

ВПЛИВ ОБМЕЖЕННЯ ШВИДКОСТІ НА ЕНЕРГЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ РУХУ ПОЇЗДІВ

Результати аналізу постійних і тривалих попереджень з обмеження швидкості руху поїздів, що діють на Придніпровській залізниці та пов'язані зі станом залізничної колії.

Результати анализа постоянных и временных предупреждений по ограничению скорости движения поездов, которые действуют на Приднепровской железной дороге и связаны с состоянием железнодорожного пути.

The results of analysis of constant and temporary speed limits of the train movement acting at Pridneprovskaya railway and connected with the railroad track condition.

Вступ

Утворення єдиного європейського ринку, інтеграція України в європейське співтовариство створюють передумови до значного зростання обсягів пасажирських і вантажних перевезень. За цих умов до транспорту пред'являються принципово нові вимоги. Радикальним заходом, що забезпечує внутрішні і міжнародні пасажирські перевезення є створення швидкісної мережі залізничних магістралей з виходом на європейську мережу і країни СНД [1].

На існуючих напрямках міжнародних транспортних коридорів, що проходять територію України, маршрутна швидкість становить 80...90 км/год. Досягти більшої маршрутної швидкості тільки за рахунок перерозподілу поїздопоту на мережі, вдосконалення графіка руху поїздів, раціонального використання наявних технічних засобів неможливо. Необхідно впроваджувати більш дорогі заходи – реконструкцію залізниці, що включає роботи з перебудови кривих, усунення постійних і тривалих попереджень швидкості руху.

Також слід відмітити, що в Укрзалізниці розроблено Програму приведення колійного господарства сталених магістралей у належний стан, яка передбачає оновлення всього залізничного полотна до 2010 року. Одне з головних

завдань залізничників – ліквідація прострочених термінів з модернізації і капітального ремонту [2].

Постановка задачі

Обмеження швидкості руху поїздів на залізницях – розповсюджені явища. Поява попереджень з обмеження швидкості руху поїздів на тих чи інших ділянках залізниці залежить від багатьох факторів: пропущеного тоннажу, вантажонапруженості, осьових навантажень, поздовжнього профілю тощо. Вплив деяких з перелічених факторів на рівень швидкості, що обмежує рух, розглянуто в роботах [3–5].

Щоб провести статистичний аналіз попереджень, що були закладені до графіків руху поїздів у 2005 і 2006 роках на Придніпровській залізниці були зібрані вихідні дані і виконана їх систематизація. На рис. 1 і 2 показані діаграми розподілу відповідно постійно діючих і тривалих попереджень з різним рівнем допустимої швидкості. Як видно з діаграми (рис. 1), найбільша кількість попереджень (36%), які обмежують швидкість рівнем 25 км/год, майже одна чверть (23%) – це попередження, що допускають швидкість руху 40 км/год та одна третина – попередження, що допускають максимальну швидкість руху 60 км/год.

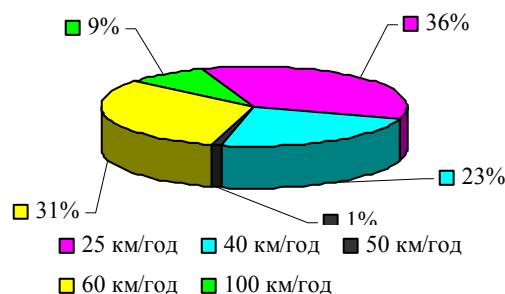


Рис. 1. Допустима швидкість руху (постійні попередження)

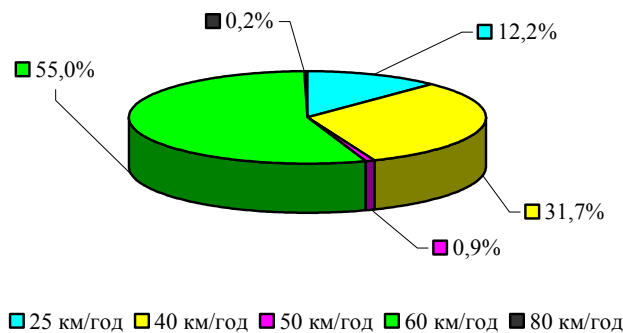


Рис. 2. Допустима швидкість руху (тривалі попередження)

Аналіз розподілів показує, що довжина ділянки, у межах якої діють попередження, коливається 100...6000 м. Якісні картини діючих попереджень наведені в табл. 1–3. З рис. 3 видно, що найбільшу кількість постійних попереджень (51 %) було закладено через шахтні підробітки та 19 % попереджень – за деформацією земляного полотна.

Таблиця 1

Допустима швидкість руху, км/год	Довжини ділянок з обмеженнями, м	
	постійні	тривалі
25	7 900	14 200
40	5 200	36 900
50	200	1 000
60	6 900	64 000
80	–	200
100	2 000	–

Таблиця 2

Причина обмеження швидкості руху	Довжини ділянок з певними обмеженнями, м
Деформації земляного полотна	5 500
Спливи косогору	800
Ремонтні роботи в тунелях	1 400
Шахтні підробітки	8 300
Всього	16 000

Найбільша кількість тривалих попереджень була зумовлена причинами, що виникли через невиконання ремонтів (прострочені кілометри) з: модернізації колії – 24 %, середнього ремонту – 27 %, а також через непридатність шпал (рис. 4).

Таблиця 3

Причина обмеження швидкості руху	Довжини ділянок з певними обмеженнями, м
Дефектність елементів штучних споруд	2 700
Дефектність рейко-шпальної решітки	33 600
Попередження через прострочення:	
капітального ремонту	4 200
модернізації колії	18 900
середнього ремонту	19 200
Всього	78 600

З аналізу наведених даних видно, що проблема щодо зменшення кількості і видів обмежень швидкості існує. Для її розв'язання насамперед необхідно дослідити, в якій мірі той чи інший фактор, пов'язаний з обмеженням швидкості руху, впливає на енергетичні й експлуатаційні показники. В роботі розглядалися такі фактори:

- швидкість, що обмежує рух поїздів;
- довжина ділянки обмеження;
- час руху;
- ходова швидкість;
- уклон поздовжнього профілю, на якому знаходиться ділянка обмеження.

З цієї метою було виконано наступні дослідження.

Методика дослідження

Методика дослідження передбачає застосування розробленої на кафедрі «Проектування і будівництво доріг» ДПТУ тягово-експлуатаційної моделі. Така модель дозволяє встановлювати підвищення зовнішньої рейки в кривих і відповідну довжину перехідних кривих, визначати допустиму швидкість руху і виконувати тягові розрахунки, оцінювати комфортабельність їзди і визначати експлуатаційні витрати, пов'язані з рухом поїздів, табл. 4.

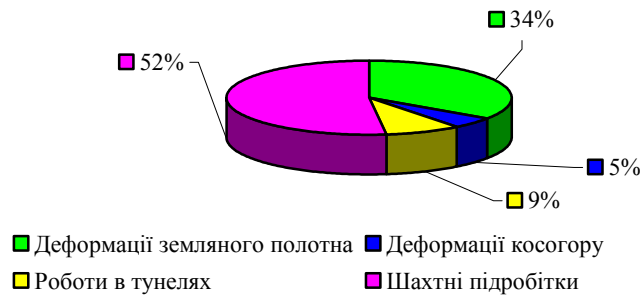


Рис. 3. Постійні попередження

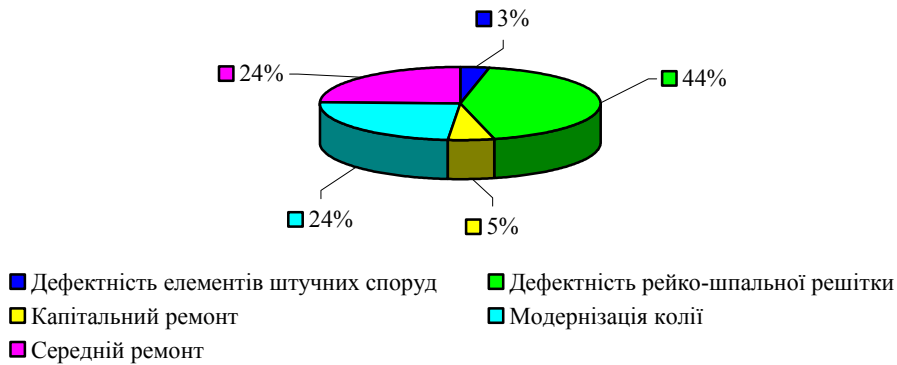


Рис. 4. Тривалі попередження

Таблиця 4

Структурна схема тягово-експлуатаційної моделі

Виконання операцій	Пояснення
Розрахунки підвищення зовнішньої рейки і корегування довжини перехідних кривих	Може бути змінено підвищення зовнішньої рейки відносно існуючого і відкоригована довжина перехідних кривих в залежності від швидкості, яку необхідно забезпечити після реконструкції ділянки залізниці (перехідні криві подовжуються, якщо достатня довжина прямих ділянок колії, що примикають).
Розрахунки допустимої швидкості руху поїзда	Результатами розрахунків є допустимі швидкості руху на кожній кривій з встановленням причин, що обмежують швидкість.
Тягові розрахунки	Виконуються розрахунки з використанням файлів, що включають параметри поздовжнього профілю, плану лінії, характеристики рухомого складу, обмеження швидкості на станціях і інших «бар'єрних» місцях.
Аналіз комфортабельності їзди	Визначається векторна сума горизонтальних, вертикальних і поздовжніх прискорень, що діють на пасажирів у поїзді, і коефіцієнт комфорту пасажирів.
Визначення експлуатаційних витрат	Визначаються витрати пов'язані з рухом вантажного і пасажирського поїзду. При цьому враховуються механічна робота локомотива, робота сил опору, час руху, що визначаються тяговими розрахунками.

Для всіх ділянок, на яких встановлено обмеження швидкості, характерний такий режим руху поїзда. При русі на підйом до обмеження та після його проходження поїзд рухається в режимі тяги, перед обмеженням гальмує та

безпосередньо обмеження проходить в режимі обмеженого використання сили тяги. При русі на спуск поїзд рухається в режимі регульованого гальмування, перед обмеженням гальмує, потім по ділянці обмеження знову рухається в

режимі регулювального гальмування і після її проходження для набирання швидкості поїзд рухається в режимі тяги, а потім знову у режимі регулювального гальмування. Режими руху поїзда залежать від встановленого рівня максимальної швидкості на ділянці, маси поїзда, уклону поздовжнього профілю та ін.

На рис. 5 наведено приклад обмеження швидкості на ділянці суміжних кривих, що розділені

прямою вставкою. Довжина ділянки обмеження швидкості руху (ділянка 2) включає в себе довжину поїзда $L_{п}$, довжини кривих K_1 , K_2 і пряму вставку між ними d . Аналогічний вигляд матиме ділянка з обмеженням швидкості руху при постійних, тривалих чи тимчасових попередженнях. На основі проведеного аналізу для розрахунків були прийняті наступні вихідні дані (табл. 5).

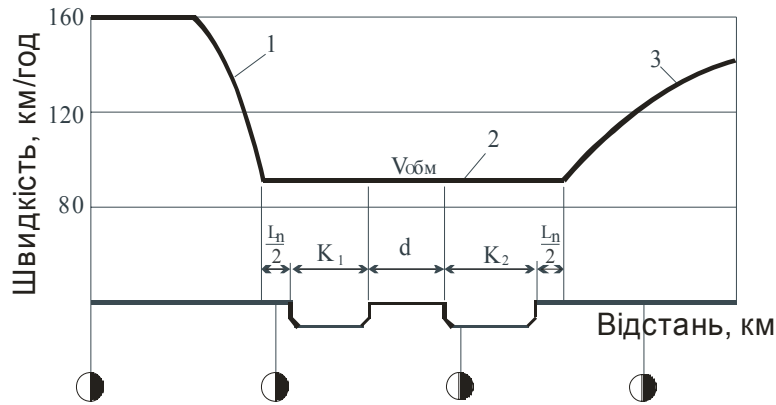


Рис. 5. Приклад обмеження швидкості руху на ділянці суміжних кривих

Таблиця 5

Вихідні дані	Пасажи́рський рух	Вантажний рух
Довжина ділянки обмеження, м	100, 500, 1 000, 2 000, 5 000	
Вид тяги	електрична	
Тип локомотиву	ЧС-7	ВЛ-11
Довжина поїзда, м	500	1 000
Середня маса рухомого складу, т	1 000	4 500
Швидкість, що обмежує рух поїздів, км/год	25, 40, 50, 60, 80, 100	25, 40, 50, 60, 80
Максимальна швидкість руху поїздів, км/год	160	90
Уклон профілю, ‰	1...8 ‰ (з кроком 1 ‰)	

Нижче наведені результати, що були отримані з використанням тягово-експлуатаційної моделі.

Було встановлено наступні залежності:

- часу руху від довжини ділянки обмеження та швидкості, що обмежує рух поїздів;
- середнього квадратичного відхилення швидкості руху від довжини ділянки обмеження та швидкості, що обмежує рух поїздів;
- ходової швидкості від довжини ділянки обмеження, уклону профілю і швидкості, що обмежує рух поїздів.

Як показали результати розрахунків, довжина ділянки обмеження впливає на час руху лише до певного значення швидкості, що обмежує рух поїздів. На рис. 6 наведено приклад руху вантажного поїзда на підйом при уклоні профілю 4 ‰. Зі вказаного графіку видно у скільки разів зменшується час руху зі зменшенням швидкості, що обмежує

рух поїздів. Найбільш суттєвий вплив довжини ділянки обмеження на час руху спостерігається при значенні швидкості, що обмежує рух поїздів 25 і 40 км/год, а при швидкості більше за 60 км/год, цей вплив зовсім зникає.

В інших випадках при русі на підйом довжина ділянки обмеження перестає впливати на час руху поїзда при наступному значенні швидкості, що обмежує рух поїздів: уклон 1...6 ‰ – 60 км/год і уклон 7...8 ‰ – 50 км/год.

Що стосується руху на спуск, то залежність у цьому випадку майже не відрізняється від тієї, що наведена на рис. 6: вплив довжини ділянки обмеження на значення часу руху зникає, коли швидкість, що обмежує рух поїздів, дорівнює 80 км/год, причому таке явище характерне для усіх уклонів профілю.

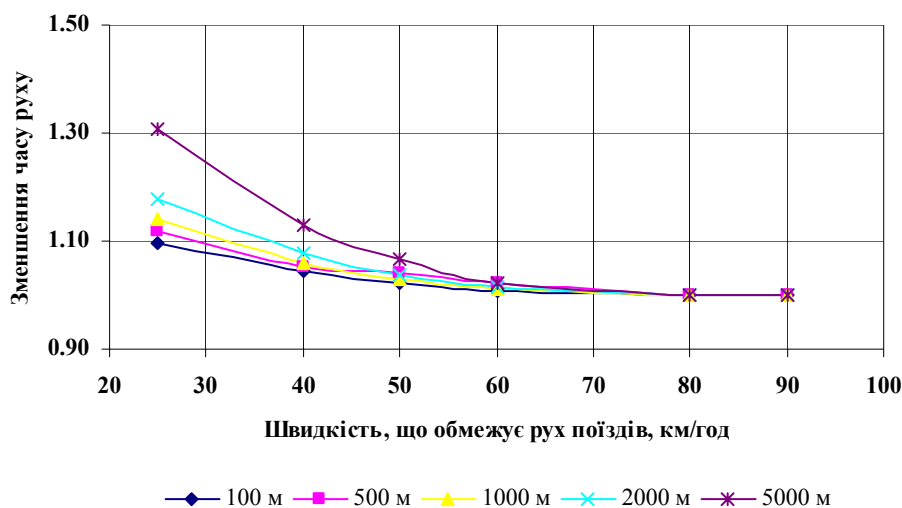


Рис. 6. Залежність зменшення значення часу руху від довжини ділянки обмеження та швидкості, що обмежує рух поїздів (рух на підйом, уклон 4 %, локомотив ВЛ-11)

На рис. 7 наведена залежність часу руху поїзда від швидкості, що обмежує рух поїздів, при русі вантажного поїзда на підйом і на спуск (уклон профілю у даному випадку 8 %): зі збільшенням значення швидкості, що обмежує рух

поїздів зменшується час руху за однаковими закономірностями як для руху на підйом, так і для руху на спуск. Вказана залежність описується поліномом другого ступеню (рис. 7) і також є характерною для руху пасажирського поїзду.

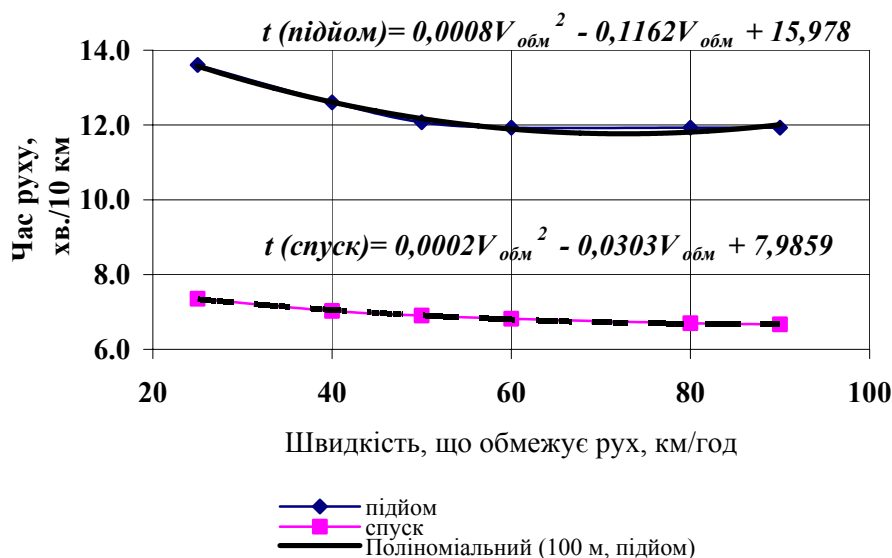


Рис. 7. Залежність часу руху від швидкості, що обмежує рух поїздів (довжина ділянки обмеження 100 м, уклон 8 %, локомотив ВЛ-11)

З метою попередньої оцінки плавності руху поїзда були досліджені зміни середнього квадратичного відхилення σ_v швидкості від довжини ділянки обмеження, уклону профілю і швидкості, що обмежує рух поїздів (рис. 8 і 9). Результати розрахунків показали, що значення середнього квадратичного відхилення швидкості зменшується зі збільшенням швидкості, що обмежує рух поїздів (рис. 8) і описується логарифмічним законом. Існує закономірність: чим більше довжи-

на ділянки обмеження, тим більше значення середнього квадратичного відхилення (рис. 9).

Оскільки зростання середнього квадратичного відхилення швидкості σ_v суттєво впливає на комфортабельність їзди пасажирів, то було проаналізовано залежності між середнім квадратичним відхиленням швидкості і довжиною ділянки обмеження, уклонем і швидкістю, що обмежує рух поїздів. Вибіркові результати розрахунків наведені в табл. 6.

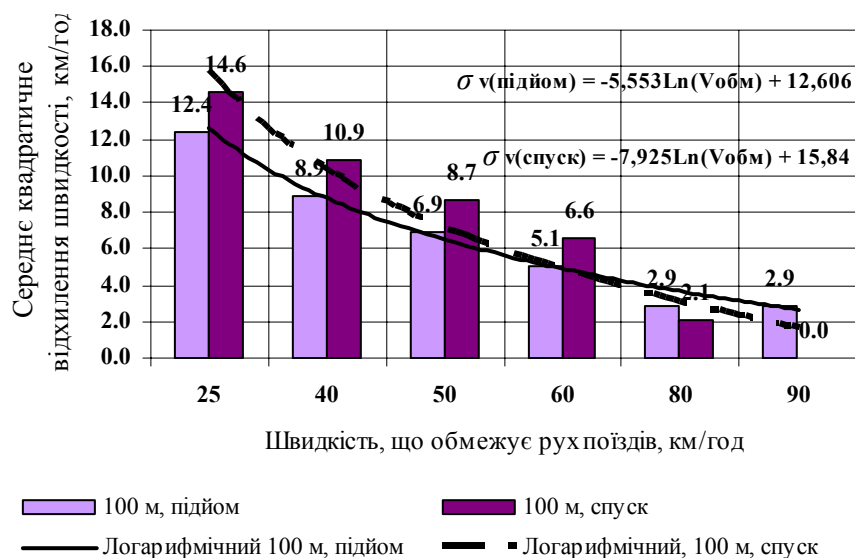


Рис. 8. Залежність середнього квадратичного відхилення швидкості від швидкості, що обмежує рух поїздів (уклон профілю 2 %, локомотив ВЛ-11)

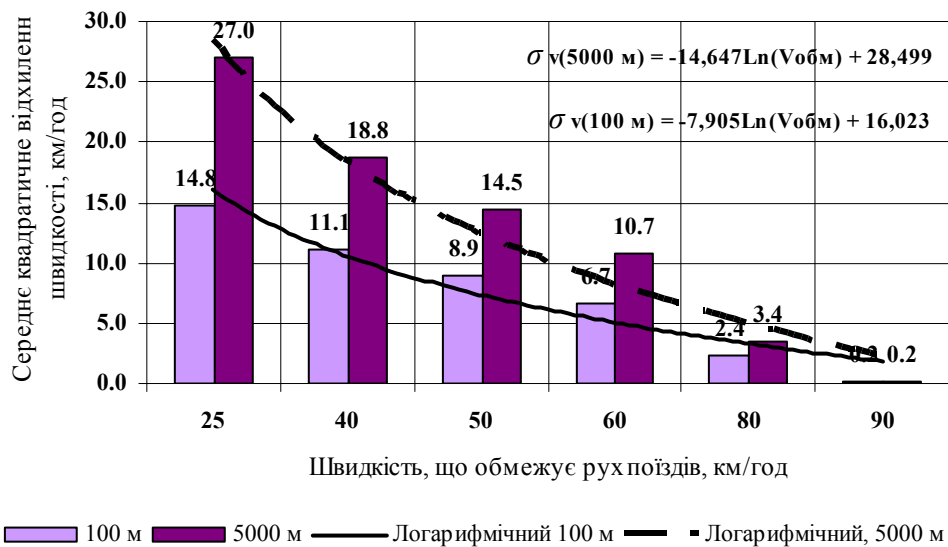


Рис. 9. Залежність середнього квадратичного відхилення швидкості від швидкості, що обмежує рух поїздів та довжини ділянки обмеження (уклон профілю 0 %, локомотив ВЛ-11)

Таблиця 6

Зменшення середнього квадратичного відхилення швидкості (у %) при збільшенні значення швидкості, що обмежує рух поїздів (локомотив ЧС-7)

Уклон, %	Підвищення $V_{\text{обм}}$, км/год	Довжина ділянки обмеження, м					
		100 м		1 000 м		5 000 м	
		$\sigma_{V(\text{підйом})}$	$\sigma_{V(\text{спуск})}$	$\sigma_{V(\text{підйом})}$	$\sigma_{V(\text{спуск})}$	$\sigma_{V(\text{підйом})}$	$\sigma_{V(\text{спуск})}$
0	від 25 до 40	25	25	29	29	30	30
	від 40 до 50	15	15	15	15	16	16
2	від 25 до 40	28	25	30	27	34	31
	від 40 до 50	16	15	17	15	17	16
4	від 25 до 40	29	26	31	28	35	31
	від 40 до 50	16	15	18	15	20	16

З табл. 6 видно, що зі збільшенням довжини ділянки обмеження зростає значення середнього квадратичного відхилення швидкості. Це ж саме явище спостерігається і зі збільшенням значення уклону профілю, як при русі на підйом, так і при русі на спуск.

У подальших розрахунках наведені дані щодо зменшення часу руху при збільшенні швидкості, що обмежує рух поїздів, для пасажирського та вантажного руху, табл. 7. З аналізу табл.7 можна зробити висновок, що на горизонтальній площадці і довжині ділянки обмеження 500 м підвищення швидкості, що обмежує рух від 25 до 40 км/год, призводить до скорочення часу руху на 9,5 %. За тих же умов і довжині обмеження 1 000 м це скорочення вже складає 12,6 %, при довжині обме-

ження 5 000 м – 17,9 %. Подібна закономірність спостерігається й при вантажному русі. Слід відмітити, що зменшення часу при пасажирському русі більш суттєве, ніж при вантажному.

Подальші дослідження стосуються механічної роботи локомотива та її взаємозв'язку зі швидкістю, що обмежує рух поїздів. На рис. 10 поліноміальним законом описана залежність між механічною роботою і швидкістю, що обмежує рух поїздів, при русі вантажного поїзда на підйом і на спуск з укладом поздовжнього профілю 2 ‰ та довжиною ділянки обмеження 100 м. Зі збільшенням швидкості, що обмежує рух поїздів відбувається зменшення механічної роботи локомотива, причому більш суттєве при русі на спуск.

Таблиця 7

Зменшення часу руху (у %) при підвищенні значення швидкості, що обмежує рух поїздів (локомотив ЧС-7)

Уклон, ‰	Підвищення $V_{обм}$, км/год	Довжина ділянки обмеження, м					
		500 м		2 000 м		5 000 м	
		$t_{(підйом)}$	$t_{(спуск)}$	$t_{(підйом)}$	$t_{(спуск)}$	$t_{(підйом)}$	$t_{(спуск)}$
0	від 25 до 40	9,5	9,5	14,8	14,8	17,9	17,9
	від 40 до 50	5,8	5,8	6,8	6,8	7,1	7,1
2	від 25 до 40	9,1	9,3	13,4	14,2	17,7	17,1
	від 40 до 50	5,6	5,7	6,7	6,8	7,1	7,2
4	від 25 до 40	8,3	8,9	12,5	13,6	17,4	18,3
	від 40 до 50	5,4	5,6	6,5	6,6	6,9	7,2
6	від 25 до 40	8,2	8,7	11,3	12,4	17,2	18,5
	від 40 до 50	5,4	5,5	6,5	6,6	6,9	7,4

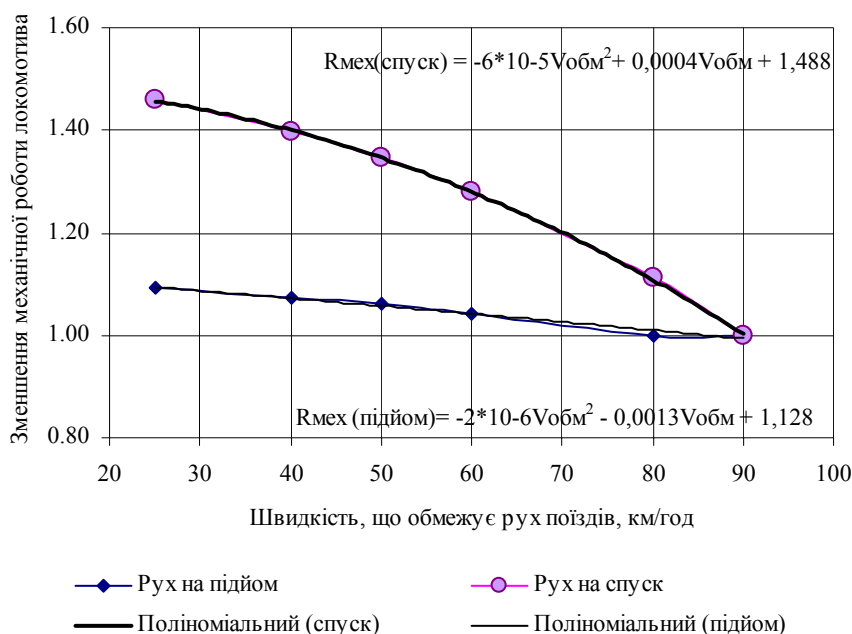


Рис. 10. Зменшення механічної роботи локомотива при підвищенні швидкості, що обмежує рух поїздів (довжина ділянки обмеження 100 м, уклон 2 ‰, локомотив ВЛ-11)

Висновки

За результатами досліджень можна зробити наступні висновки.

1. Наявність ділянок з обмеженням швидкості руху поїздів викликає суттєве збільшення середнього квадратичного відхилення швидкості, що, в свою чергу, впливає на комфортабельність їзди пасажирів. Так, при уклоні профілю 0 ‰ і довжині ділянки обмеження 100 м з підвищенням швидкості, що обмежує рух, від 25 до 40 км/год, середнє квадратичне відхилення швидкості σ_v зменшується на 25 %, а при довжині обмеження 1 000 м – на 29 %. Також спостерігається вплив уклону профілю. При уклоні 4 ‰ σ_v відповідно складають 29 і 31 % – при русі на підйом та 26 і 28 % – при русі на спуск.

2. На ходову швидкість впливає довжина ділянки обмеження: чим більша довжина ділянки обмеження, тим менша ходова швидкість, і, відповідно, тим більший час руху. На ділянці довжиною 100 м, що розташована на горизонтальній площадці при підвищенні швидкості, що обмежує рух від 25 до 40 км/год ходова швидкість пасажирського поїзда зростає на 1,9 %, а час руху зменшиться на 2,4 %. Якщо довжина ділянки обмеження становитиме 500 м, 1 000 і 5 000 м, то зростання ходової швидкості буде відповідно 2,5; 5,8 та 9,2 %, а час руху зменшиться на 2,5; 6,8; 14,0 %. При уклоні профілю 6 ‰ ходова швидкість зростає: при русі на підйом – на 4,9; 8,3; 12,3 %, а при русі на спуск – на 2,3; 7,2 та 11,2 %. З подальшим підвищенням швидкості, що обмежує рух зростання ходової швидкості буде менш значним.

3. З підвищенням швидкості, що обмежує рух поїздів механічна робота локомотива зменшується і, відповідно, зменшуються витрати електроенергії. Наприклад, якщо розглядати рух вантажного поїзду на спуск при уклоні профілю 2 ‰ і довжині ділянки обмеження 100, 1 000 і 5 000 м, то підвищення швидкості, що обмежує рух від 25 до 40 км/год викликає зме-

ншення механічної роботи локомотиву на 4,4; 4,1 і 4,0 % відповідно, при подальшому підвищенні до 50 км/год відповідно на 3,5; 3,3 і 2,9 %. При русі на підйом для таких самих умов зменшення механічної роботи локомотиву буде менш суттєвим (0,6...1,5 %).

4. Тривалість дії обмеження, безумовно, впливає на енергетичні показники, але в більшій степені впливає рівень швидкості, що обмежує рух поїздів. Зона впливу обмеження тим більша, чим більша довжина ділянки обмеження, менше встановлений рівень швидкості і більше час дії обмеження.

Отримані в роботі дані дають можливість визначити вплив обмеження швидкості руху поїздів на експлуатаційні витрати.

БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Курган М. Б. Впровадження швидкісного руху поїздів в Україні /М. Б. Курган, І. П. Корженевич // Залізничний транспорт України. – 2005. – № 2. – С. 45–51;
2. Рагулін П. В. Щоб не фальшивила колійна «мелодія» / Магістраль, № 10 (1188), 14 – 20 лютого 2007 р. – С. 7;
3. Скутин А. И. Определение времени хода поездов с учетом состояния пути // Проектирование технического перевооружения железных дорог с учетом сохранения окружающей среды и применения элементов САПР: Межвузовский сб. науч. тр. – Днепропетровск: ДИИТ. – 1989. – С. 50–54.
4. Моисеенко О. Л. Анализ простоев поездов // Проектирование и усиление железных дорог Урала: Межвузовский сб. науч. тр. – Свердловск – 1984. – С. 18–26.
5. Юшаков Л. Ф. К вопросу о влиянии ограниченный скоростей на движение поездов // Проектирование и усиление железных дорог Урала: Межвузовский сб. науч. тр. – Свердловск – 1984. – С. 26–29.

Надійшла до редколегії 16.03.07.