

## ВТРАТИ ЧАСУ РУХУ ПОЇЗДІВ НА ДІЛЯНКАХ ОБМЕЖЕННЯ ШВИДКОСТІ

Встановлені аналітичні залежності між втратами часу руху та швидкістю, що обмежує рух поїздів.

Определение аналитической зависимости между потерями времени движения и скоростью, которая ограничивает движение поездов.

The analytical dependence of the time loss from the speed which limits train movement has been defined.

### Вступ

Одним з важливих показників, які характеризують роботу залізничного транспорту, є графік руху поїздів. Однак досягти 100 % виконання його у всіх видах сполучення ще не вдалося. Основною причиною затримок є наявність попереджень, вплив «вікон». Так, у 2006 році затримки від різних господарств Укрзалізниці склали близько 900 год, третина з яких припадає на колійне господарство [1]. Детальний розподіл затримок поїздів показано на рис. 1.

Обмеження швидкостей на залізницях – досить розповсюджене явище. Деякі обмеження, наприклад, як через модернізацію або капітальний ремонт (несвоєчасне проведення ремонтів), враховуються при складанні графіку руху поїздів, інші ж виникають раптово і призводять до

збоїв в русі поїздів. Так, у 2006 році по Укрзалізниці було 162 834 випадків неграфікових зупинок поїздів з додатковими витратами на тягу поїздів 5,43 тис. туп енергоресурсів орієнтовною вартістю 7,4 млн грн [2] (рис. 2).

При розв'язуванні різних задач, що пов'язані з рухом поїздів, приходиться визначати час руху, швидкості руху та інші експлуатаційні показники. Як правило, ці показники визначаються без урахування короткотривалих обмежень швидкостей руху, які з'являються в процесі експлуатації залізниць і також впливають на режим руху поїзда. Ігнорування наявності короткотривалих обмежень швидкості може призвести до прийняття неправильного рішення при проектуванні реконструкції залізниці.

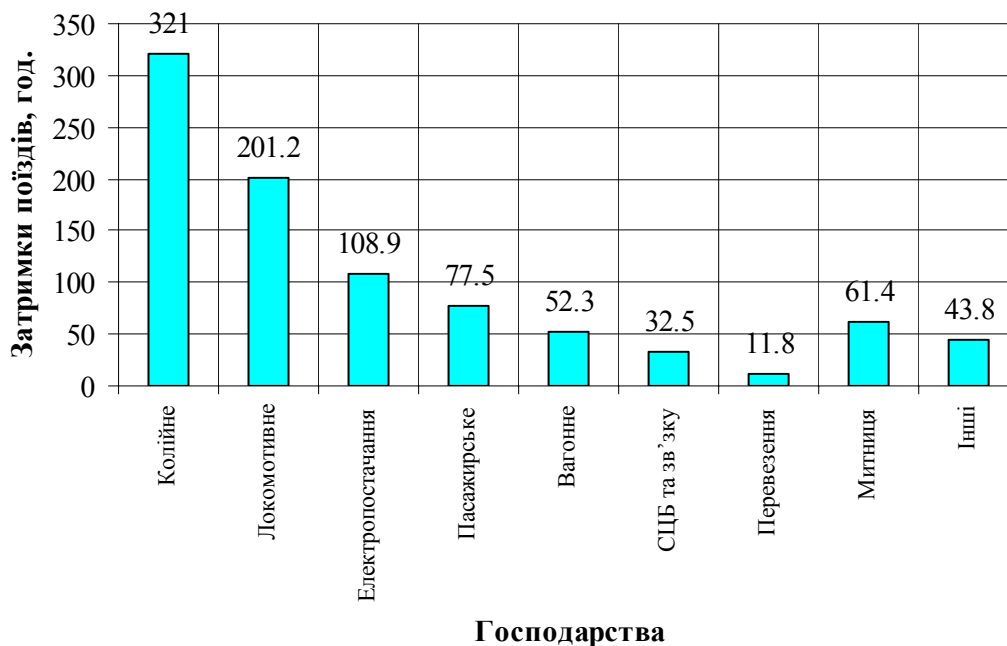


Рис. 1. Затримки поїздів у 2006 році по Укрзалізниці

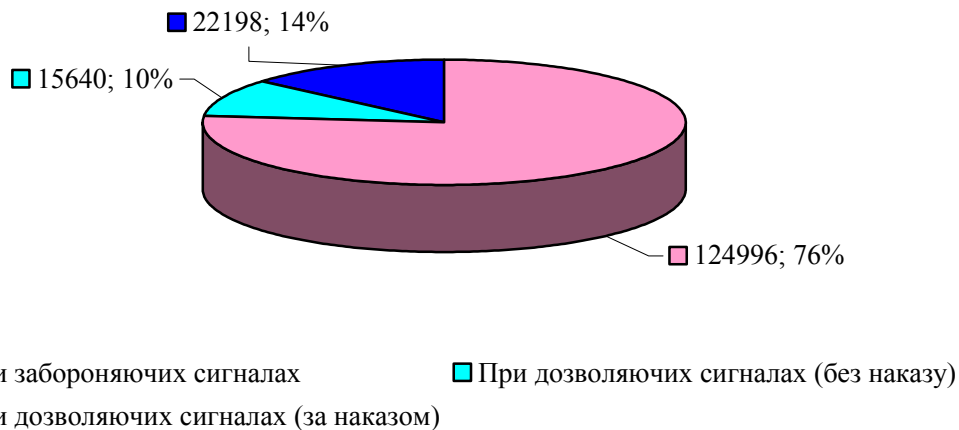


Рис. 2. Неграфікові зупинки поїздів (одиниці й відсотки) по Укрзалізниці за 2006 рік

Нині на залізницях України експлуатується 1300 км головної колії, що потребують термінової модернізації. Поставлено завдання оновити 1375 км головних колій, що вдвічі більше, ніж обсяг робіт минулого року.

Планом модернізації основних засобів у колійному господарстві на 2007 рік передбачено виконання робіт на загальну суму 1 млрд 600 млн грн. З них 125 млн грн. буде спрямовано на ремонт колійних машин, 750 млн грн. піде на закупівлю нової колійної техніки. Оздоровлення колійного господарства дасть можливість збільшити пропускну спроможність залізниць, підвищити швидкість та безпеку руху. Сьогодні середня хода швидкість пасажирських поїздів складає майже 90 км/год. У 2008 р. після виконання робіт з модернізації та оновлення колії середня швидкість становитиме 100 км/год [3].

### Постановка задачі

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.

Втрати часу руху поїздів при виникненні обмежень залежать від плану і профілю залізниці, встановлених максимальних швидкостей руху і рівня обмежень швидкостей та тривалості їх дії, а також від розташування ділянок, на яких вони діють.

Щоб досягти встановленого рівня швидкості, необхідно виявити ділянки, на яких усунення обмежень швидкості руху поїздів призведе до найбільшого ефекту, величина якого залежить від темпів зростання швидкості руху, зменшення часу руху та зниження витрат енергії.

У даній роботі на прикладі Придніпровської залізниці було розглянуто вказану проблему. Для

її вирішення запропоновано методику щодо визначення для будь-якої ділянки залізниці, що обмежує швидкість, діапазону змін часу руху поїздів.

### Методика дослідження

Дослідження щодо поставленої задачі виконувалися за допомогою тягово-експлуатаційної моделі, що розроблена на кафедрі «Проектування і будівництво доріг» ДПТУ. Така модель дозволила визначити час руху поїзда по заданій ділянці, допустимі швидкості руху поїздів в залежності від плану лінії, параметрів поздовжнього профілю, характеристик рухомого складу, обмежень швидкості руху на станціях та інших бар'єрних місцях; а також витрати, що пов'язані з рухом поїздів (вантажного й пасажирського).

До розрахунку приймалися наступні вихідні дані: рух вантажних поїздів середньою масою 3 600...4 600 т (згідно з Наказом «Про нормативи графіка руху вантажних поїздів на 2006-2007 рр.»), тип локомотива – ВЛ8, максимальна швидкість – 90 км/год. Довжина ділянки обмеження – 1 000 м та рівень швидкості, що обмежує рух поїздів – 25 км/год і 40 км/год (що складають по Придніпровській залізниці майже 59 % серед постійних і 44 % серед тривалих та є найбільш несприятливими). Також розглядався рух пасажирських поїздів з локомотивом ЧС-7 масою 1 000 т. Моделювалась ситуація, коли виникає одночасно одне чи декілька обмежень, розташованих як скупчених, так і розосереджені по довжині ділянки.

Чисельна оцінка втрат часу руху поїздів на кожному перегоні отримана на основі тягових розрахунків. Ділянки з обмеженням швидкості розглядалися як випадкові – за місцем їх розташування на поздовжньому профілі. Застосування такої методики дозволило виявити найбільш несприятливі ділянки за величиною енергетичних витрат.

Поява обмежень швидкості руху впливає не лише на енергетичні витрати, але й на значення ходової швидкості руху. Так, при дослідженні було виявлено такі ділянки, на яких поїзд може розігнатися до значення швидкості  $V_{\max}$  і рухатися з нею певну відстань (в залежності від параметрів поздовжнього профілю), але виникнення обмеження може призвести до того, що після його проходження поїзд не зможе досягти встановленої швидкості  $V_{\max}$  (рис. 3, а). Але зустрічаються й такі ділянки, на яких наявність обмеження не заважає поїзду знову виходити на задану швидкість  $V_{\max}$  (рис. 3, б).

Загальний вигляд ділянок, що досліджувалися, наведений на рис. 4.

На рис. 4 показано, що ділянка обмеження розташована на двох ухилах поздовжнього профілю (підйом і спуск) з різними значеннями ухилу  $i_1$  і  $i_2$ , що й приймалось до розрахунку. Таким чином, розглядалися різні комбінації як  $i_1$  і  $i_2$ , так і  $L_1$  та  $L_2$ , в тому числі такі, коли ділянка довжиною  $L_{\text{обм}}$  знаходиться на одному ухилі. Значення ухилів поздовжнього профілю приймалися від 0 до 8 ‰.

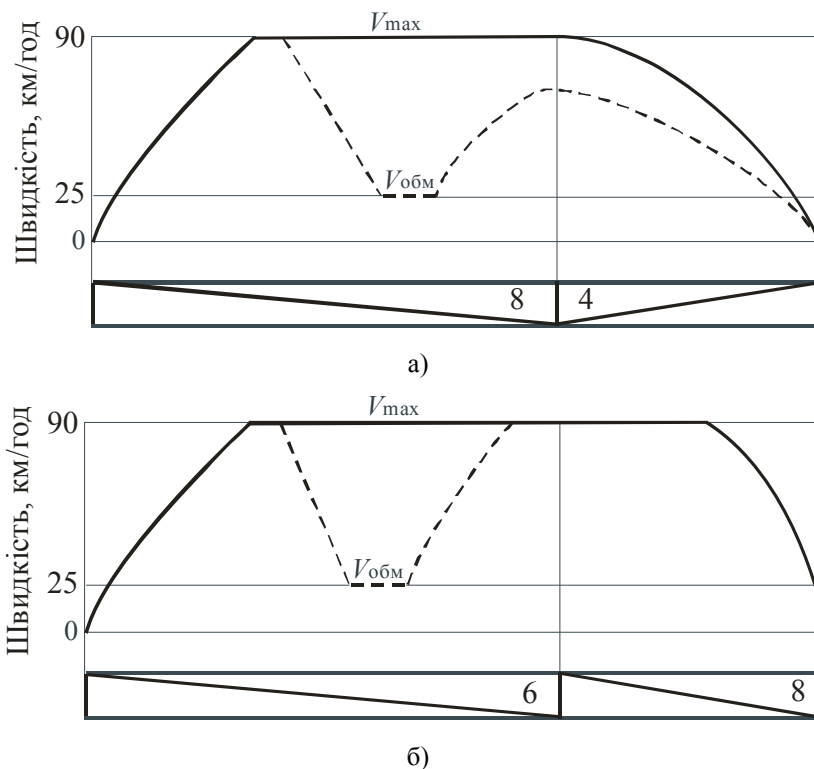


Рис. 3. Вплив розташування ділянки обмеження на поздовжньому профілі на швидкість руху: а) – після ділянки обмеження розташований підйом; б) – після ділянки обмеження розташований спуск)

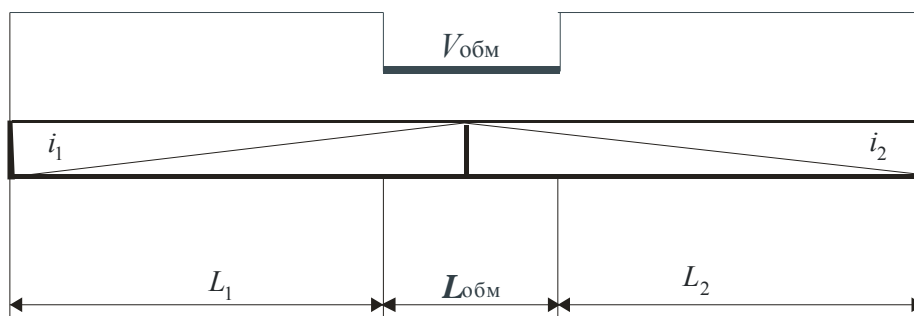


Рис. 4. Фрагмент поздовжнього профілю, що досліджувався

В результаті виконаних розрахунків і аналізу отриманих даних було виявлено такі ділянки, на яких виникнення обмеження швидкості є найбільш несприятливим за втратами часу ру-

ху, витратами електроенергії та за швидкістю руху. Окремі результати щодо втрат часу руху (для вантажних поїздів) наведено у табл. 1.

**Найбільш несприятливі ділянки, на яких виникають обмеження швидкості руху поїздів за втратами часу руху**

Ухил поздовжнього профілю, ‰			Втрати часу руху хв., на 100 км, ‰	
перед обмеженням	безпосередньо на обмеженні	після обмеження	$V_{обм} = 25$ км/ГОД	$V_{обм} = 40$ км/ГОД
Ділянка повністю розташована на спуску				
-8	-8	-8	6,7	3,9
-6	-6	-6	6,7	3,9
-4	-4	-4	6,3	2,9
-2	-2	-2	5,5	2,5
Ділянка обмеження розташована на спуску, а за нею – підйом				
-6	-6	0	5,0	2,5
-6	-6	4	6,3	3,7
-6	-6	8	5,9	3,5
-6	-2	4	7,5	4,9
-2	-6	6	5,6	3,3
Ділянка обмеження розташована на підйомі				
-8	6	6	5,0	2,0
-6	6	2	5,3	2,1
-4	2	6	5,3	2,1
Ділянка обмеження знаходиться на зломі профілю				
-8	-8/-2	-2	8,0	3,9
-4	-4/0	0	7,5	4,9
2	2/8	8	6,7	2,5
-2	-2/6	6	6,0	3,0
-6	-6/2	2	5,9	3,5
0	0/4	4	5,0	2,0

Як видно з табл. 1, до найбільших втрат часу руху призводять обмеження, що виникають на спуску (2,5...6,7 ‰) та на переломах поздовжнього профілю (2,0...8,0 ‰).

У табл. 2 наведено приклади найбільш несприятливих за енергетичними витратами ділянок. З табл. 2 видно, що найбільш несприятливі за енергетичними витратами є ділянки, на яких поїзд рухається на спуск. Зростання механічної роботи локомотива у такому випадку складають 17,2...19,5 ‰ при виникненні обмеження з рівнем швидкості 25 км/год та 13,9...16,4 ‰ при обмеженні з допустимою швидкістю 40 км/год в залежності від значення ухилу поздовжнього профілю. При цьому, чим більш пологий спуск, тим більше зростає механічна робота. Очевидно, це пов'язано з режимом руху поїзда. Поїзд, рухаючись на спуск в тяговому режимі досягає значення встановленої швидкості, а потім рухається в режимі регульовального гальмування. Якщо ж при цьому виникає обмеження, то зниження швидкості до  $V_{обм}$  призводить до того, що після його проходження поїз-

ду знову необхідно рухатися в тяговому режимі для досягнення встановленої швидкості. Це призводить до зростання механічної роботи локомотива і, відповідно, до додаткових витрат електроенергії.

Як було зазначено вище, зустрічаються такі ділянки, на яких виникнення попередження призводить до того, що поїзд не може знову вийти на встановлену швидкість, з якою рухався до появи обмеження. В табл. 3 наведено окремі дані щодо зменшення швидкості при виникненні обмеження відносно встановленої швидкості. Найбільше зменшення швидкості спостерігається при русі поїзда на підйом (15,9...41,1 ‰) та на зломах поздовжнього профілю (15,3...40,9 ‰). Ці значення залежать від ухилу поздовжнього профілю та рівня швидкості, що обмежує рух поїздів. Так, наприклад, при русі на підйом з ухилом поздовжнього профілю 6 ‰, виникнення обмеження з рівнем допустимої швидкості 40 км/год зумовлює зниження швидкості на 15,9 ‰, а при допустимій швидкості 25 км/год – на 24,3 ‰.

Таблиця 2

**Найбільш несприятливі ділянки, на яких виникають обмеження швидкості руху поїздів за енергетичними показниками**

Ухил поздовжнього профілю, ‰			Зростання механічної роботи локомотива т км, на 100 км, %	
перед обмеженням	безпосередньо на обмеженні	після обмеження	$V_{обм} = 25$ км/ГОД	$V_{обм} = 40$ км/ГОД
Ділянка повністю розташована на спуску				
-8	-8	-8	17,2	13,9
-6	-6	-6	17,5	14,5
-4	-4	-4	18,1	15,3
-2	-2	-2	19,5	16,4
Ділянка обмеження розташована на спуску, а за нею – підйом				
-6	-6	0	11,2	9,3
-6	-6	4	9,9	8,1
-6	-6	8	7,3	6,0
-6	-2	4	8,6	7,2
-2	-6	6	6,6	5,5
Ділянка обмеження розташована на зломі профілю				
-4	-4/0	0	8,6	7,1
-6	-6/2	2	9,9	8,5
-8	-8/-2	-2	14,2	11,8

Таблиця 3

**Найбільш несприятливі ділянки, на яких виникають обмеження швидкості руху поїздів за встановленою швидкістю**

Ухил поздовжнього профілю, ‰			Зменшення встановленої швидкості при виникненні обмеження, %	
перед обмеженням	безпосередньо на обмеженні	після обмеження	$V_{обм} = 25$ км/ГОД	$V_{обм} = 40$ км/ГОД
Ділянка обмеження розташована на підйомі				
0	6	6	24,3	15,9
-4	6	6	39,1	23,2
-8	6	6	41,1	41,1
-4	2	6	37,5	33,0
-6	6	2	26,7	26,7
Ділянка обмеження розташована на спуску, а за нею – підйом				
-6	-6	0	10,0	–
-6	-6	4	10,0	7,8
-6	-6	8	11,1	8,9
-6	-2	4	22,2	21,1
-2	-6	6	21,1	17,8
Ділянка обмеження розташована на зломі профілю				
-2	-2/6	6	36,9	36,1
-4	-4/0	0	18,9	18,9
-6	-6/2	2	26,7	26,7
0	0/4	4	15,3	15,3
2	2/8	8	40,9	36,4

Як показали розрахунки, на час руху впливає не лише рівень швидкості обмеження, його довжина та параметри поздовжнього профілю і плану лінії, але й рівень встановленої швидкості на ділянці, де виникло обмеження. При цьому очікуваний час руху поїзда (хв.) по будь-якій ділянці пропонується визначати за наступним виразом:

$$t_{\text{руху}}^{\text{очік.}} = \sum_{i=1}^n (t_{\text{розрах.}} + t_{\text{розрах.}} \cdot a_i), \quad (1)$$

де  $n$  – кількість перегонів на заданій ділянці з різним рівнем встановленої швидкості руху;

$t_{\text{розрах.}}$  – час руху поїзда, що визначається тяговими розрахунками при максимально допустимій швидкості, хв;

$a_i$  – коефіцієнт, що враховує виникнення обмеження на ділянці з певним значенням встановленої швидкості руху, рівень швидкості, що обмежує рух поїздів, а також кількість обмежень та їх довжину.

Коефіцієнт  $a_i$  було визначено для обмежень з рівнем допустимої швидкості 25, 40 і 50 км/год. У табл. 4 наведено значення коефіцієнта  $a_i$  при

виникненні одного, двох та трьох обмежень при русі пасажирського поїзда на будь-якій ділянці довжиною 100 км з рівнем швидкості 40 км/год та довжиною обмеження 1 км.

При складанні графіку руху поїздів по кожній ділянці закладається так званий диспетчерський резерв, але інколи його значення досить велике та не має достатнього обґрунтування і є резервом для підвищення швидкості руху поїздів. Це пов'язано з тим, що на різних напрямках залізниці характеристики ділянок відрізняються і використання однакового підходу до кожної з них не є раціональним. Викладена методика дозволяє виділяти ділянки з однаковими умовами і враховувати різні значення коефіцієнту  $a_i$  при встановленні диспетчерського резерву.

Слід відмітити наступне. Якщо розрахунки виконуються для ділянки довжиною 20...30 км, то параметри поздовжнього профілю суттєво впливають на час руху. Якщо ділянка більшої довжини, то можна використовувати усереднені показники (як пропонується в табл. 4), оскільки у такому випадку вплив від поздовжнього профілю буде менш виразним.

Таблиця 4

Значення коефіцієнту  $a_i$

Встановлена швидкість руху, км/год	Кількість обмежень		
	1	2	3
60	0,019	0,057	0,151
80	0,038	0,076	0,167
100	0,057	0,094	0,189
120	0,065	0,132	0,197

Дуже важливим при підвищенні швидкості руху поїздів є наступний момент. Якщо до графіку руху поїздів закладались тривалі обмеження на рік, то при усуненні причин, що викликали це обмеження, корективи до графіку руху не вносяться. Це викликає необґрунтоване зростання часу руху та зменшення швидкості за рахунок простою поїздів при виконанні графіку руху, а також до додаткових експлуатаційних витрат.

На рис. 5 наведено приклад зростання часу руху при діючих обмеженнях на ділянках з різним рівнем встановленої швидкості. Так, наприклад, при рівні швидкості 80 км/год виникнення одного обмеження призводить до зростання часу руху на 6 %, двох – на 13 % а при виникненні трьох обмежень вже на 20 %.

Таким же чином можна визначати середню швидкість руху для будь-якої заданої ділянки залізниці. З рис. 6 видно, що виникнення більшої кількості обмежень суттєво зменшує середню швидкість руху при будь-якому рівні встановленої швидкості. По-друге, чим вище рівень встановленої швидкості, тим більш суттєвий вплив виникнення обмеження на середню швидкість руху. Так, наприклад, якщо обмеження виникає на ділянці з встановленою швидкістю 80 км/год, то середня швидкість руху зменшиться майже на 5 %, а при встановленій швидкості 120 км/год – майже на 7 %.

За нормами, що діють сьогодні на Придніпровській залізниці, було підраховано економію в річних експлуатаційних витратах на кожні 10 пар поїздів, що проходять по заданій ділянці.

Вартість 1 поїздо-хвилини визначалася за формулою [4]:

$$B_{п-хв} = e_{рен}^л + e_{рен}^в + e_{кап.в}^л + e_{кап.в}^в + e_{інш}, \quad (2)$$

де  $e_{рен}^л$  – реноваційні відрахування по локомотиву, грн;  $e_{рен}^в$  – реноваційні відрахування по ваго-

нам, грн;  $e_{кап.в}^л$  – приведені капітальні вкладення по локомотиву, грн;  $e_{кап.в}^в$  – приведені капітальні вкладення по вагонам, грн;  $e_{інш}$  – інші експлуатаційні витрати (включають: вартість електроенергії, оплату праці локомотивних бригад, витрати на ремонт локомотива та вагонів), грн.

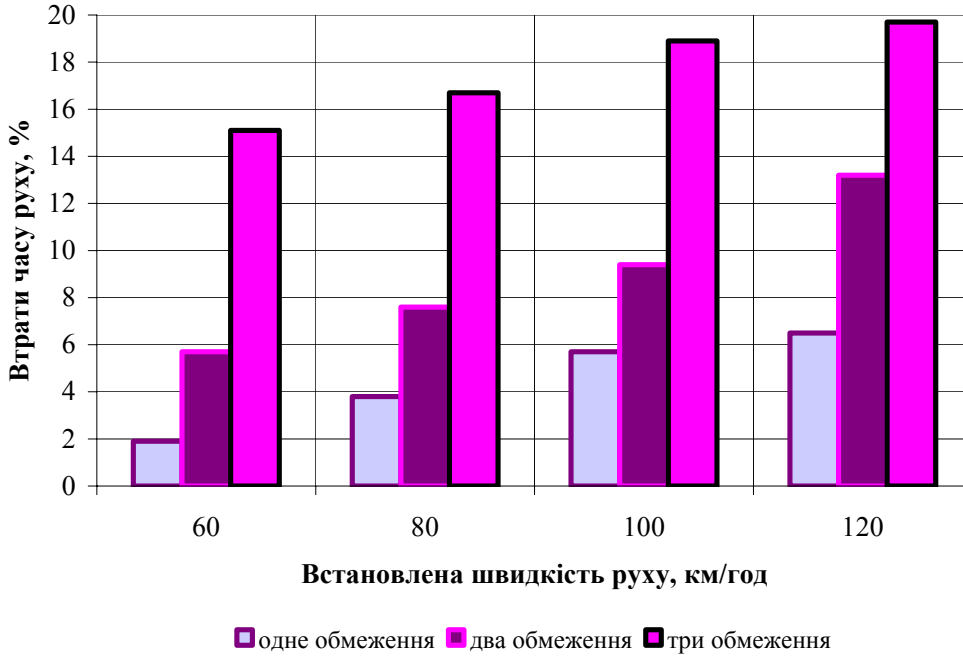


Рис. 5. Зв'язок між втратами часу руху та встановленою швидкістю і кількістю обмежень, що виникли ( $V_{обм} = 40$  км/год,  $L_{обм} = 1$  км)

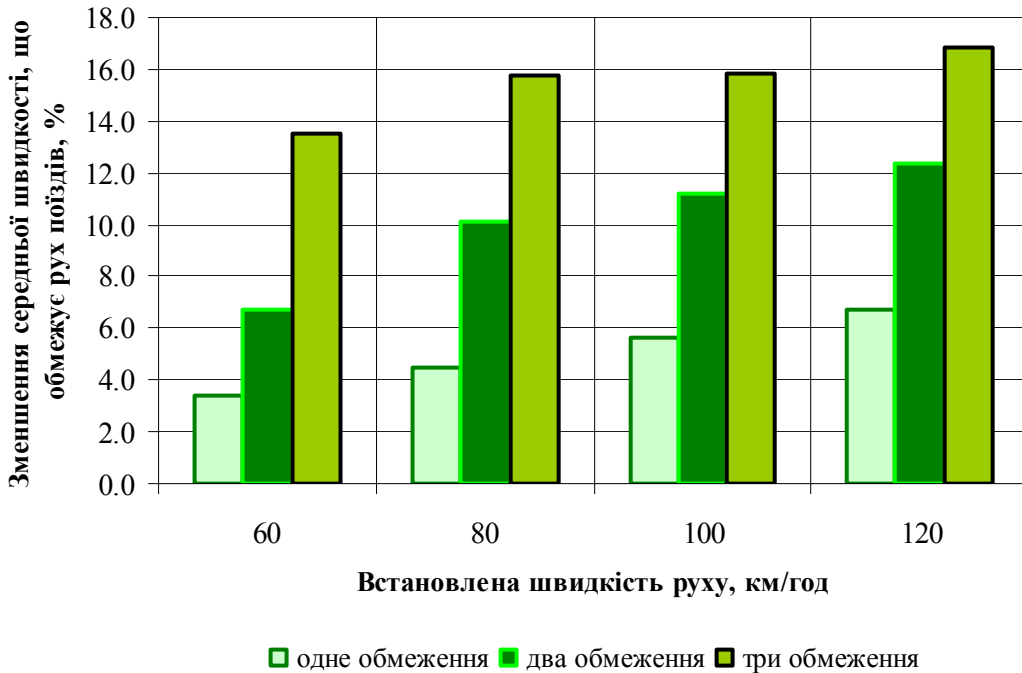


Рис. 6. Зв'язок між зменшенням середньої швидкості та встановленою швидкістю і кількістю обмежень ( $V_{обм} = 40$  км/год,  $L_{обм} = 1$  км)

За формулою (2) визначено, що вартість 1 поїздо-хвилини коливається у межах від 8 до 11 грн (в залежності від типу та стану локомотивного і вагонного парків). Тоді для двоколісної ділянки залізниці ( $n_k = 2$ ), по якій проходять 10 пар вантажних поїздів за добу річна економія в експлуатаційних витратах буде визначатися за наступним виразом:

$$E_{10 \text{ пар/рік}} = B_{n-\text{хв}} \cdot n_k \cdot n_{\text{п}} \cdot n_{\text{дн}} \quad (3)$$

і складе близько 59...78 тис. грн/рік, а для однокільної ділянки – 30...39 тис. грн.

Таким чином, при усуненні обмеження на подібній ділянці, що призводить до втрат часу руху, наприклад, близько 5 хвилин річна економія в експлуатаційних витратах складе 300...400 тис. грн.

### Висновки

1. При виникненні обмеження швидкості руху найбільш несприятливими за втратами часу руху є наступні ділянки:

– до, після та по обмеженню поїзд рухається на спуск. Виникнення обмеження з рівнем допустимої швидкості 25 км/год зумовлює зростання часу руху на 5,5...6,7 % в залежності від ухилу поздовжнього профілю(для діапазону даних, що розглядалися);

– коли до обмеження і безпосередньо на обмеженні поїзд рухається на спуск, а після обмеження – на підйом. У такому випадку виникнення попередження зі швидкістю, що обмежує

рух поїздів 25 км/год призводить до втрат часу руху на 5,0...7,5 %;

– коли перша половина обмеження розташована на спуску, а друга половина – на підйомі. Виникнення обмеження з таким самим рівнем як вказано вище зумовлює зростання часу руху на 5,0...5,3 %.

2. Значення коефіцієнту  $a_i$  можна визначати для окремих випадків та враховувати при складанні графіку руху при встановленні диспетчерського резерву.

3. Наявність обмежень швидкості руху поїздів впливає на пропускну спроможність ділянки, витрати електроенергії, а також викликають додаткові експлуатаційні витрати. Скорочення часу руху одного вантажного поїзду на 1 хв знижує експлуатаційні витрати майже на 6...8 тис. грн за рік.

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Олейник В. Графіком по ... дефіциту / Магістраль, № 2 (1180), 17-23 січня 2007 р. – С. 3.
2. Аналіз використання паливно-енергетичних ресурсів та роботи по енергозбереженню на залізничному транспорті України за 2006 рік – Укрзалізниця, К., 2007 – С. 79.
3. Рагулін П. В. Щоб не фальшивила колійна «мелодія» / Магістраль, № 10 (1188), 14 – 20 лютого 2007 р. – С. 7;
4. Иоаннисян А. И. Улучшение трассы существующих железных дорог – М.: Транспорт – 19720 – С. 41–43.

Надійшла до редколегії 30.05.07.