

РОЗШИРЕНІ МОЖЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ПЕРЕБУДОВИ ПЛАНУ ПІД ВИСОКІ ШВИДКОСТІ ПОЇЗДІВ У ПРОГРАМІ RWPLAN 1.3.4

Розглядається можливість підвищення швидкості поїздів за рахунок перебудови плану в межах існуючого земляного полотна.

Рассматривается возможность повышения скорости поездов за счет переустройства плана в границах существующего земляного полотна.

The opportunity of increase of speed of trains is considered due to a reorganization of the plan in borders of an existing earthbed.

Як відомо, план залізничної лінії і його стан багато в чому визначають економічні показники, умови і швидкості руху потягів, а також комфортність їзди.

Сьогодні для вирішення задач плану часто використовуються методики з епохи «ручних» розрахунків; пошук проектних параметрів плану колії підміняється задачами утримання колії без точного визначення положення колії в плані; вирівнювання плану проводиться по короткій базі колієвимірювального вагона, при цьому стан плану колії між кривими практично не оцінюється; замість інтегральної оцінки стану плану виконується оцінка в окремих точках колії. Крім того, у практиці роботи із планом залізничної колії існує ряд сталих помилкових поглядів. Найбільш поширені з них такі:

- передбачається, що три сусідні точки існуючої колії лежать на круговій кривій, і ця помилка лежить в основі практично всіх сучасних методів, приводячи до похибок, особливо на початку і в кінці перехідних кривих, що не дозволяє правильно поставити їх у проектне положення;

- будь-яка зйомка плану вважається достатньо точною, і в розрахунках використовуються результати зйомки без якого-небудь аналізу і зрівнювання, що не дозволяє з достатньою точністю оцінити параметри плану, особливо на довгих ділянках;

- при зйомці плану припускають, що між окремими кривими є ідеальні прямі ділянки, у результаті на таких начебто прямих спостерігається незадовільна динаміка руху поїздів;

- у розрахунках закладається, що перша і остання пари точок зйомки точно фіксують дирекційні кути прямих підходів на початку і в кінці знятої ділянки, у результаті місця стику-

вання цієї ділянки з прямими знаходяться в незадовільному стані;

- розрахунки в багатьох випадках виконуються на основі методу евольвент по одній з рейок, а не по осі колії, в результаті параметри плану, які виносяться на поздовжній профіль, не відповідають реальним;

- через відсутність методик розрахунку приймається, що криві сусідніх колій обов'язково повинні бути концентричними, що на практиці практично не зустрічається, у результаті не перевіряється достатність міжколійних відстаней з позиції безпеки руху поїздів.

Автором розроблена програма RWPlan, у якій відсутні названі недоліки і, окрім цього, реалізований комплексний підхід до вирішення проектних задач, а також математичні моделі, які з високою точністю описують існуюче і проектне положення залізничної колії і багато інших унікальних можливостей [1].

При оптимізації проектного рішення крім відомих критеріїв у вигляді мінімуму суми квадратів або модулів рихтувань запропонований новий критерій - мінімум суми витрат на виконання робіт. У цьому критерії враховуються як витрати на безпосередньо рихтування, так і вартість додаткового баласту або перекладання колії і робіт з розширення або спорудження нового земляного полотна. У процесі розрахунку проектувальник відразу бачить, до якого збільшення або зменшення витрат приведе те або інше рішення.

Версія програми RWPlan 1.3.4 дозволяє вирішувати практично будь-які задачі реконструкції плану: подовження прямих вставок і перехідних кривих, збільшення радіусів, зсув осі колії вздовж прямих і кривих, врізання стрілочного перевалу в криву і багато інших.

Дуже ефективним виявилось використання

програми для вирішення задачі підвищення швидкості руху на цілих напрямках. Дані про план лінії заносяться в програму безпосередньо з поздовжнього профілю, після чого створюється координатна модель цього плану і файл псевдозйомкаи всього напрямку. На основі отриманої інформації в програмі робляться розрахунки реконструкції плану з максимальним підвищенням швидкості руху. Отримані параметри плану передаються безпосередньо в програму тягових розрахунків.

Як приклад розглянемо перебудову плану ділянки Хутір Михайлівський – Конотоп з метою підвищення швидкості руху поїздів. Для аналізу скористаємось інформацією про план колії, яка нанесена на поздовжньому профілі.

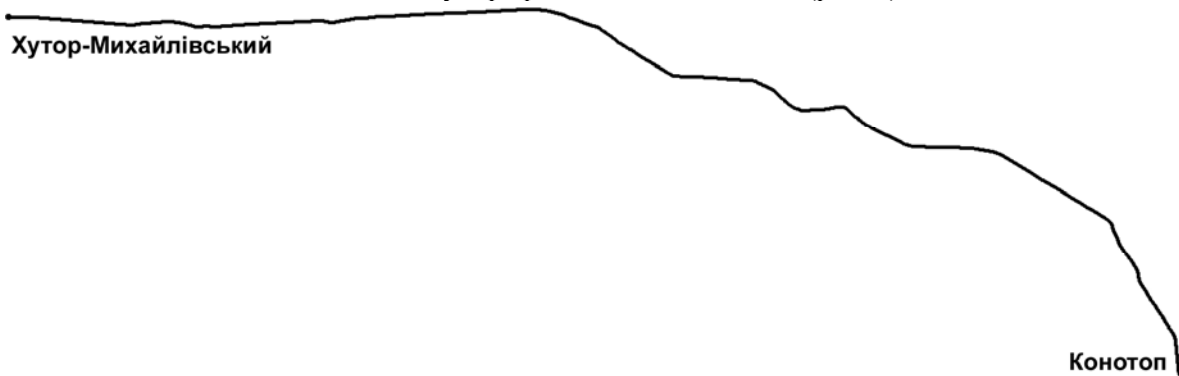


Рис. 1. План ділянки, що розглядається

Розрахунок підвищень та допустимих швидкостей

Середньозважена швидкість на ділянці, км/год

Допустиме непогашене прискорення, м/с² Допустима швидкість зростання прискорення, м/с³ Допустима швидкість опускання колеса, мм/с

h - підвищення зовнішньої рейки, мм, i - ухил відводу підвищення у тисячних

Позначення причин обмеження швидкостей: НП - непогашене прискорення; Va - швидкість зростання прискорень; Vк - швидкість опускання колеса; Далі для складених кривих: VaL2 - зростання прискорень на сусідніх перехідних; VaL1 - зростання прискорень на одній з перехідних; НП2 - непогашене прискорення на сусідніх кривих; VaП - зростання прискорень на прямій вставці; НП5 - непогашене прискорення на S-кривій; VaS - зростання прискорень на S-кривій; Va2 - зростання прискорень на односторонніх кривих; max - максимально-допустима на даній кривій; Vгр - мінімальна швидкість для вантажних поїздів.

Vmax=84 Vвт=55

n	L	R	K	h	i	НП	Va	Vк	VaL2	VaL1	НП2	VaП	НП5	VaS	Va2	max	Vвт
1	10				1.5		143	143									
	10	-4545	30	15		254										143	
2	10				1.5		143	143									
	10	0	30	0			131	143									
3	10	3571	21	15		225										131	
	10				1.5		131	143									
4	10	0	1527	0			128	168									
	20				0.8												
5	10	-2941	199	15		204										122	
	10				1.5		122	143									
6	10	0	8275	0													
	50				0.8		156	158									
7	10	2000	266	40		180										156	
	80				0.5		178	252									

Розрах. Vmax Підбір раціональної комбінації h

Рис. 2. Підбір підвищень для існуючого стану плану

Існуючий план – 203 елементи

L, м	Сторон. кривих	R, м	K, м
10			
	Ліва	4545	30,24
10			
	Пряма		30
10			
	Права	3571	20,51
10			
	Пряма		1527,15
20			
	Ліва	2941	199,27
10			
	Пряма		8274,73
50			
	Права	2000	266,19
80			
	Пряма		2684,41
80			
	Ліва	2100	535,84
50			
	Пряма		1030,66
60			
	Ліва	2083	129,64
40			
	Пряма		409,76
100			
	Права	862	209,02
120			
	Пряма		443
80			
	Ліва	1065	44,46
80			
	Пряма		557,52
40			
	Права	2000	120,13
40			
	Пряма		8900,47
50			
	Ліва	980	160,51
70			
	Пряма		563,19
20			
	Права	4167	43,64
40			
	Права	781	178,52
100			
	Пряма		1923,14
50			
	Ліва	2270	156,2
50			
	Пряма		1635,5
30			
	Ліва	1668	55,08
60			
	Пряма		503,3
40			

L, м	Сторон. кривих	R, м	K, м
	Права	1390	15,83
40			
	Пряма		11653,1
60			
	Ліва	877	4,39
30			
	Пряма		163,71
40			
	Ліва	1087	11,02
40			
	Пряма		1095,88
10			
	Ліва	5000	38,36
10			
	Пряма		124,64
20			
	Ліва	850	117,35
20			
	Пряма		423,85
10			
	Права	10000	70,18
10			
	Пряма		410,12
70			
	Ліва	2083	223,25
60			
	Пряма		993,95
10			
	Ліва	10000	49,81
10			
	Пряма		30
10			
	Права	7148	40,3
10			
	Пряма		75
10			
	Права	10000	29,45
10			
	Пряма		40,01
10			
	Ліва	8333	40,6
10			
	Пряма		1217,13
80			
	Права	2000	73,43
120			
	Пряма		358,15
80			
	Ліва	1389	209,75
50			
	Ліва	1000	89,97
100			
	Пряма		274,73
50			
	Права	2632	60,2

L, м	Сторон. кривих	R, м	K, м
10			
	Пряма		55,11
20			
	Ліва	2760	80,43
20			
	Пряма		371,68
10			
	Ліва	2940	15,06
10			
	Пряма		94,7
30			
	Права	5000	5,27
20			
	Пряма		302,72
20			
	Права	3333	4,9
10			
	Пряма		60,01
10			
	Ліва	5000	39,63
10			
	Пряма		444,71
50			
	Права	2504	180,76
30			
	Пряма		307
30			
	Ліва	2940	15
20			
	Пряма		65
30			
	Права	3333	24,65
20			
	Пряма		101,04
20			
	Права	2381	15,4
20			
	Пряма		70
30			
	Ліва	3335	25
10			
	Пряма		3510,7
20			
	Ліва	8332	22,4
10			
	Пряма		17,6
10			
	Права	4166	51,2
10			
	Пряма		282,28
100			
	Права	1020	402,22
90			
	Пряма		299,75
10			

L, м	Сторон. кривих	R, м	K, м
	Ліва	3120	35,35
20			
	Пряма		79,63
10			
	Права	2940	39,86
10			
	Пряма		334,74
20			
	Права	2940	10,46
20			
	Пряма		60,01
40			
	Ліва	2980	15,01
10			
	Пряма		319,49
10			
	Права	6247	44,56
20			
	Пряма		15
10			
	Ліва	7143	65,58
20			
	Пряма		4673,02
70			
	Ліва	1220	390,55
70			
	Пряма		790,35
10			
	Ліва	2941	80,09
10			
	Пряма		71,11
10			
	Права	2941	60,09
30			
	Пряма		62,71
20			
	Права	4507	104,7
30			
	Пряма		38,79
40			
	Ліва	2000	764,63
50			
	Пряма		129,38
10			
	Права	2941	124,84
20			
	Пряма		173,95
30			
	Права	2632	94,7
20			
	Пряма		79,74
40			
	Ліва	2500	90,17
40			
	Пряма		117,29
40			
	Права	2083	289,61
40			

L, м	Сторон. кривих	R, м	K, м
	Пряма		388,61
80			
	Права	769	154,58
90			
	Пряма		474,25
110			
	Права	862	239,56
90			
	Пряма		1910,4
50			
	Права	1935	90
30			
	Пряма		659,8
120			
	Ліва	833	434,9
60			
	Ліва	1000	264,52
120			
	Пряма		435,22
130			
	Права	794	84,6
130			
	Пряма		154,4
60			
	Ліва	758	44,93
60			
	Пряма		573,65
90			
	Права	1042	135,54
100			
	Пряма		172,08
10			
	Права	2941	30,4
10			
	Пряма		56,95
20			
	Ліва	3848	49,55
20			
	Пряма		3000,9
50			
	Права	2083	485
80			
	Пряма		227,95
40			
	Права	2083	335,36
50			
	Пряма		4447,94
50			
	Ліва	2000	225,32
40			
	Пряма		242,92
20			
	Ліва	5000	19,63
20			
	Пряма		44,99
10			
	Права	2000	5,02
10			

L, м	Сторон. кривих	R, м	K, м
	Пряма		335,42
20			
	Ліва	1923	4,75
20			
	Пряма		85,06
20			
	Права	3623	15,34
30			
	Пряма		387,05
20			
	Ліва	2086	32,21
20			
	Пряма		419,78
40			
	Ліва	781	49,95
50			
	Ліва	2079	194,2
10			
	Пряма		256,6
30			
	Ліва	2174	215,05
80			
	Пряма		3882,94
10			
	Ліва	3853	45
10			
	Пряма		27
10			
	Права	9768	144,8
10			
	Пряма		25,2
10			
	Права	2267	22,2
10			
	Пряма		62,8
10			
	Ліва	4211	58,4
10			
	Пряма		3660,61
10			
	Ліва	6250	34,54
10			
	Пряма		91,56
10			
	Права	6250	20
10			
	Пряма		2012,89
200			
	Ліва	1064	495
200			
	Пряма		1369,91
100			
	Права	2156	407
100			
	Пряма		2088,72
80			
	Ліва	1042	400,44
80			

L, м	Сторон. кривих	R, м	K, м
	Пряма		420,75
100			
	Права	1000	334,07
100			
	Пряма		2298,93
20			
	Ліва	5553	34,61
10			
	Пряма		35
20			
	Права	3574	14,7
10			
	Пряма		105,7
20			
	Права	6243	15,4
10			
	Пряма		69
10			
	Ліва	5556	30,1
10			
	Пряма		887,5
20			
	Ліва	6247	44,5

L, м	Сторон. кривих	R, м	K, м
10			
	Пряма		40
10			
	Права	4541	30,2
10			
	Пряма		385,79
10			
	Ліва	6378	60,91
10			
	Пряма		30
10			
	Права	5556	80,2
10			
	Пряма		276,4
30			
	Ліва	643	15
30			
	Пряма		434,03
30			
	Ліва	926	134,7
10			
	Ліва	2174	544,66
10			

L, м	Сторон. кривих	R, м	K, м
	Пряма		1111
10			
	Ліва	12500	81,81
10			
	Пряма		30
10			
	Права	5556	20,4
10			
	Пряма		458,99
20			
	Ліва	3123	25,4
10			
	Пряма		60
10			
	Права	7143	110,9
10			
	Пряма		264,7
50			
	Права	962	245,26
10			
	Права	1389	54,7
30			

Таблиця 2

Проектний план – 199 елементів

L, м	Сторон. кривих	R, м	K, м
0			
	Ліва	7000	59,54
0			
	Пряма		20,04
0			
	Права	7000	57,39
0			
	Пряма		1485,98
50			
	Ліва	2861	158,45
50			
	Пряма		8249,00
70			
	Права	1989	259,36
70			
	Пряма		2697,15
65			
	Ліва	2100	535,84
65			
	Пряма		1022,24
65			
	Ліва	2043	111,19
65			
	Пряма		386,59
135			
	Права	840	175,88
135			
	Пряма		432,71

L, м	Сторон. кривих	R, м	K, м
75			
	Ліва	1215	66,99
75			
	Пряма		540,26
75			
	Права	1839	72,24
75			
	Пряма		8868,53
105			
	Ліва	925	103,13
105			
	Пряма		553,48
165			
	Права	694	70,60
160			
	Пряма		1903,76
60			
	Ліва	2246	144,02
60			
	Пряма		1612,81
75			
	Ліва	1583	19,98
75			
	Пряма		470,89
60			
	Права	2202	28,45
60			
	Пряма		11599,5

L, м	Сторон. кривих	R, м	K, м
75			
	Ліва	1665	20,00
75			
	Пряма		77,90
70			
	Ліва	1975	21,24
70			
	Пряма		1056,59
0			
	Ліва	7000	59,95
0			
	Пряма		103,51
70			
	Ліва	842	66,99
70			
	Пряма		417,31
0			
	Права	7002	56,12
0			
	Пряма		431,62
60			
	Ліва	2088	228,94
60			
	Пряма		1005,29
0			
	Ліва	7936	48,98
0			
	Пряма		39,29

L , м	Сторон. кривих	R , м	K , м	L , м	Сторон. кривих	R , м	K , м	L , м	Сторон. кривих	R , м	K , м
0				0				35	35	35	
	Права	7902	56,53		Права	7330	112,50		Пряма		22,39
0				0				70			
	Пряма		68,25		Пряма		37,89		Ліва	1997	738,57
0				0				70			
	Права	8743	25,23		Ліва	7000	94,29		Пряма		103,24
0				0				50			
	Пряма		97,09		Пряма		3491,86		Права	2800	83,21
0				0				50			
	Ліва	7327	36,18		Ліва	10200	29,70		Пряма		153,68
0				0				55			
	Пряма		1216,93		Пряма		38,48		Права	2444	56,27
80				0				55			
	Права	2098	101,93		Права	7000	88,88		Пряма		61,41
80				0				55			
	Пряма		373,71		Пряма		256,41		Ліва	2411	70,66
70				130				55			
	Ліва	1446	143,62		Права	1007	361,30		Пряма		101,02
80				130				65			
	Ліва	1102	153,17		Пряма		251,40		Права	2064	261,65
80				40				65			
	Пряма		262,30		Ліва	4690	27,87		Пряма		364,26
70				40				115			
	Права	2790	25,21		Пряма		52,75		Права	746	117,71
70				40				115			
	Пряма		8,76		Права	4520	26,99		Пряма		477,66
45				40				80			
	Ліва	2948	61,92		Пряма		243,19		Права	871	262,92
45				40				80			
	Пряма		353,03		Права	7000	20,01		Пряма		1907,84
0				40				75			
	Ліва	7050	80,54		Пряма		87,95		Права	1727	41,03
0				40				75			
	Пряма		31,80		Ліва	4900	20,64		Пряма		636,19
0				40				140			
	Права	7350	68,73		Пряма		214,44		Ліва	830	420,41
0				0				80			
	Пряма		324,16		Права	7000	47,44		Ліва	1015	265,79
0				0				90			
	Права	7950	34,73		Пряма		144,07		Пряма		439,32
0				0				170			
	Пряма		55,83		Ліва	7000	51,18		Права	703	20,00
0				0				170			
	Ліва	7150	62,20		Пряма		4651,57		Пряма		139,29
0				110				65			
	Пряма		429,44		Ліва	1202	343,76		Ліва	829	49,76
55				110				65			
	Права	2478	163,48		Пряма		758,88		Пряма		550,24
55				55				135			
	Пряма		281,68		Ліва	2448	20,04		Права	991	84,91
0				55				135			
	Ліва	7000	90,83		Пряма		40,47		Пряма		138,99
0				50				0			
	Пряма		49,51		Права	2643	22,07		Права	7000	87,37
0				50				0			
	Права	7000	96,37		Пряма		51,88		Пряма		23,59
0				30				0			
	Пряма		45,14		Права	4465	96,03		Ліва	7004	122,47

L, м	Сторон. кривих	R, м	K, м	L, м	Сторон. кривих	R, м	K, м	L, м	Сторон. кривих	R, м	K, м
0				0				0			
	Пряма		2976,97		Права	7000	201,53		Ліва	7050	52,50
65				0				0			
	Права	2081	484,00		Пряма		36,75		Пряма		107,88
65				0				0			
	Пряма		217,67		Ліва	7000	106,99		Права	7100	59,06
80				0				0			
	Права	2060	296,63		Пряма		3649,75		Пряма		267,70
80				0				0			
	Пряма		4398,41		Ліва	7000	49,87		Ліва	7350	66,68
170				0				0			
	Ліва	1663	55,24		Пряма		95,40		Пряма		152,44
170				0				0			
	Пряма		178,16		Права	7700	36,97		Права	7000	117,85
0				0				0			
	Ліва	7122	32,22		Пряма		2014,41		Пряма		163,83
0				200				25			
	Пряма		159,12		Ліва	1064	495,00		Ліва	1859	111,97
0				200				30			
	Права	7999	52,64		Пряма		1369,92		Пряма		378,87
0				100				45			
	Пряма		175,89		Права	2156	407,00		Ліва	1020	137,51
0				100				40			
	Ліва	7078	91,48		Пряма		2070,60		Ліва	2184	482,29
0				125				65			
	Пряма		120,79		Ліва	1023	346,68		Пряма		1103,53
0				125				0			
	Права	7000	63,00		Пряма		387,40		Ліва	8000	56,96
0				140				0			
	Пряма		354,26		Права	978	284,52		Пряма		57,68
40				140				0			
	Ліва	2524	20,77		Пряма		2282,19		Права	7000	36,73
40				0				0			
	Пряма		370,49		Ліва	7000	48,93		Пряма		443,74
115				0				0			
	Ліва	862	21,99		Пряма		69,73		Ліва	7400	102,83
70				0				0			
	Ліва	2094	128,55		Права	7000	45,29		Пряма		22,68
80				0				0			
	Пряма		175,72		Пряма		98,97		Права	7030	116,43
165				0				0			
	Ліва	1847	52,58		Права	8000	50,29		Пряма		245,23
190				0				135			
	Пряма		3841,15		Пряма		31,32		Права	944	187,13
0				0				135			
	Ліва	7000	97,81		Ліва	7840	68,49				
0				0							
	Пряма		44,32		Пряма		890,62				

Для розрахунків перебудови плану ділянки розіб'ємо її на 46 фрагментів, кожний з яких розрахуємо окремо. У розрахунках кожного фрагмента скористаємося можливістю програми RWPlan шукати рішення із забезпеченням заданої максимальної швидкості. У цьому випадку при оптимізації проектного рішення шукаються такі комбінації радіусів і довжин перехідних кривих, які забезпечують задану швид-

кість. При цьому встановлюємо обмеження на максимальне рихтування на рівні 200...250 мм, щоб після рихтування колія залишилася в межах існуючого земляного полотна. Як критерій оптимізації використовуємо мінімум вартості перебудови плану (рис. 3).

За наявності більш докладної інформації про узбіччя та робочі відмітки вони можуть бути задані. Оскільки на цій стадії така інформація

ція відсутня, використовується спрощений розрахунок витрат на земляне полотно.

Після оптимізації окремих фрагментів вони

поєднуються в одну проектну модель плану ділянки (табл. 2). Рихтування для проектного варіанта показані на рис. 4.

Алгоритм оцінки витрат

Витрати (у.о.) на рихтування одного метра колії залежно від зсуву S (м)

+ x S + x S x S Створити свою формулу

Зсув (см), за якого вже використовується перекладання колії

Вартість (у.о.) перекладання одного метра колії

- витрати (у.о.) на метр куб. баласту при зсувах більше мм

середній висоті баластної призми і ширині по верху, см

Спрощений розрахунок додаткових витрат на земляне полотно

- витрати (у.о.) на метр куб. земполотна при зсувах > мм

і середній робочій відмітці см

Ширина основної площадки нового земляного полотна, см

Зсув (м), за якого влаштовується нове земполотно

Мінімальне розширення, см Середня косогірність 1:

Файл відміток та узбіч Задати

Витрати (у.о.) на метр куб. насипу - Мінімальне узбіччя, м

виймки - Нормальне узбіччя, м

Зберегти як значення за замовчанням Прочитати Прийняти

Рис. 3. Алгоритм розрахунків вартості

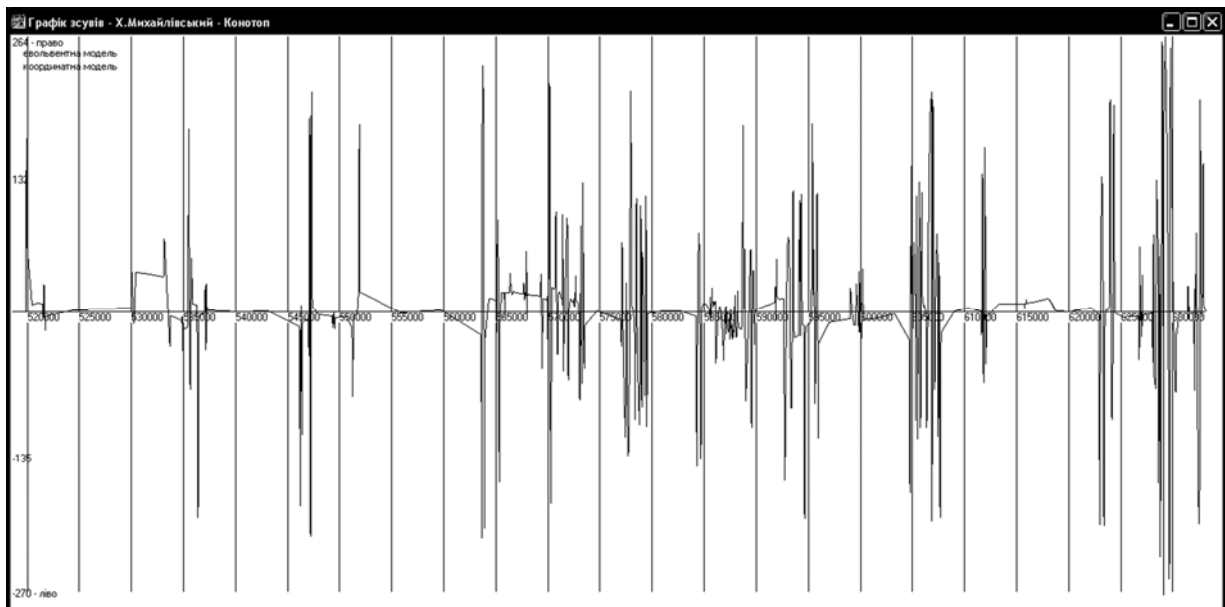


Рис. 4. Рихтування, потрібні для переведення колії в проектне положення

Для проектного стану підбираються значення підвищень і відповідні максимальні швидкості. Отримані результати можуть бути надруковані у вигляді креслення. Фрагмент такого креслення наведений на рис. 5.

Для наочності на рис. 6 показані максимальні швидкості для існуючого плану (пунктир) і для проектного. Також на цьому рисунку показані мінімальні швидкості руху для вантажних поїздів.

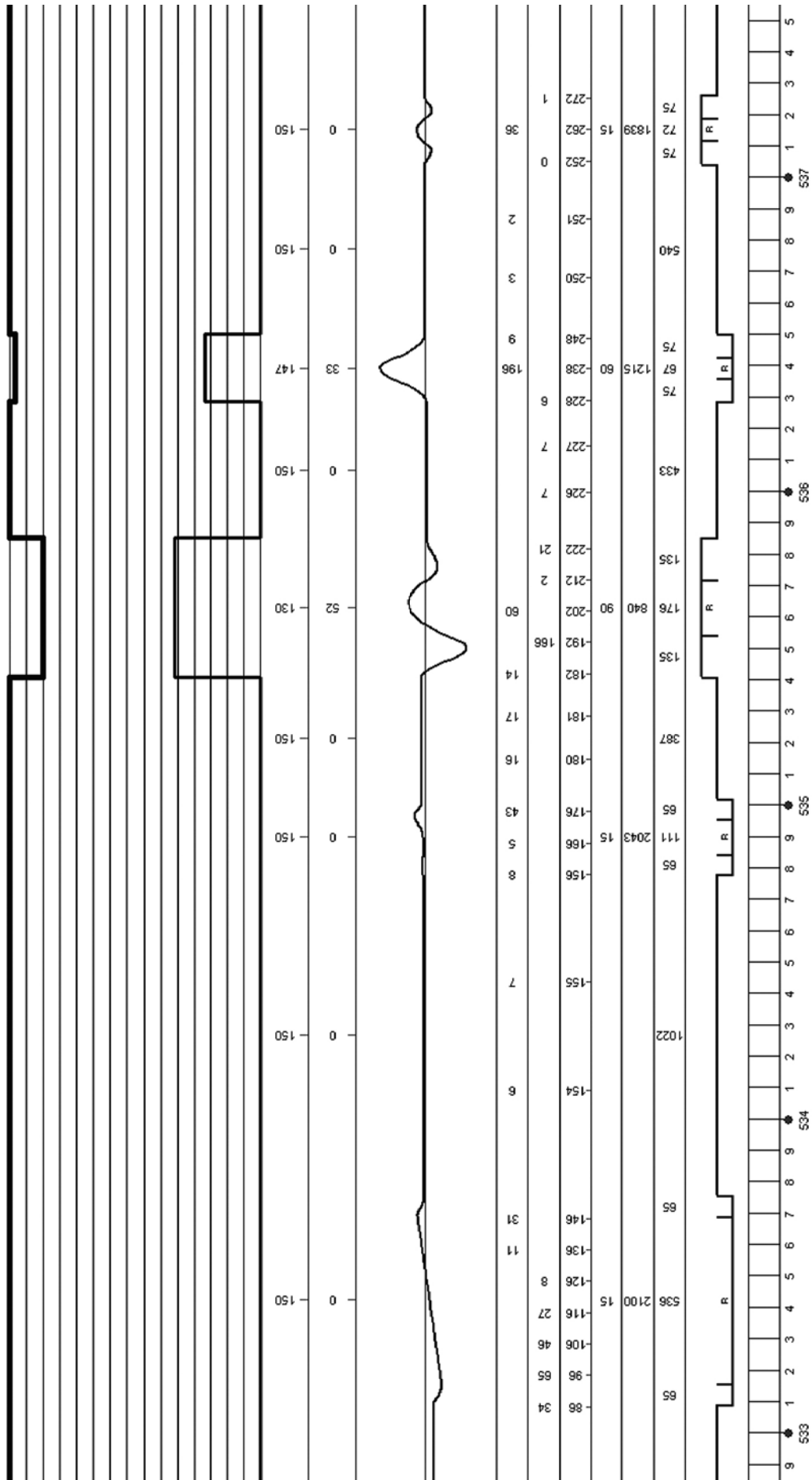


Рис. 5. Фрагмент креслення рихтувань та обмежень швидкості для проектного стану

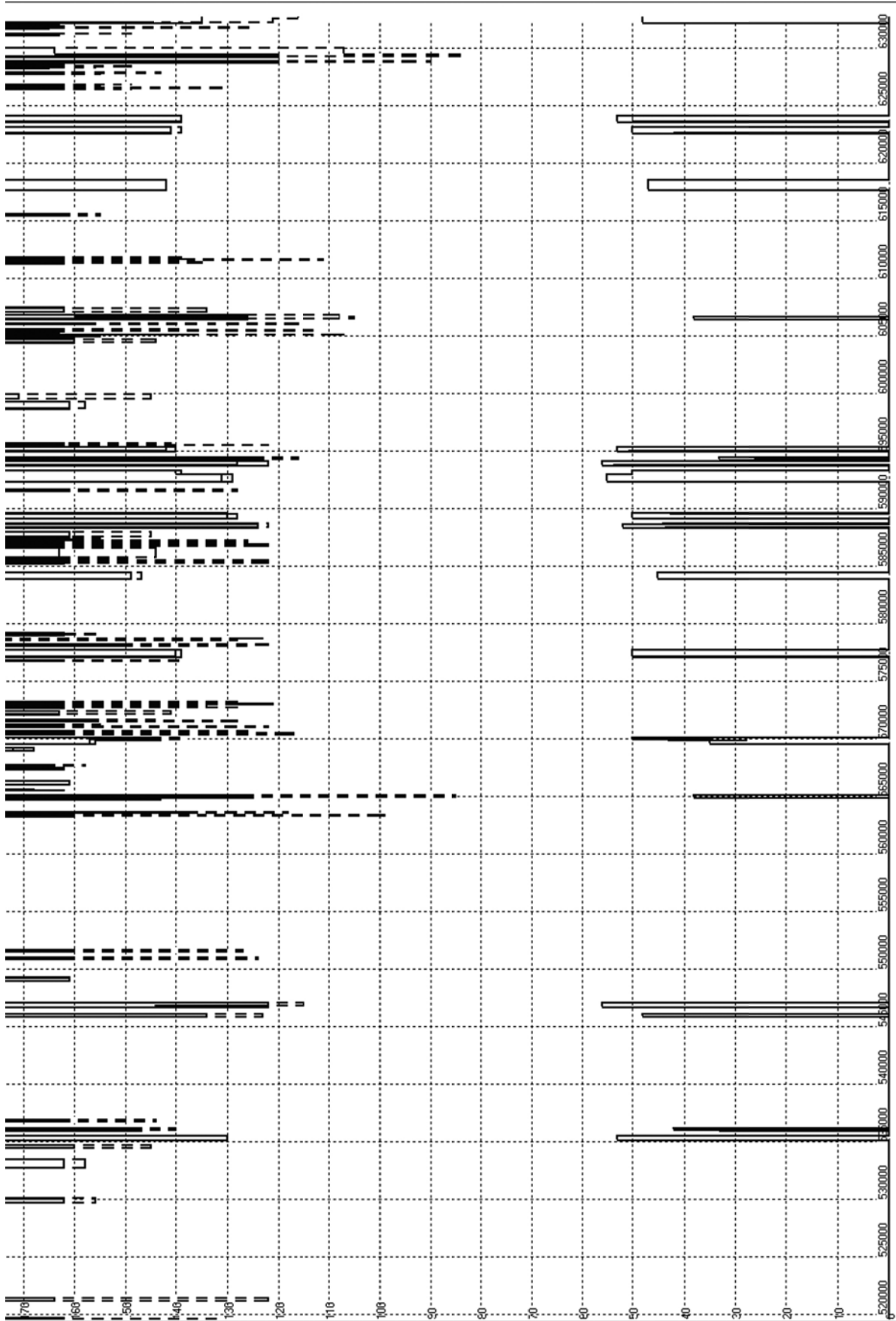


Рис. 6. Обмеження швидкості для існуючого та проектного станів

Отримані моделі плану ділянки для існуючого і проектного станів імпортується в програму тягових розрахунків, де виконуються розрахунки руху різних категорій поїздів по ділянці.

У нашому випадку час руху поїзда в одному напрямку без перебудови плану склав 49 хв 13 с. Після перебудови плану час руху скоротився до 45 хв 57 с. Економія часу склала 1,7 с на 1 км. Середня швидкість зросла зі 140 до 150 км/год. Розрахунки, які виконувалися для інших напрямків, привели до подібних результатів: Гребінка – Полтава – 1,7 с на 1 км; Київ – Львів – 2,5 с на 1 км; Лозова – Сімферополь – 1,6 с на 1 км.

Витрати, які потрібні для рихтування, склали 200 тис. грн (1,7 тис. грн на км). Для інших напрямків це значення складало від 1 до 10 тис. грн на км. Слід зауважити, що при перевлаштуванні плану під час капітального ремонту колії

ніяких додаткових витрат не потрібно, оскільки в цьому випадку нова колія буде укладатися відразу в нове положення.

У той же час слід відзначити, що для реалізації виправлення і розрахунків плану для високих швидкостей повинні застосовуватися більш точні методи зйомки плану. На сьогодні витрати на таку зйомку складають до 5 тис. грн на 1 км, але з використанням нових підходів вони можуть бути суттєво зменшені.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Корженевич І. П. Нові можливості проектування перебудови плану та виправлення кривих при використанні програми RWPlan 1.2 // Залізничний трансп. України. – 2007. – № 5. – С. 79-82.

Надійшла до редакції 22.11.2007.