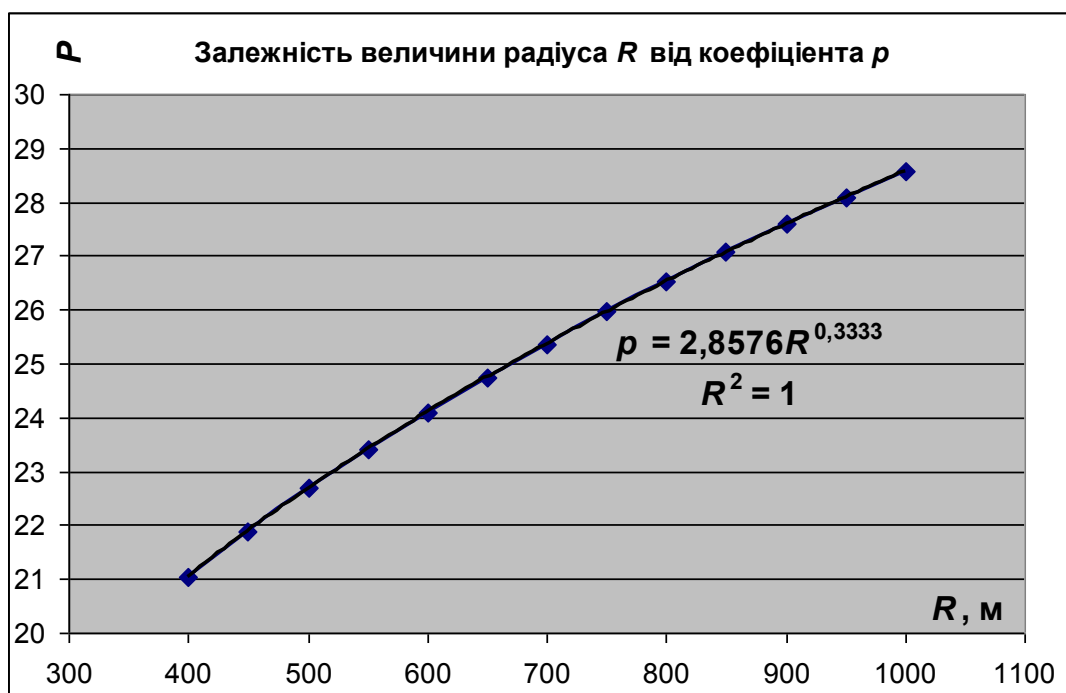


Рис. 9. Залежність коефіцієнта p від радіуса R , із визначенням степеневі залежності

Аналізуючи рис. 8, бачимо що рівняння має вигляд:

$$V = n \times L^{0.33},$$

де p – коефіцієнт зведення, що пов'язує між собою R , L та V , аналізуючи рис. 9, маємо:

$$p = f(R),$$

$$p = 0,36 \times R^{0,333}.$$

Підставимо отримане значення p (6), у вираз (3):

$$L = \sqrt[0.33]{\frac{V}{3.6 \times R^{0.33}}}.$$

Отримано рівняння з трьома невідомими (L , V та R), вирішення конкретної задачі при проектуванні поздовжнього профілю, задаємося двома величинами з трьох.

Запропонований метод проектування червоної лінії поздовжнього профілю кривими змінного радіуса підвищують безпеку руху, зниження об'ємів земляних робіт та підвищення середньої швидкості руху транспортного потоку на з'їздах дорожніх розв'язок в різних рівнях.

Література

1. Бируля А.К. Проектирование автомобильных дорог: учебник для автодорож. ВУЗов. Ч. 1. – М.: Дориздат, 1948. – 392 с.
2. Бируля А.К. Проектирование автомобильных дорог: учебник для автодорож. ВУЗов. Ч. 2. – М.: Дориздат, 1948. – 348 с.
3. Замахаев М.С. Переходные кривые на автомобильных дорогах. – М.: Транспорт, 1965. – 114 с.
4. Котик М.Г. Лётные испытания самолётов. / М.Г. Котик, А.В. Павлов, И.М. Пашковский, Ю.С. Сардановский, Н.Г. Щитаев. 2-е изд. М.: Машиностроение, 1965. – 425 с.
5. Митин Н.А. Таблицы для разбивки кривых на автомобильных дорогах. 2-е изд-е, перераб. и доп. – М.: Недра, 1978. – 469 с.