

УДК 656.212

І. Л. ЖУРАВЕЛЬ^{1*}, В. В. ЖУРАВЕЛЬ^{2*}

^{1*} Каф. «Управління експлуатаційною роботою», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, м. Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 373-15-70, ел. пошта zhuravel72@mail.ru, ORCID 0000-0002-4405-6386

^{2*} Каф. «Станції та вузли», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, м. Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 373-15-12, ел. пошта zhuravel72@mail.ru, ORCID 0000-0001-7338-4584

ТРИВАЛІСТЬ МАНЕВРОВИХ ПЕРЕСУВАНЬ ПОДИНОКОГО ЛОКОМОТИВА ТА ЧИННИКИ, ЯКІ НА НЕЇ ВПЛИВАЮТЬ

Мета. В ринкових умовах важливою задачею для залізничного транспорту України є підвищення продуктивності праці та зменшення експлуатаційних витрат. Одним з розв'язань цього питання є вірне нормування тривалості виконання маневрових операцій. Розрахунки за чинною методикою нормування маневрової роботи дають неадекватні результати на коротких відстанях. Усунення даного недоліку є актуальною задачею. **Методика.** Для отримання залежності значень тривалості руху поодинокого локомотива від відстані маневрового пересування використано вдосконалений аналітичний метод нормування та регресійне моделювання. **Результати.** Встановлено, що за коротких відстаней не можна досягти швидкості, яка встановлена нормативними документами. Визначено тривалість маневрових пересувань, яка відповідає фактичній швидкості руху поодинокого локомотива, та отримано регресійні моделі для нормування такої тривалості. **Наукова новизна.** Досліджено вплив довжини маневрового пересування та максимально можливої швидкості руху поодинокого локомотива на тривалість його пересування. **Практична значимість.** Результати досліджень дозволяють адекватно нормувати тривалість маневрових пересувань поодинокого локомотива за коротких відстаней.

Ключові слова: маневрова робота; нормування тривалості; відстань пересування; швидкість руху поодинокого локомотива.

Вступ

Незважаючи на непросту ситуацію, що склалася на теперішній час в нашій країні, залізниці продовжують виконувати свої основні функції щодо задоволення потреб клієнтури відповідно до Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року [1].

Важливою складовою частиною перевізного процесу на залізничному транспорті є маневрова робота, вірне нормування тривалості виконання якої суттєво впливає на продуктивність праці та собівартість перевезень.

При цьому, найчастіше постають дві задачі, що, як правило, виключають одна одну – раціональна тривалість виконання маневрового піврейсу та мінімальні витрати палива, особливо за наявності резервів тривалості.

Постановка проблеми

Основними чинниками, які впливають на тривалість маневрового піврейсу, є відстань пересування під час виконання піврейсу $l_{пр}$ та швидкість руху під час виконання маневрів v , максимально допустимі значення якої регламентується Правилами технічної експлуатації

залізниць України [2]. Невірне врахування швидкості руху за певних значень довжини піврейсу призводить до похибок нормування тривалості маневрових піврейсів.

Аналіз досліджень і публікацій

В залежності від сполучення різних елементів і характеру зміни швидкості руху розрізняють шість основних типів маневрових піврейсів, які відрізняються витратами часу та коштів на їх виконання [3]. Проте під час нормування тривалості зазвичай використовують піврейси двох типів (рис. 1), які забезпечують мінімальну тривалість пересувань: 1) розгін-уповільнення (РУ), за якого маневровий состав встигає досягти заданої швидкості розгону v_p та одразу ж уповільнюється до зупинки (при цьому маневровий состав найчастіше не встигає досягти максимально допустимої швидкості v_{max} , яка дозволена [2]); 2) розгін-рух з постійною швидкістю-уповільнення (РПУ), за якого маневровий состав досягає встановленої (в більшості випадків v_{max}) швидкості, після чого рухається з такою швидкістю, а потім уповільнюється до зупинки.

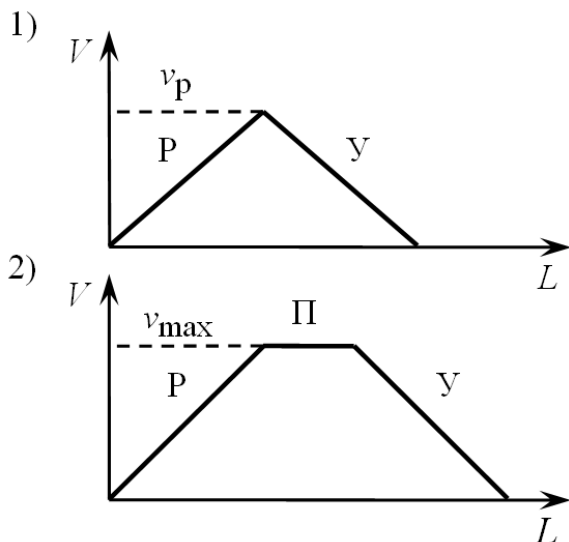


Рис. 1. Основні типи маневрових півреїсів: 1) розгін-уповільнення (PY); 2) розгін-рух з постійною швидкістю-уповільнення (РПУ)

Основними методами нормування тривалості маневрових півреїсів є метод розрахункових параметрів, метод тягових розрахунків і метод аналітичних розрахунків

Метод розрахункових параметрів, запропонований професором Фроловим О. М. на підставі проведених у 1899-1901 р. досліджень [4], передбачає визначення тривалості маневрового півреїсу за формулою

$$t_{\text{пр}} = a + b m_c, \quad (1)$$

де m_c – кількість вагонів у маневровому составі;

a, b – нормативи часу, які залежать від довжини $l_{\text{пр}}$, хв.

Значення a і b повинні розраховуватись на підставі хронометражних спостережень за роботою станції, але через значні витрати часу на їх проведення зазвичай у розрахунках використовуються їх середньомережеві значення [5].

Метод тягових розрахунків [6], який ґрунтується на чисельному розв'язанні рівняння руху, є досить точним і дозволяє врахувати особливості маневрового локомотива, конкретного маневрового состава та маршруту його прямування, але через складність підготовки необхідних вихідних даних він не знайшов широкого застосування при інженерних розрахунках.

Згідно з діючою на сьогодні методикою нормування маневрової роботи [7, 8], тривалість маневрового півреїсу визначається аналітичним методом за виразом

$$t_{\text{пр}} = \frac{(\alpha_{\text{py}} + \beta_{\text{py}} m_c) v_{\text{max}}}{2} + \frac{3,6 l_{\text{пр}}}{v_{\text{max}}}, \quad (2)$$

де α_{py} – коефіцієнт, який враховує час, необхідний для зміни швидкості руху локомотива на 1 км/год під час розгону та під час гальмування; складає 2,44 с/км/год;

β_{py} – коефіцієнт, який враховує додатковий час на зміну швидкості руху кожного вагона в маневровому составі на 1 км/год під час розгону та під час гальмування; складає 0,1 с/км/год.

Як відмічено в [9], розрахунки тривалості маневрових пересувань на коротких відстанях за даним методом дають неадекватні результати. Це пов'язано із тим, що він призначений для розрахунку тривалості напівреїсів типу РПУ, а фактично на малих відстанях використовуються маневрові напівреїси типу PY.

Підвищити точність нормування тривалості маневрових півреїсів за малих значень $l_{\text{пр}}$ дозволяє вдосконалений аналітичний метод [9, 10], який було використано для підвищення ефективності функціонування промислової станції [11].

Постановка завдання

Метою даної статті є дослідження впливу довжини маневрового півреїсу та максимально можливої швидкості руху поодинокого локомотива на тривалість його пересування.

Результати досліджень

Згідно з [2] максимальна швидкість руху поодинокого локомотива вільними коліями становить 60 км/год, але в залежності від стану колії й інших місцевих умов на станціях можуть встановлюватися певні обмеження швидкості.

Для встановлення впливу обмежень швидкості руху $v_{\text{об}}$, її значення варіювалися у межах 5...60 км/год із кроком 5 км/год. Значення $l_{\text{пр}}$ варіювалися у межах 50...1 300 м із кроком 50 м.

У результаті досліджень встановлено (див. рис. 2), що значення $v_{\text{max}} = 60$ км/год досягається лише за $l_{\text{пр}} = 1220$ м.

Визначено, що за $l_{\text{пр}} = 50$ м можна досягти $v = 12,15$ км/год, тобто за такої довжини $l_{\text{пр}}$ можна здійснити маневровий півреїс типу РПУ лише при $v_{\text{об}} = 5...10$ км/год і розрахувати його тривалість за діючою на сьогодні методикою.

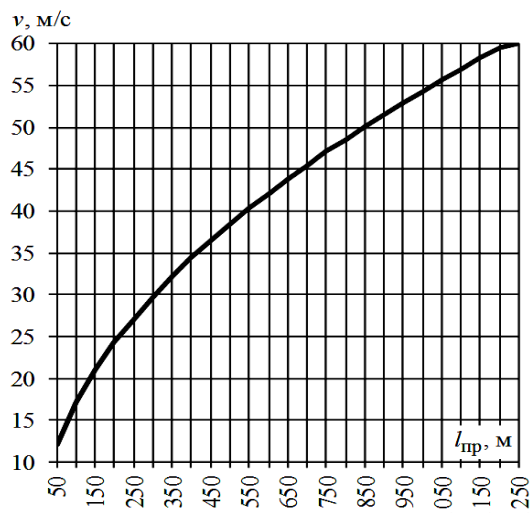


Рис. 2. Графік залежності швидкості руху поодинокого локомотива під час виконання маневрів від довжини маневрового піврейсу

Довжину маневрових піврейсів, за якої досягається значення $v_{об} = 15...60$ км/год, наведено в табл. 1 і 2.

За $l_{пр}$, яка не перевищує вказаних у табл. 1 і 2 значень, здійснюються піврейси типу РУ, і

лише за більших значень $l_{пр}$ – піврейси типу РПУ, тривалість яких можна визначити за діючою методикою.

Таблиця 1

Довжина маневрових піврейсів, за якої досягається обмеження швидкості 15...35 км/год

Показник	$v_{об}$, км/год				
	15	20	25	30	35
$l_{пр}$, м	80	140	215	305	420

Таблиця 2

Довжина маневрових піврейсів, за якої досягається обмеження швидкості 40...60 км/год

Показник	$v_{об}$, км/год				
	40	45	50	55	60
$l_{пр}$, м	545	690	895	1025	1220

За вдосконаленим аналітичним методом (ВАМ) нормування визначено тривалість маневрового піврейсу за відносно малих значень $l_{пр}$ і $v_{об} = 15...60$ км/год, яку наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Тривалість маневрового піврейсу за вдосконаленим аналітичним методом нормування

$l_{пр}$, м	$v_{об}$, км/год										
	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
50	0,49										
100	0,71	0,70									
150	0,86										
200	1,01		0,99								
250	1,11			1,10							
300	1,21				1,21						
350	1,31					1,31					
400	1,41				1,40						
450	1,48					1,48					
500	1,57				1,56						
550	1,64					1,64					
600	1,71						1,71				
650	1,78							1,78			
700	1,85							1,85			
750	1,91								1,91		
800	1,98									1,98	
850	2,04									2,04	
900	2,10										
950	2,15										
1000	2,21										
1050	2,27										2,26
1100	2,32										
1150	2,37										
1200	2,42										
1250	2,47										

Примітка. Останнє значення в кожній графі відповідає піврейсу типу РПУ та може бути визначено за діючою методикою.

Неврахування типу піврейсу та максимальної можливої швидкості v'_{\max} , якої може досягти поодинокий локомотив під час пересувань, призводить до похибки розрахунків тривалості маневрового піврейсу за діючою методикою (ДМ), яка зростає зі зменшенням $l_{\text{пр}}$ і, відповідно, v'_{\max} (див. рис. 3).

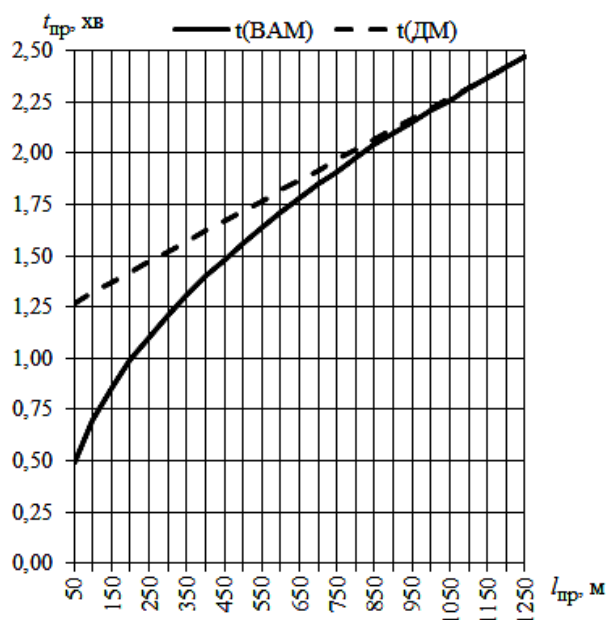


Рис. 3. Графік залежності тривалості маневрового піврейсу від його довжини за $v_{\text{об}} = 60$ км/год

Наприклад (див. табл. 4), у разі $v_{\text{об}} = 60$ км/год і $l_{\text{пр}} = 1100 \dots 1200$ м ($v'_{\max} = 56,97 \dots 59,51$ км/год) різниця у результатах розрахунків за ДМ і ВАМ відсутня, за $l_{\text{пр}} = 450$ м ($v'_{\max} = 36,44$ км/год) – 11,4 с, за $l_{\text{пр}} = 150$ м ($v'_{\max} = 21,04$ км/год) – 30,6 с, за $l_{\text{пр}} = 50$ м ($v'_{\max} = 12,15$ км/год) – 46,8 с.

Зменшення значень $v_{\text{об}}$ призводить до зменшення різниці у результатах розрахунків за ДМ і ВАМ. В цілому, у разі $l_{\text{пр}} = 50$ м така різниця становить: за $v_{\text{об}} = 60$ км/год – 2,6 рази, за $v_{\text{об}} = 55$ км/год – 2,4 рази, за $v_{\text{об}} = 50$ км/год – 2,2 рази, за $v_{\text{об}} = 45$ км/год – 2,0 рази, за $v_{\text{об}} = 40$ км/год – 80 %, за $v_{\text{об}} = 35$ км/год – 60 %, за $v_{\text{об}} = 30$ км/год – 50 %, за $v_{\text{об}} = 25$ км/год – 30 %, за $v_{\text{об}} = 20$ км/год – 14 %, за $v_{\text{об}} = 15$ км/год – 4 %.

Тривалість маневрових піврейсів, яку розраховано за ВАМ і ДМ

$l_{\text{пр}}, \text{ м}$	$v_{\text{об}}, \text{ км/год}$					
	60			40		
	Метод розрахунку		Перевіщення, разів	Метод розрахунку		Перевіщення, разів
	ВАМ	ДМ		ВАМ	ДМ	
$t_{\text{пр}}, \text{ хв}$	$t_{\text{пр}}, \text{ хв}$		$t_{\text{пр}}, \text{ хв}$	$t_{\text{пр}}, \text{ хв}$		
50	0,49	1,27	2,59	0,49	0,89	1,82
100	0,70	1,32	1,89	0,70	0,96	1,37
150	0,86	1,37	1,59	0,86	1,04	1,21
200	0,99	1,42	1,43	0,99	1,11	1,12
250	1,10	1,47	1,34	1,10	1,19	1,08
300	1,21	1,52	1,26	1,21	1,26	1,04
350	1,31	1,57	1,20	1,31	1,34	1,02
400	1,40	1,62	1,16	1,40	1,41	1,01
450	1,48	1,67	1,13	1,48	1,49	1,01
500	1,56	1,72	1,10	1,56	1,56	1,00
550	1,64	1,77	1,08			
600	1,71	1,82	1,06			
650	1,78	1,87	1,05			
700	1,85	1,92	1,04			
750	1,91	1,97	1,03			
800	1,98	2,02	1,02			
850	2,04	2,07	1,01			
900	2,10	2,12	1,01			
950	2,15	2,17	1,01			
1000	2,21	2,22	1,00			
1050	2,26	2,27	1,00			
1100	2,32	2,32	1,00			
1150	2,37	2,37	1,00			
1200	2,42	2,42	1,00			

Для випадків (див. табл. 5), у яких значення $v_{\text{об}}$ не збігаються із наведеними у табл. 3, і є відмінність у значеннях $t_{\text{пр}}$, тривалість маневрового піврейсу можна визначити за регресійною моделлю виду

$$t_{\text{пр}} = b_0 + b_1 \sqrt{l_{\text{пр}}} \quad (3)$$

Таблиця 5

Параметри регресійних моделей

$v_{\text{об}}, \text{ км/год}$	$l_{\text{пр}}, \text{ м}$	b_0	b_1
50...60	800...1050	-0,006	0,070
40...<50	500...800	-0,058	0,072
30...<40	350...500	-0,069	0,074
25...<30	200...300	-0,034	0,072

Приклад кривої регресії для $v_{\text{об}} = 50 \dots 60$ км/год і $l_{\text{пр}} = 800 \dots 1050$ м наведено на рис. 4.

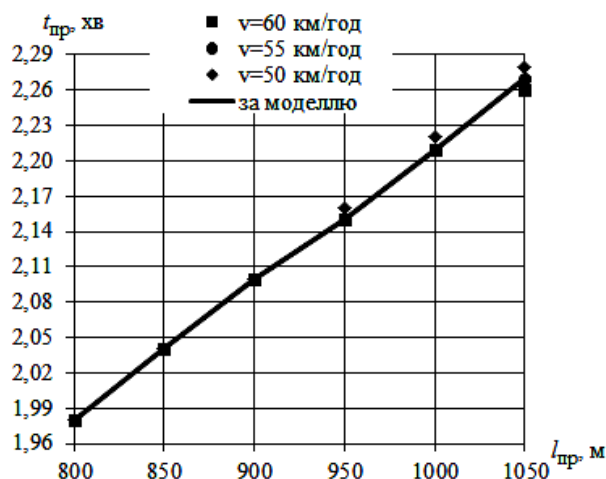


Рис. 4. Крива регресії, яка описує зв'язок між довжиною маневрового піврейсу і його тривалістю

Для перевірки адекватності регресійної моделі використано F -критерій Фішера [12]. Регресійна модель адекватно описує результати експериментів, якщо виконується умова

$$F > F_{(\alpha; m_1; m_2)}^T, \quad (4)$$

де F – розрахункове значення F -критерію;

$F_{(\alpha; m_1; m_2)}^T$ – табличне значення F -критерію у разі визначених: рівня значимості $\alpha = 5\%$, ступеня свободи емпіричної дисперсії m_1 і ступеня свободи залишкової дисперсії m_2 .

Додатково адекватність регресійної моделі перевірено за відносним відхиленням [13] дійсних значень $t_{прj}$ від прогнозних $\hat{t}_{прj}$ (%)

$$v = \frac{\Delta \bar{t}_{прj}}{\bar{T}_{пр}} 100, \quad (5)$$

де $\Delta \bar{t}_{прj}$ – середнє відхилення фактичних значень тривалості маневрового піврейсу від значень такої тривалості, які розраховано за регресійною моделлю;

$\bar{T}_{пр}$ – середнє значення тривалості маневрового піврейсу, яке розраховано за регресійною моделлю.

Прийнято, що регресійна модель адекватно описує результати експериментів, якщо виконується умова

$$v \leq 5\%. \quad (6)$$

Результати перевірки адекватності регресійної моделі наведено в табл. 6.

Перевірка адекватності регресійної моделі

$v_{об}, \text{ км/год}$	F	$F_{(\alpha; m_1; m_2)}^T$	$v, \%$
50...60	414,36	2,32	0,1
40...<50	145,82	2,15	0,4
30...<40	36,04	2,94	1,0
25...<30	60,91	6,26	0,8

Дані, що наведено у табл. 6, дозволяють зробити висновок, що умови (4) і (6) виконуються і регресійні моделі є адекватними.

Висновки

Виконані дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

1. За довжини маневрового піврейсу, яка є меншою за 1 220 м, не можна досягти максимальної швидкості руху поодинокого локомотива вільними коліями (60 км/год), яка встановлена чинними нормативними документами, що призводить до похибок під час нормування тривалості маневрових піврейсів.

2. За вдосконаленим аналітичним методом нормування визначено тривалість маневрового піврейсу за його довжини 50...1 200 м і обмеження швидкості 15...60 км/год.

3. Похибка розрахунків тривалості маневрового піврейсу за діючою методикою зростає зі зменшенням його довжини і, відповідно, максимально можливої швидкості, якої може досягти поодинокий локомотив під час пересувань.

4. Для випадків, у яких обмеження швидкості не збігаються із розглянутими під час досліджень, і є відмінність у значеннях тривалості маневрових піврейсів, отримано регресійну модель для визначення такої тривалості.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Транспортна стратегія України на період до 2020 року: Розпорядження Каб. Міністрів України від 20.10.2010 р. № 2174-р [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua>.
2. Правила технічної експлуатації залізниць України. – Київ: Транспорт України, 2005. – 256 с.
3. Кочнев Ф. П. Управление эксплуатационной работой железных дорог: учеб. пособие для вузов / Ф. П. Кочнев, И. Б. Сотников. – Москва: Транспорт, 1990. – 424 с.
4. Организация движения на железнодорожном транспорте / [Кочнев Ф. П., Максимович Б. М., Померанцев В. В. и др.]; под общ. ред. Ф. П. Кочнева. – Москва: Трансжелдориздат, 1958. – 336 с.
5. Руководство по техническому нормированию маневровой работы. – Москва: Транспорт, 1978. – 56 с.
6. Rassölkin, A. Calculation of the Traction Effort of Switching Locomotive / A. Rassölkin, H. Hõimoja //

11th International Symposium «Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering» (Tallinn University of Technology). - Tallinn, 2012. – P. 61-65.

7. Методические указания по расчету норм времени на маневровые работы, выполняемые на железнодорожном транспорте : утв. ЦЗ МПС РФ 19.03.1998 г. / Мин. путей сообщения РФ. – Москва, 1998. – 84 с.

8. Методичні вказівки з розрахунку норм часу на маневрові роботи, які виконуються на залізничному транспорті : затв. : наказ Укрзалізниці 25.03.2003 р. № 72-ЦЗ. – Київ, 2003. – 82 с.

9. Козаченко, Д. М. Нормування тривалості виконання маневрових пересувань з врахуванням обмеження швидкості руху на окремих елементах прямування составів / Д. М. Козаченко, І. Л. Журавель, І. Ю. Левицький // Залізничний транспорт України. – 2014. – № 6 (109). – С. 30–36.

10. Журавель, І. Л. Підвищення ефективності роботи вантажних станцій за рахунок удосконалення їх колійного розвитку: автореф. дис. ... канд.

техн. наук: 05.22.20 / Журавель Ірина Леонідівна. – Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2015. – 24 с.

11. Журавель, В. В. Підвищення ефективності функціонування промислової станції шляхом вдосконалення її конструкції / В. В. Журавель, І. Л. Журавель // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – № 2/3 (74). – С. 61–67.

12. Львовский, Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул: учеб. пособие / Е. Н. Львовский. – М.: Высш. школа, 1982. – 224 с.

13. Негрей, Н. П. Прогнозирование размеров работы сортировочных станций с помощью статистических методов / Под ред. Н. В. Правдина // Проблемы проектирования станций и узлов: Межвузовский сборник научных статей. – Гомель: БелИИЖТ, 1984. – С. 10–21.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. Огарем О. М. (Україна).

Надійшла до редколегії 15.05.2016.

Прийнята до друку 17.05.2016.

И. Л. ЖУРАВЕЛЬ, В. В. ЖУРАВЕЛЬ

ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ МАНЕВРОВЫХ ПЕРЕДВИЖЕНИЙ ОДИНОЧНОГО ЛОКОМОТИВА И ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА НЕЕ

Цель. В рыночных условиях важной задачей для железнодорожного транспорта Украины является повышение производительности труда и уменьшение эксплуатационных расходов. Одним из решений этого вопроса является правильное нормирование продолжительности выполнения маневровых операций. Расчеты по действующей методике нормирования маневровой работы дают неадекватные результаты на коротких расстояниях. Исключение данного недостатка является актуальной задачей. **Методика.** Для получения зависимости значений продолжительности передвижения одиночного локомотива от длины маневрового передвижения использован усовершенствованный аналитический метод нормирования и регрессионное моделирование. **Результаты.** Установлено, что при коротких расстояниях невозможно достичь скорости, установленной нормативными документами. Установлена продолжительность маневровых передвижений, отвечающая фактической скорости движения одиночного локомотива, и получены регрессионные модели для нормирования такой продолжительности. **Научная новизна.** Исследовано влияние длины маневрового передвижения и максимально возможной скорости движения одиночного локомотива на продолжительность его передвижения. **Практическая значимость.** Результаты исследований позволяют адекватно нормировать продолжительность маневровых передвижений одиночного локомотива при коротких расстояниях.

Ключевые слова: маневровая работа; нормирование продолжительности; расстояние передвижения; скорость движения одиночного локомотива

I. L. ZHURAVEL, V. V. ZHURAVEL

THE DURATION OF A SINGLE LOCOMOTIVE SHUNTING MOVEMENTS AND THE FACTORS THAT AFFECT IT

Purpose. The market conditions for the important task of Railway Transport of Ukraine is to increase productivity and decrease operating costs. One solution to this issue is the proper regulation of the length of shunting operations. Calculations based on the current valuation method shunting give inadequate results over short distances. Excluding this disadvantage is an urgent task. **Methodology.** For according to the values of the duration of a single movement of the length of the locomotive shunting movement used an improved analytical method for the valuation and regression modeling. **Findings.** It was found that at short distances it is impossible to reach the speed set by regulations. Installed length of shunting movements, corresponding to the actual speed of a single movement of the locomotive, and the obtained regression models for the valuation of such duration. **Originality.** The effect of the length of the shunting movement and the maximum possible speed of a single movement of the locomotive on the duration of its movement. **Practical value.** The results allow to adequately normalized duration shunting locomotive single movement at short distances.

Keywords: shunting operations; the duration of the valuation; movement distance; the speed of movement of a single locomotive