

Курган Н.Б., Хмелевская Н.П., Байдак С.Ю., Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепропетровск, Украина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ РАБОТ ДЛЯ СНЯТИЯ ОГРАНИЧЕНИЙ СКОРОСТИ, СВЯЗАННЫХ С ПЛАНОМ ЛИНИИ

В статье рассмотрены вопросы выбора рациональных параметров кривых при переустройстве. Наибольшее количество ограничений связано с параметрами и состоянием кривых участков пути. Для сложных участков плана линии разработана методика определения стоимости переустройства кривых при введении скоростного движения.

Установлен закон изменения объемов работ в зависимости от методов перестройки кривой: расширение существующего земляного полотна, присыпка нового земляного полотна к существующему или вынесение земляного полотна на новую трассу.

Ключевые слова: ограничение скорости, переустройство плана, объемы работ, стоимость переустройства кривой.

Kurgan N., Khmelevskaya N., Baydak S., Dnepropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazaryan, Ukraine

DEFINITION THE SCOPE OF WORK FOR THE REMOVAL OF SPEED LIMITS ASSOCIATED WITH PLAN LINE

The article discusses the choice of parameters of rational curves in reorganization of the railway line. The technique of determining the cost conversion curves for the introduction of high speed.

Key words: speed limit, reorganization plan, amount of work, the cost of the conversion curve.

1. История вопроса

Большое количество ограничений скорости на железных дорогах как России, так и Украины связано с параметрами и состоянием плана железнодорожного пути. При этом влияние состояния плана железнодорожного пути на скорость определяется тем, до какого уровня неисправности относятся отклонения в стрелах изгиба кривых или возвышение наружного рельса в соседних точках пути. На наш взгляд, более точно и правильно с точки зрения безопасности движения поездов было бы определять влияние состояния кривых на скорость

поездов разных категорий, опираясь на реальную картину измеренных значений кривизны и возвышений наружного рельса в кривых.

Целесообразно определять непогашенные ускорение $\alpha_{ин}$, скорость роста ускорений ψ , скорость подъема колеса по отводу возвышения наружного рельса f_v и колебания экипажа θ , исходя из измеренных путеизмерительным вагоном или другими средствами (в том числе измерением плана способом стрел, а возвышений наружного рельса – с помощью шаблона ЦУП) показателей кривизны и изменения возвышения в точках пути. Такая технология реализована в рамках программы RWPlan [1]. На рис. 1 представлено вид графика допустимых скоростей для измеренного состояния плана пути.

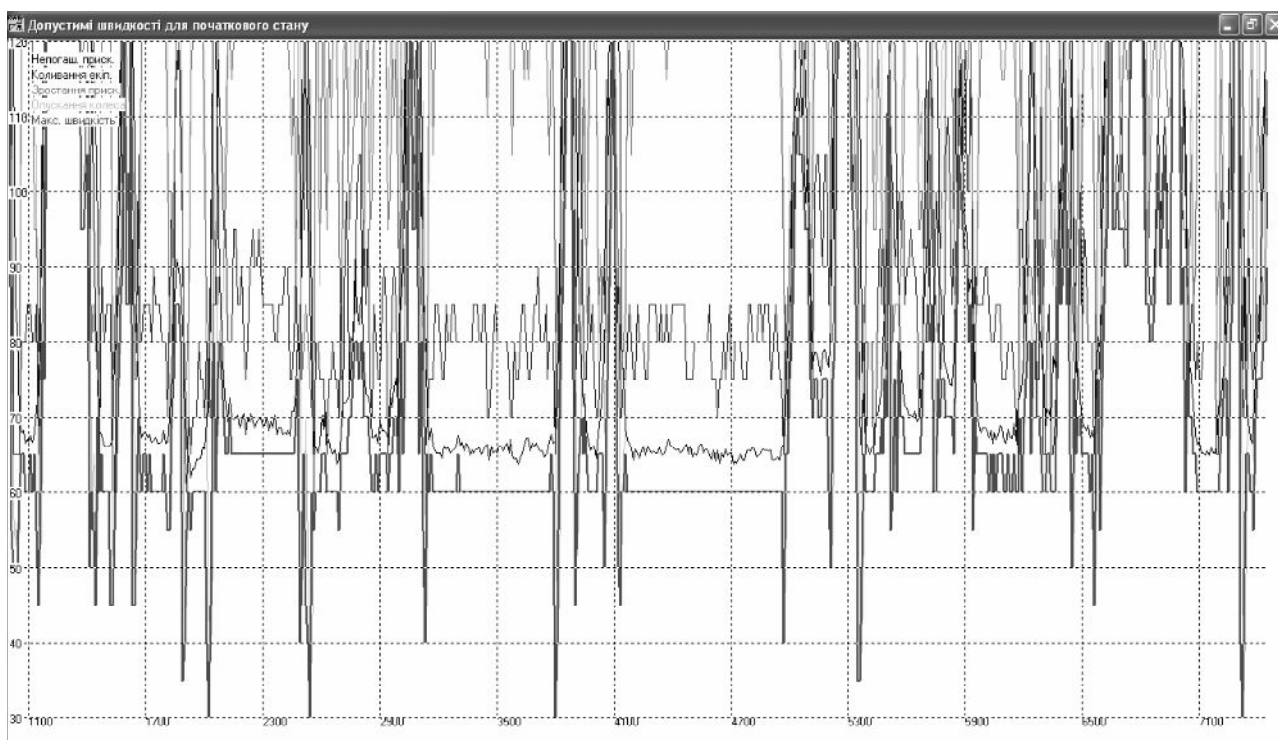


Рис. 1. Графики допускаемых скоростей для существующего состояния плана: черная линия – по $\alpha_{ин}$; зеленая – по ψ ; серая – по f_v ; синяя – по θ ; красная – $V_{дон}$

Показатели $\alpha_{ин}$, ψ , f_v , θ позволяют, исходя из планируемых скоростей, более точно определять потребность в работах по исправлению плана и, соответственно, по устранению ограничений скорости.

Ограничение скорости по параметрам плана линии в Украине устанавливаются несколькими нормативными документами, основными из которых являются ДБН В.2.3-019-2008, ЦП-0236, ЦП-0269, ЦП-0020 [2-5]. На допустимые скорости влияют радиус и возвышения наружного рельса в круговых кривых, длины переходных кривых и сочетание этих параметров на сложных участках

плана. Также, в качестве ознакомления, рассмотрены основные положения ЦПТ-46/2 [6].

В ЦП-0236 [3] методика определения допустимых скоростей движения по сочетаниям кривых изложена очень кратко. Поэтому при наличии сложных сочетаний кривых трудно правильно определить необходимый расчетный случай, соответствующие критерии и расчетные формулы и получить верный результат. Статистика подтверждает, что большое количество сочетаний кривых на железных дорогах Украины в ряде случаев приводит к нецелесообразному ограничению скоростей движения или, наоборот, к их завышению и, как следствие, к ухудшению безопасности и комфортабельности движения поездов, быстрому расстройству пути.

2. Цель работы

Как показали исследования [7], ограничение скорости движения поездов по радиусам круговых кривых возникают только в трети случаев. Намного больше проблемных мест связанных с недостаточной длиной переходных кривых и прямых вставок. Поэтому очень важным является расчет параметров плана линии с учетом всех требований и приведения его к геометрически правильному состоянию во время выполнения ремонтов пути. Целью работы является определение объемов работ для устранения ограничений скорости, связанных с параметрами плана и состоянием линии.

3. Технология выполнения расчетов

Если допустить изменение параметров плана линии в таких пределах, чтобы рихтовки пути не приводили к необходимости уширения существующего земляного полотна. Большого повышения скорости можно достичь при существенных изменениях параметров кривых с выносом трассы на новое земляное полотно. Такие работы требуют больших затрат. При повышении скорости в отдельно взятой кривой, выигрыш во времени движения поездов будет относительно небольшим и затраты на переустройство кривой практически никогда не окупятся.

В п. 4.8 [2] предусматривается применение одинаковой ограничивающей скорости на 5 км (в сложных условиях 2 км – для пассажирских и 2,5 км – для грузовых поездов). С учетом этих положений был рассмотрен следующий пример (рис. 2). Для определения сокращения времени движения поезда выполнялись тяговые расчеты. На участке (L) было устроено ограничение скорости ($l_{огр}$) 2 км для пассажирских поездов и 2,5 км – для грузовых.

$$L = l_1 + l_{морм} + l_{огр} + l_{разг} + l_2, \quad (1)$$

где L – полная длина участка; l_1, l_2 – участки движения с максимальной скоростью; $l_{\text{торм}}$ – длина участка торможения; $l_{\text{огр}}$ – длина участка ограничения скорости; $l_{\text{разг}}$ – длина участка разгона.

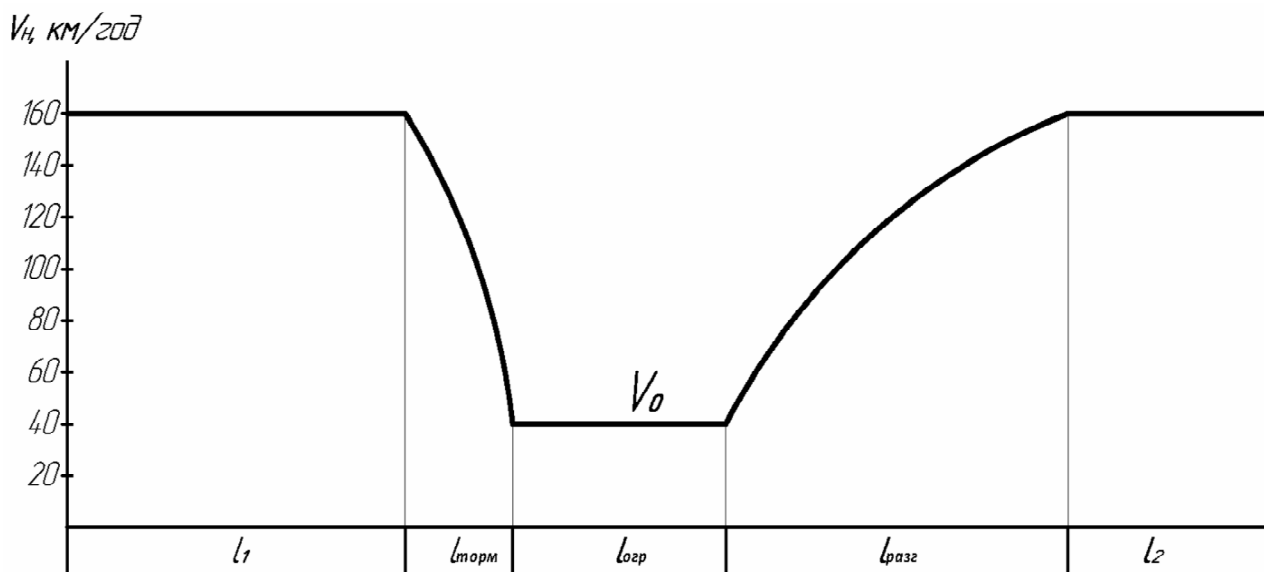


Рис. 2. Расчетная схема участка

В табл. 1 приведена экономия времени движения (с) при отмене ограничения скорости V_o и установлении новой скорости V_n для пассажирского поезда. На рис. 3 приведено сокращение времени движения при изменении скорости на 10 и 20 км/ч.

Таблица 1. Экономия времени движения при отмене ограничения скорости

$V_o,$ км/ч	Экономия времени движения Δt , с, при скорости V_n , км/ч													
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
20	156	238	290	327	354	375	392	406	418	428	436	443	449	454
30		82	134	171	198	219	236	250	262	272	280	287	293	298
40			52	89	116	137	154	168	180	190	198	205	211	216
50				37	64	85	102	116	128	138	146	153	159	164
60					27	48	65	79	91	101	109	116	122	127
70						21	38	52	64	74	82	89	95	100
80							17	31	43	53	61	68	74	79
90								14	26	36	44	51	57	62
100									12	22	30	37	43	48
110										10	18	25	31	36
120											8	15	21	26
130												7	13	18
140													6	11
150														5

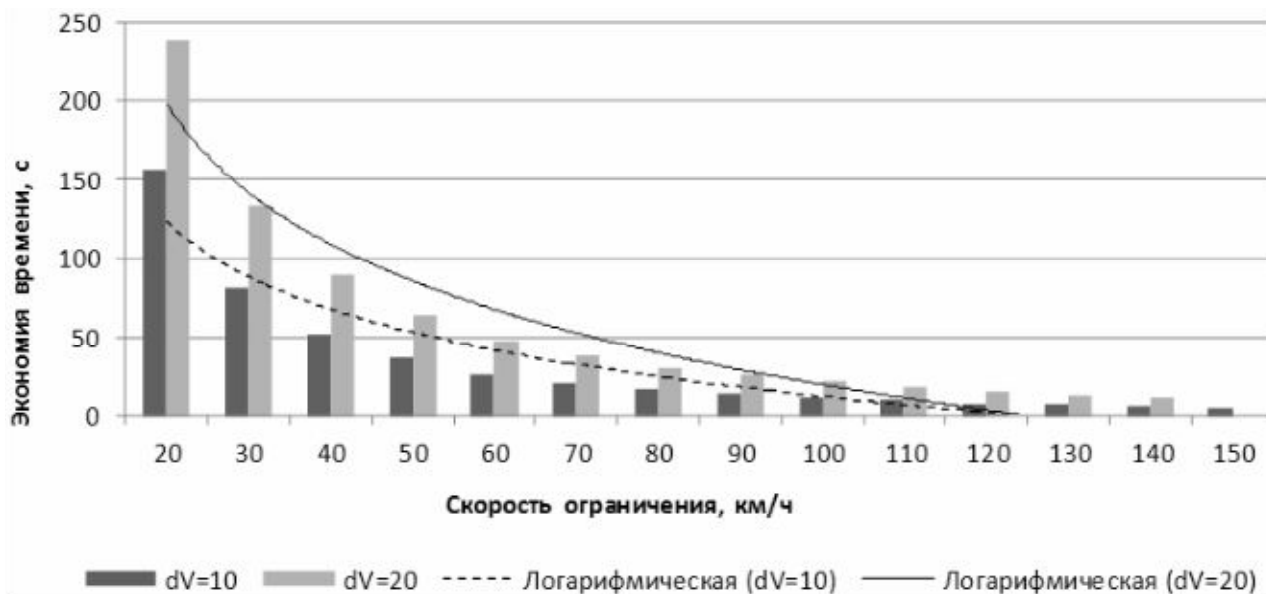


Рис. 3. Зависимость экономии времени от начальной скорости ограничения

В табл. 2 приведены время движения и расход электроэнергии пассажирского поезда при проезде по опытному участку с различными скоростями. Например, рассматривался пассажирский поезд массой 1000 т с локомотивом ЧС7, который движется по горизонтальной площадке.

Таблица 2. Время движения и расход электроэнергии пассажирского поезда при отмене ограничения

V , км/час	Время движения t и расход электроэнергии A при скорости V_n														
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
t , с	544	388	306	254	217	190	169	152	138	126	116	108	101	95	90
A , кВт-час	119	107	94	80	68	57	47	39	34	30	27	27	33	43	54

Как следует из табл. 2, существенный эффект во времени и в затратах электроэнергии имеет место только при небольших скоростях. При возрастании скорости до 140 км/час и больше затраты электроэнергии начинают расти.

Для оценки эффекта от снятия ограничений для грузового движения был принят поезд массой 3500 т с локомотивом ВЛ10. В табл. 3 приведена экономия времени движения при отмене ограничения скорости и установлении новой скорости грузового поезда V_n .

Таблица 3. Экономия времени при отмене ограничения скорости

V_o , км/ч	Экономия времени Δt , с, при скорости V_n , км/ч					
	30	40	50	60	70	80
20	203	309	374	418	450	473
30		106	171	215	247	270
40			65	109	141	164
50				44	76	99
60					32	55
70						23

На рис. 4 приведено сокращение времени движения при изменении скорости на 10 и на 20 км/час.

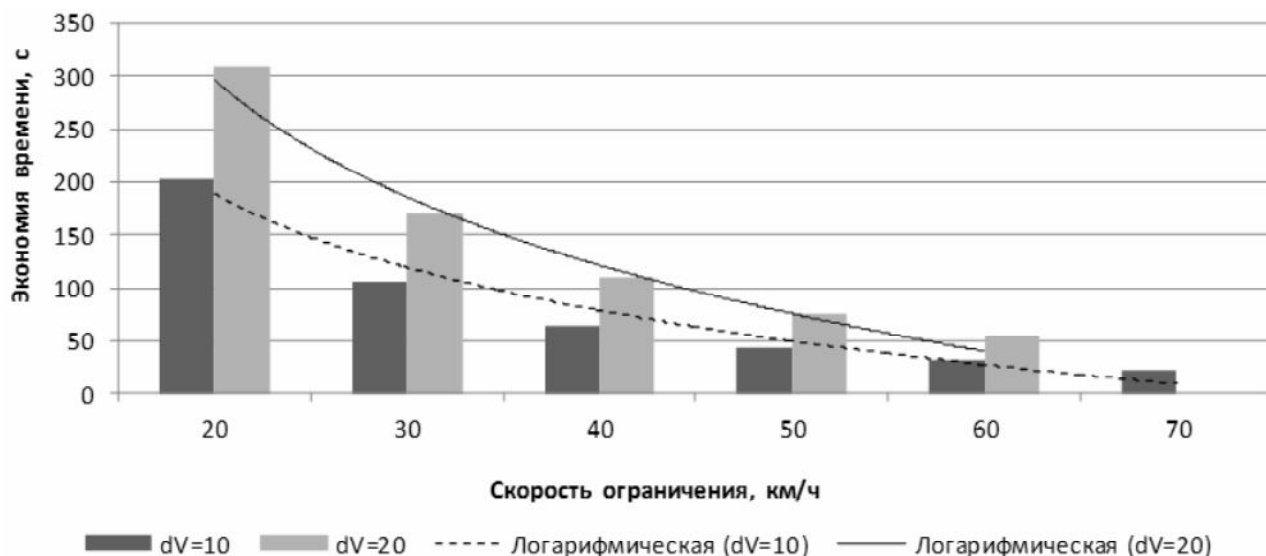


Рис. 4. Зависимость экономии времени от начальной скорости ограничения

В табл. 4 приведены время движения и расход электроэнергии грузового поезда при проезде по опытному участку с различными скоростями. Анализ результатов показал, что для грузового поезда для данного участка снятие ограничений приводит к уменьшению расхода электроэнергии.

Таблица 4. Время движения t и расход электроэнергии A грузового поезда

V , км/ч	20	30	40	50	60	70	80
t , с	653	450	344	279	235	203	180
A , кВт-ч	126	121	118	117	110	108	100

Объемы и стоимость работ для конкретных участков в зависимости от установленного уровня максимальной скорости были определены с использованием программы RWPlan [1]. Для предварительного анализа возможностей повышения скорости за счет рихтовки кривых выполнены следующие расчеты. Рассматривались кривые с радиусами 600, 800 и 1000 м, с переходными кривыми от 20 до 60 м и длиной круговой кривой 50, 500 и 1000 м.

В расчетах были приняты следующие нормативы: непогашенное ускорение $\alpha_{\text{нп}} = 0,7 \text{ м/с}^2$, скорость изменения ускорений $\psi = 0,6 \text{ м/с}^3$, скорость подъема колеса по отводу возвышения наружного рельса – в соответствии с табл. 4.1 ЦП-0236 (для скорости 160 км/ч $f_v = 35 \text{ мм/с}$). Для начального состояния этих кривых были определены максимальные скорости (V_{max} , км/ч) пассажирских поездов (табл. 5).

Таблица 5. Скорости движения пассажирского поезда в зависимости от параметров кривых

R , м	600			800			1000		
L , м	20	40	60	20	40	60	20	40	60
V_{max} , км/ч	77	90	96	85	101	108	90	111	118

Для оценки эффективности повышения скорости в кривых участках пути рассматривались варианты рихтовки кривых на 60 мм (текущее содержание, средние ремонты), 100, 200 и 300 мм (капитальный ремонт с рихтовкой в пределах земляного полотна), 5 и 10 м (вынос трассы в пределах полосы отвода). Также рассматривался вариант увеличения скорости до 160 км/ч с определением величины смещения оси трассы. В табл. 6 приведены значения смещения оси S , м, и экономия времени Δt , с, которые нужны для того, чтобы обеспечить на кривых с соответственно измененными параметрами скорость движения 160 км/ч.

Таблица 6. Смещение оси пути S , затраты C и экономия времени движения Δt при обеспечении в кривых скорости 160 км/ч

R , м		600			800			1000		
L , м		20	40	60	20	40	60	20	40	60
Δt , с		71	65	60	69	54	43	65	37	23
$K = 50$ м	S , м	2,2	3,5	5,0	1,1	1,7	2,4	0,6	0,9	1,2
	C , тыс. у. е.	46	82	129	5194	5671	6184	33919	36372	39929
$K = 500$ м	S , м	115	124	133	54	58	66	29	31	33
	C , тыс. у. е.	21	39	62	2679	2881	3095	12845	13566	14321
$K = 1000$ м	S , м	441	458	476	249	261	273	120	125	130
	C , тыс. у. е.	14	23	31	1674	1797	1925	6458	6758	7066

Величины скоростей V , км/ч, и экономии времени движения Δt , с, которые можно достичь при соответствующих рихтовках, приведены в табл. 7–9 для радиусов 600, 800 и 1000 м. Если рихтовка кривой не давала эффекта, ячейки в таблице не заполнялись.

Таблица 7. Скорости и экономия времени движения при соответствующих рихтовках кривых радиусом 600 м

R , м		600								
L , м		50			500			1000		
Δt , с		20	40	60	20	40	60	20	40	60
$S = 60$ мм	V , км/ч	90	94	98	91	96	98	91	95	99
	Δt , с	16	9	8	17	12	8	17	11	9
	C , у. е.	149	148	161	335	264	385	380	441	643
$S = 100$ мм	V , км/ч	92	96	99	94	98	99	94	97	
	Δt , с	19	12	9	21	14	9	21	13	
	C , у. е.	291	343	369	483	541	687	888	769	
$S = 200$ мм	V , км/ч	97	99	101	98	99		98	98	
	Δt , с	25	16	12	26	16		26	14	
	C , у. е.	510	596	521	1097	3264		1759	6249	
$S = 300$ мм	V , км/ч	102	102	103	99			99		
	Δt , с	31	19	14	27				16	
	C , у. е.	3345	844	859	4534			8859		
$S = 5$ м	V , км/ч				102	101	101	99		
	Δt , с				31	18	12	27		
	C , у. е.				283586	303536	237849	465849		
$S = 10$ м	V , км/ч				105	104	104	100	100	100
	Δt , с				34	22	15	29	17	10
	C , у. е.				486055	532970	487278	633419	653223	664456

Таблица 8. Скорости и экономия времени движения при соответствующих рихтовках кривых радиусом 800 м

$R, м$		800								
$L, м$		50			500			1000		
$\Delta t, с$		20	40	60	20	40	60	20	40	60
$S = 60 \text{ мм}$	$V, \text{ км/ч}$	104	108	109	104	108	111	104	108	111
	$\Delta t, с$	27	13	5	27	13	7	27	13	7
	$C, \text{ у. е.}$	249	327	268	359	362	305	469	533	371
$S = 100 \text{ мм}$	$V, \text{ км/ч}$	107	110	111	108	110		107	111	
	$\Delta t, с$	30	15	7	31	15		30	16	
	$C, \text{ у. е.}$	393	475	432	676	585		1007	1160	
$S = 200 \text{ мм}$	$V, \text{ км/ч}$	114	114	114	111	111		111		
	$\Delta t, с$	37	20	10	34	16		34		
	$C, \text{ у. е.}$	608	710	643	985	669		1727		
$S = 300 \text{ мм}$	$V, \text{ км/ч}$	120	118	116						
	$\Delta t, с$	43	23	12						
	$C, \text{ у. е.}$	797	972	881						
$S = 5 \text{ м}$	$V, \text{ км/ч}$				116	116	115	112	112	112
	$\Delta t, с$				39	22	11	35	18	8
	$C, \text{ у. е.}$				280461	301615	268115	365010	369027	368023
$S = 10 \text{ м}$	$V, \text{ км/ч}$				121	120	120	113	113	113
	$\Delta t, с$				44	25	15	36	19	9
	$C, \text{ у. е.}$				510335	558974	546383	949060	991156	698436

Таблица 9. Скорости и экономия времени движения при соответствующих рихтовках кривых радиусом 1000 м

$R, м$		1000								
$L, м$		50			500			1000		
$\Delta t, с$		20	40	60	20	40	60	20	40	60
$S = 60 \text{ мм}$	$V, \text{ км/ч}$	113	116	121	116	117	122	115	117	121
	$\Delta t, с$	31	7		35	8		34	8	
	$C, \text{ у. е.}$	250	262	258	358	329	297	475	480	332
$S = 100 \text{ мм}$	$V, \text{ км/ч}$	116	119	122	121	120		118	120	122
	$\Delta t, с$	35	10		39	11		36	11	
	$C, \text{ у. е.}$	379	427	446	650	453		954	764	376
$S = 200 \text{ мм}$	$V, \text{ км/ч}$	125	125	126	122	122		122	122	
	$\Delta t, с$	43	15	3	40	12		40	12	
	$C, \text{ у. е.}$	588	686	679	809	575		1404	915	
$S = 300 \text{ мм}$	$V, \text{ км/ч}$	133	130	130						
	$\Delta t, с$	49	19	6						
	$C, \text{ у. е.}$	781	915	1022						
$S = 5 \text{ м}$	$V, \text{ км/ч}$				129	129	128	124	124	124
	$\Delta t, с$				46	18	5	42	14	2
	$C, \text{ у. е.}$				280026	302872	286735	492367	508394	520918
$S = 10 \text{ м}$	$V, \text{ км/ч}$				136	135	134	125	125	125
	$\Delta t, с$				52	23	9	43	15	2
	$C, \text{ у. е.}$				521471	528548	579249	906177	947230	985787

Расчеты достаточно убедительно показывают, что попытки на некоторых железных повышать скорость до 160 км/ч при смещении оси пути в пределах полосы отвода не дают существенного эффекта по сравнению с рихтовкой пути в пределах основной площадки земляного полотна.

Несколько неожиданный результат расчетов заключается в том, что выигрыш во времени, при рихтовке пути в пределах земляного полотна при больших значениях радиуса является большим, по сравнению с меньшими радиусами.

Расчеты достаточно наглядно показывают, что при проектировании ремонтов пути можно достичь существенного выигрыша во времени движения только за счет выполнения требований ЦП-113 (п. 2.3.2–2.3.4 ... исправления кривых в плане с восстановлением проектных радиусов) [8], т.е. устанавливать путь при капремонте в проектное положение.

При рихтовке пути на расстояние большее 60 мм будут возникать дополнительные объемы работ, связанные с работами по контактной сети и досыпке балласта. Определение дополнительных объемов предусмотрено при расчетах перестройки плана линии в программе RWPlan.

Следует отметить, что во многих случаях при определении новых параметров плана под большую скорость были получены решения, при которых уменьшался радиус, но увеличивалась длина переходной кривой. Значения радиусов круговых и длин переходных кривых, полученных при расчетах, приведены в табл. 10–12.

Таблица 10. Проектные радиусы R_n , экономия времени движения Δt при соответствующих рихтовках S (существующая кривая радиусом 600 м)

$R, \text{ м}$		600								
$K, \text{ м}$		50			500			1000		
$L, \text{ м}$		20	40	60	20	40	60	20	40	60
$S = 60 \text{ мм}$	$R_n, \text{ м}$	577	566	604	599	599	600	600	600	600
	$\Delta t, \text{ с}$	40	56	60	39	53	60	38	50	65
$S = 100 \text{ мм}$	$R_n, \text{ м}$	603	587	619	598	598	600	599	600	
	$\Delta t, \text{ с}$	41	57	60	49	60	70	47	57	
$S = 200 \text{ мм}$	$R_n, \text{ м}$	655	615	650	597	600		599	600	
	$\Delta t, \text{ с}$	46	61	60	52	63		60	61	
$S = 300 \text{ мм}$	$R_n, \text{ м}$	685	647	681	600				600	
	$\Delta t, \text{ с}$	56	64	60	65				63	
$S = 5 \text{ м}$	$R_n, \text{ м}$				647	631	631	600		
	$\Delta t, \text{ с}$				72	63	70	63		
$S = 10 \text{ м}$	$R_n, \text{ м}$				694	678	678	615	615	615
	$\Delta t, \text{ с}$				72	72	70	63	63	65

Таблица 11. Проектные радиусы $R_{п}$ и экономия времени движения Δt при соответствующих рихтовках S (существующая кривая радиусом 800 м)

$R, м$		800								
$K, м$		50			500			1000		
$L, м$		20	40	60	20	40	60	20	40	60
$S = 60 \text{ мм}$	$R_{п}, м$	790	785	794	798	797	799	799	800	800
	$\Delta t, с$	42	56	68	42	57	70	42	54	63
$S = 100 \text{ мм}$	$R_{п}, м$	818	793	797	796	797		799	800	
	$\Delta t, с$	46	61	75	54	64		51	64	
$S = 200 \text{ мм}$	$R_{п}, м$	897	864	847	796	797		799		
	$\Delta t, с$	54	61	76	64	67		64		
$S = 300 \text{ мм}$	$R_{п}, м$	1013	921	882						
	$\Delta t, с$	54	64	76						
$S = 5 \text{ м}$	$R_{п}, м$				882	882	864	812	812	812
	$\Delta t, с$				65	68	70	65	65	65
$S = 10 \text{ м}$	$R_{п}, м$				973	955	955	829	829	829
	$\Delta t, с$				65	69	70	65	65	65

Таблица 12. Проектные радиусы $R_{п}$ и экономия времени движения Δt при соответствующих рихтовках S (существующая кривая радиусом 1000 м)

$R, м$		1000								
$K, м$		50			500			1000		
$L, м$		20	40	60	20	40	60	20	40	60
$S = 60 \text{ мм}$	$R_{п}, м$	1022	1018	997	998	998	996	999	999	999
	$\Delta t, с$	41	51	72	46	58	76	46	58	72
$S = 100 \text{ мм}$	$R_{п}, м$	1092	1024	1033	993	995		999	999	999
	$\Delta t, с$	40	60	69	62	69		95	68	76
$S = 200 \text{ мм}$	$R_{п}, м$	1223	1106	1086	995	994		998	999	
	$\Delta t, с$	49	67	74	65	77		68	76	
$S = 300 \text{ мм}$	$R_{п}, м$	1386	1206	1163						
	$\Delta t, с$	52	68	77						
$S = 5 \text{ м}$	$R_{п}, м$				1128	1128	1108	1030	1030	1030
	$\Delta t, с$				68	78	78	69	77	77
$S = 10 \text{ м}$	$R_{п}, м$				1271	1250	1229	1049	1049	1049
	$\Delta t, с$				67	79	79	69	78	78

Выводы

1. Проведенный анализ плана на эксплуатируемых железных дорогах подтвердил необходимость разработки методики по переустройству кривых с определением объемов и стоимости работ для повышения скорости.

2. При проектировании ремонтов пути можно достичь существенного выигрыша во времени движения поездов только за счет параметров плана линии с переходом в новое проектное положение, которое предусматривает переустройства (рихтовки) в пределах основной площадки существующего земляного полотна.

3. Повышение скорости до 160 км/ч при смещении оси пути в пределах полосы отвода не дают существенного эффекта по сравнению с рихтовкой пути в пределах основной площадки земляного полотна. Расходы на перестройку кривых в этом случае окупаются за пределами нормативного срока.

Список литературы

1. Корженевич И.П. Обработка съёмки и расчеты плана железнодорожных путей с помощью программы RWPlan [Электронный ресурс] / И.П. Корженевич; Интеллектуальные рельсовые системы. – Режим доступа : http://www.brailsys.com/RWPlan_My.htm.

2. Державні будівельні норми України. Споруди транспорту. Залізничі колії 1520 мм. Норми проектування : ДБН В.2.3-019-2008 / затв. наказом Мінрегіонбуд України від 26.01.2008 № 42. – К. : Мінрегіонбуд, 2008. – 123 с.

3. Правила визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей в кривих ділянках колії: ЦП-0236 / М.Б. Курган, А.М. Орловський, О.М. Патласов, В.В. Циганенко, Д.М. Курган / затв. наказом Укрзалізничі від 14.12.2010 №778-Ц. – К., 2010. – 52 с.

4. Інструкція по устрою та утриманню колії залізниць України: ЦП-0269 / затв. наказом Міністерства інфраструктури України від 01.03.2012 № 072-Ц. – К. : НВП Поліграфсервіс, 2012 – 456 с.

5. Технічні вказівки щодо оцінки стану рейкової колії за показниками колієвимірювальних вагонів та забезпечення безпеки руху поїздів при відступах від норм утримання рейкової колії: ЦП-0020 / затв. наказом Укрзалізничі № 9-Ц від 17.01.1996. – К. : Транспорт України, 1997. – 36 с.

6. Положение по оценке фактических параметров устройства кривых участков пути вагонами путеизмерителями, расчету рациональных параметров устройства кривых для их паспортизации: ЦПТ-46/2 : [утв. ОАО «РЖД» 19 марта 2009 г.]. – М., 2009. – 43 с.

7. Курган М.Б. Організація швидкісного руху при застосуванні рухомого складу з примусовим нахилом кузова вагонів / М.Б. Курган, І.П. Корженевич, В.В. Арсонов // Наука та прогрес транспорту : вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2006. – № 11. – С. 50–59.

8. Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України: ЦП-0113 / затв. наказом Укрзалізничі від 10.08.2004 № 630-ЦЗ. – К., 2004. – 31 с.