

СССР МПС

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

На правах рукописи

Аспирант МАЛЫШЕВ Ю. В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РАСХОДОВ ПО СОДЕРЖАНИЮ
ПУТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск
1966

НТБ
ДНУЖТ

Публичная защита диссертации состоится на заседании Ученого совета **6 декабря** 1966 г.

Просим Вас и сотрудников Вашего учреждения, интересующихся темой диссертации, принять участие в заседании Ученого совета или прислать свои отзывы о работе по адресу: Днепропетровск, 10, Университетская, 2, институт инженеров железнодорожного транспорта.

Дата отправки автореферата **5 ноября** 1966 г.

НТБ
ДНУЖТ

СССР МПС
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Аспирант МАЛЫШЕВ Ю. В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РАСХОДОВ ПО СОДЕРЖАНИЮ
ПУТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель —
доктор технических наук, профессор
А. Е. ГИБШМАН.

Днепропетровск
1966

НТБ
ДНУЖТ

2774a

Работа выполнена в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта.

**НТБ
ДНУЖТ**

Введение

Программа КПСС предусматривает в течение ближайших двадцати лет создание в нашей стране материально-технической базы коммунизма. Важную роль в решении этой задачи должен сыграть железнодорожный транспорт.

Основные задачи развития транспорта изложены в Директивах XXIII съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1966—1970 годы. В Директивах, в частности, сказано:

«Увеличить скорость движения поездов. Обеспечить дальнейшее развитие узлов и станций, оборудование линий автоблокировкой и диспетчерской централизацией, повысить темпы механизации путевых работ.

Повысить производительность труда на железнодорожном транспорте на 23—25 процентов».

Для решения задач, поставленных XXIII съездом КПСС, в железнодорожный транспорт, как и во все отрасли народного хозяйства, направляются большие капиталовложения, которые должны быть использованы с высокой эффективностью.

В настоящее время существенно возросло значение экономических критериев при оптимизации проектных решений. Ни одно техническое мероприятие или вариант проектируемой линии не могут быть приняты к осуществлению без технико-экономических обоснований. Для выбора наиболее целесообразного проектного решения проводится сравнение вариантов со всесторонним рассмотрением различных факторов и определением сравнительной эффективности капиталовложений на основе расчета и сопоставления строительной стоимости и эксплуатационных расходов.

Однако, если способы определения строительной стоимости регламентированы использованием ценников, прейскурантов и укрупненных показателей, то в определении эксплуатационных расходов нет необходимой четкости.

Вопросы определения эксплуатационных расходов служили предметом широко известных исследований, проведенных в этой области МИИТом, МТЭИ, ЦНИИ и Гипротранстэи МПС. Вместе с тем, нормативный материал по эксплуатационным расходам еще недостаточно дифференцирован и не всегда может быть использован при решении практических вопросов.

В особенности это относится к расходам по содержанию пути, которые при проектировании железных дорог и в ряде научных исследований определяются пропорционально механической работе сил сопротивлений, тонно-километровой работе брутто и длине вариантов.

До последнего времени не проводились специальные исследования по установлению влияния скорости и режима движения поездов, на расходы по содержанию пути, что ставит под сомнение правомерность использования измерителя механической работы сил сопротивления и всю методику расчетов эксплуатационных расходов, связанных с этим измерителем и составляющих при интенсивном движении примерно 30% всех эксплуатационных расходов по передвижению поездов.

В связи с этим возникла необходимость дальнейшего изучения зависимости эксплуатационных расходов от основных параметров проектируемых линий и их технического оснащения. По отношению к расходам на содержание пути это значит, что необходимо установить их зависимость от скорости и режима движения поездов в условиях различной грузонапряженности с учетом особенностей плана линии.

Поэтому целью настоящего исследования является изучение связи расходов по содержанию пути с силовыми воздействиями подвижного состава на путь, меняющимися в зависимости от скорости движения поездов, и на основании этого установление расчетной зависимости указанных расходов от скорости движения; изучение по отчетным данным дистанций пути фактической зависимости расходов по содержанию пути от скорости и грузонапряженности, а также установление влияния режима торможения поездов на расходы по содержанию пути; исследование связи расходов по содержанию пути с механической работой сил сопротивления движению на нетормозной и тормозной частях профиля; анализ различных способов расчета расходов по содержанию пути; установление целесообразного состава измерителей и структуры норм для определения эксплуатационных расходов по текущему содержанию пути при проектировании железных дорог.

Связь затрат труда на текущее содержание пути с силовыми воздействиями подвижного состава

Расходы по текущему содержанию пути состоят в основном из заработной платы рабочих и, следовательно, могут быть выражены затратами труда. Недостающие расходы по одиночной смене материалов верхнего строения пути можно учесть определенным коэффициентом увеличения затрат труда.

Поэтому при исследовании расходов по содержанию пути рассмотрены первоначально только затраты труда с последующим переходом к общим расходам.

При движении поезда возникают дополнительные силовые воздействия на путь, которые существенно изменяются в зависимости от типа и состояния верхнего строения пути и подвижного состава, а также скорости движения. В этом заключается одна из главных причин увеличения расстройств верхнего строения пути при повышении скорости движения поездов. Несомненно, что в определенной связи с силовыми воздействиями подвижного состава находятся и затраты труда по текущему содержанию пути.

Напряжения в элементах верхнего строения пути зависят от большого числа переменных по величине факторов. Поэтому в процессе экспериментальных исследований при многократных проездах одного и того же колеса, при прочих равных условиях, через данное сечение пути напряжения в элементах пути не остаются постоянными.

В связи с этим с целью сопоставления данных, полученных для различных условий, как расчетным так и экспериментальным путем, в работе рассмотрено лишь относительное изменение силовых воздействий при увеличении скорости движения.

При этом рассматривались расчетные и преимущественно наибольшие экспериментальные воздействия в интервале скорости от 40 до 100 км/ч. Этот интервал скорости включает ходовые скорости грузовых поездов, реализуемые в настоящее время и намечаемые на перспективу.

Основные данные, характеризующие влияние скорости движения на вертикальные воздействия подвижного состава (в основном четырехосных грузовых вагонов) на путь с деревянными шпалами при осевых нагрузках 15—21 т, приведены в табл. 1.

Анализ результатов исследований ряда авторов показал, что вертикальные воздействия подвижного состава на путь при увеличении скорости в интервале 40—100 км/ч растут по

закону, который приближенно можно считать прямолинейным; относительный рост вертикальных воздействий при увеличении скорости практически не зависит от типа рельсов (относится к рельсам Р50, Р65 и Р75); для пути с деревянными шпалами на щебеночном балласте при осевых нагрузках 15—21 т с увеличением скорости на 10 км/ч вертикальные воздействия растут в среднем на 6,75%.

Наряду с этим было рассмотрено влияние скорости на горизонтальные поперечные воздействия подвижного состава на путь. Однако имеющиеся данные не столь надежны, как по вертикальным воздействиям, и поэтому зависимость горизонтальных сил от скорости пока еще не может быть выражена достаточно определенно. Вследствие этого в настоящем исследовании проанализирована связь затрат труда на текущее содержание пути только с вертикальными воздействиями подвижного состава.

Таблица 1.

Рассмотрены интервалы скорости в км/ч	Рост вертикальных воздействий в % при увеличении скорости			В расчете использованы материалы
	на величину рассмотренного интервала	на 10 км/ч (темп. роста)	от 40 до 100 км/ч	
50—70	9,0	4,5	27,0	Е. М. Бромберга
60—100	26,0	6,5	39,0	ЦНИИ, ДИИТа, ВНИИВа
40—100	54,0	9,0	54,0	МИИТа
60—100	32,4	8,1	49,6	М. И. Кулагина
50—100	25,0	5,0	30,0	А. Тия (МАЖК*)

Правомерность анализа такой связи очевидна, так как известно, что давления на балласт имеют решающее значение для возникновения и накопления остаточных деформаций в пути и, следовательно, для объемов работ по содержанию пути в исправности.

МАЖК — Международная ассоциация железнодорожных конгрессов.

Давления на балласт зависят от большого числа факторов и в том числе от скорости движения и веса рельса. Рост скорости также как и уменьшение веса 1 пог. м рельса приводят к увеличению давлений на балласт.

Влияние веса рельса на величину давлений на балласт, а также на затраты труда по текущему содержанию пути достаточно хорошо изучено. На основании этого в настоящей работе установлена связь между вертикальными воздействиями подвижного состава и затратами труда на текущее содержание пути.

Установлено, что каждый килограмм уменьшения веса 1 пог. м рельса при осевых нагрузках 15—21 т увеличивает давления на балласт в среднем на 0,8%, а затраты труда по текущему содержанию пути — в среднем на 1,3%.

Отсюда следует, что рост вертикальных воздействий подвижного состава на путь и связанный с этим рост затрат труда по содержанию пути находятся в соотношении 0,8 : 1,3 или 1 : 1,6.

Полученное соотношение с физической точки зрения означает, что темп накопления остаточных деформаций в пути опережает темп роста вертикальных силовых воздействий на его элементы.

Расчетная зависимость затрат труда на текущее содержание пути от скорости движения поездов в условиях различной грузонапряженности

Зависимость затрат труда на текущее содержание пути от грузонапряженности установлена ЦНИИ МПС на основании обширных исследований работы отечественных дорог и учета зарубежного опыта. Эта зависимость положена в основу приказа МПС № 216/ЦЗ от 19 декабря 1960 г. «О дифференцированных нормах расхода рабочей силы на работах по текущему содержанию железнодорожного пути».

Указанные нормы расхода рабочей силы соответствуют некоторому обобщенному эксплуатационному состоянию пути и подвижного состава при средней ходовой скорости движения около 60 км/ч и осевых нагрузках в пределах 15—21 т.

Обработка данных приказа № 216/ЦЗ позволила выразить зависимость норм расхода рабочей силы от грузонапряженности при рельсах Р65 на деревянных шпалах и балласте из щебня в виде формулы

$$T_{\text{н}}^{\text{п}} = 400 + \frac{100 \Gamma}{3,0 + 0,04 \Gamma} \text{ чел-ч/км год,} \quad (1)$$

где $T_{\text{н}}^{\text{п}}$ — нормы расхода рабочей силы на текущее содержание пути при перспективном уровне механизации работ, равном 50%;

Γ — грузонапряженность в млн. ткм брутто/км в год.

Для учета перспективного уровня механизации работ использованы поправочные коэффициенты, рекомендуемые ЦНИИ МПС.

Так как формула (1) соответствует средней ходовой скорости около 60 км/ч, то при значениях скорости, отличных от 60 км/ч, величина $T_{\text{н}}^{\text{п}}$ должна быть соответственно изменена.

При увеличении скорости на 10 км/ч вертикальные воздействия растут в среднем на 6,75%, а так как темп роста затрат труда опережает в 1,6 раза темп роста вертикальных воздействий, то при увеличении скорости на 10 км/ч затраты труда по текущему содержанию пути следует увеличить на $6,75 \times 1,6 = 10,8\%$ или округленно на 11%.

Отсюда получена следующая формула коэффициента корректировки норм расхода рабочей силы (k_v) при значениях скорости, отличных от 60 км/ч:

$$k_v = 1 + 0,011 (v - 60) \quad (2)$$

где v — средняя ходовая скорость движения грузовых поездов в км/ч;

0,011 — коэффициент, учитывающий рост затрат труда на 11% при увеличении скорости на 10 км/ч.

На основании выражений (1) и (2) получена формула, определяющая расчетную зависимость затрат труда на текущее содержание пути от скорости и грузонапряженности при рельсах Р65 на деревянных шпалах и щебеночном балласте

$$T_{\text{нв}}^{\text{п}} = 140 + 4,4 v + \frac{100 \Gamma}{8,8 + 0,12 \Gamma} + \frac{\Gamma v}{2,7 + 0,36 \Gamma} \text{ чел-ч/км год} \quad (3)$$

Для проверки формулы (3), полученной на основании принятых нами обобщенных соотношений между вертикальными воздействиями подвижного состава и затратами труда по текущему содержанию пути, были исследованы отчетные данные об этих затратах при различных условиях эксплуатации.

Зависимость затрат труда на текущее содержание пути от грузонапряженности и скорости по отчетным данным дистанций пути

При изучении установившейся на практике зависимости затрат труда от скорости в условиях различной грузонапряженности использованы отчетные данные ряда дистанций пути, управлений дорог и результаты тяговых расчетов. Для получения материалов, пригодных для исследования указанной зависимости, была разработана специальная методика сбора отчетных данных.

В соответствии с этой методикой совместно с Гипротранс-эти собран обширный фактический материал о трудоемкости текущего содержания пути общей протяженностью около 1000 км. При этом были использованы данные свыше 12000 полумесячных графиков бригадиров пути по отдельным участкам Южной, Юго-Восточной, Московской, Южно-Уральской, Западно-Сибирской и Приднепровской железных дорог.

Участки пути с рельсами Р50 и Р65 выбирались таким образом, что были получены данные при грузонапряженности от 20 до 113 млн. ткм брутто/км в год и средней ходовой скорости 40—80 км/ч — для электровозной тяги и 20—80 м/ч — для тепловозной.

Обработка и анализ полученных данных произведены методами математической статистики.

Анализ показал, что между фактическими затратами труда на текущее содержание пути (T_{ϕ}) и ходовой скоростью движения грузовых поездов (v) существует линейная корреляционная связь, которая в общем виде может быть выражена следующим уравнением линии регрессии T_{ϕ} по v :

$$T_{\phi} = \bar{T}_{\phi} + r_{tv} \frac{\sigma_T}{\sigma_v} (v - \bar{v})$$

где \bar{T}_{ϕ} и \bar{v} — математические ожидания (центры рассеивания) величин T_{ϕ} и v ;

σ_T и σ_v — средние квадратические отклонения;

r_{tv} — коэффициент корреляции.

Параметры распределения \bar{T}_{ϕ} , \bar{v} , σ_T , σ_v и r_{tv} , а также уравнения регрессии T_{ϕ} по v для обследованных участков пути приведены в табл. 2.

Таблица 2.

Тип рель- сов	№ участ- ков	Г млн. ткм брутто/км в год	T _ф чел-ч/км в год	v км/ч	σ _T чел-ч/км в год	σ _v км/ч	r _{Tv}	Уравнение регрессии T _ф по v
P50	1	20	764,6	68,0	174,4	7,1	0,32	T _ф =228+7,9 v
	2	34	916,3	56,4	113,6	8,3	0,65	T _ф =408+9,0 v
	3	60	1171,0	57,7	101,5	6,6	0,69	T _ф =559+10,6 v
	4	76	1411,8	72,0	127,5	7,2	0,62	T _ф =620+11,0 v
	5	113	1518,4	72,6	150,3	6,0	0,47	T _ф =658+11,8 v
P50	6	27	927,8	65,0	160,5	10,0	0,49	T _ф =418+7,9 v
	7	33	1216,0	61,3	340,0	9,3	0,32	T _ф =492+11,8 v
	8	41	1523,7	63,4	446,0	10,4	0,25	T _ф =859+10,5 v
	9	47	1300,0	56,3	169,5	9,9	0,60	T _ф =720+10,3 v

Для оценки существенности корреляционной зависимости, выраженной приведенными в табл. 2 уравнениями регрессии, произведено определение значимости коэффициентов корреляции. Значимость коэффициентов корреляции установлена на основании вычисления вероятности появления (P) найденных коэффициентов корреляции в случайной выборке из некоррелированной совокупности.

Вероятность P найдена по значениям критерия t, величина которого вычислялась по формуле

$$t = \frac{r_{tv}}{\sqrt{1-r_{tv}^2}} \sqrt{n-2}$$

где n — число пар значений v и T_ф.

Основные исходные данные и вычисленные значения t, а также вероятность P и значимость r_{tv} по всем участкам приведены в табл. 3.

Как видно из табл. 3, для всех участков, за исключением участка 8, коэффициенты корреляции значимы. Поэтому для участков 1—7 и 9 корреляция, выраженная полученными уравнениями регрессии T_ф по v, определено существенно.

На рассмотренных участках преобладающим является грузовое движение. Это позволило установить зависимость трудовых затрат не от средневзвешенной скорости всех поездов (с учетом их веса брутто), а от ходовой скорости грузовых поездов. Произведенная проверка показала, что учет скорости движения пассажирских поездов не приводит к существенным изменениям зависимости T_ф от v. Для участков с пре-

Таблица 3.

№№ участ- ков	n	r_{TV}	t	Пределы вероятности P	Значимость r_{TV}
1	119	0,32	3,68	$P < 0,001$	Весьма значим
2	138	0,65	9,92	$P < 0,001$	Весьма значим
3	37	0,69	4,24	$P < 0,001$	Весьма значим
4	53	0,62	5,60	$P < 0,001$	Весьма значим
5	45	0,47	3,54	$P < 0,001$	Весьма значим
6	28	0,49	2,87	$0,001 < P < 0,01$	Весьма значим
7	41	0,32	2,16	$0,02 < P < 0,05$	Значим
8	38	0,25	1,52	$0,1 < P < 0,2$	Незначим
9	16	0,60	2,80	$0,01 < P < 0,02$	Значим

имущественно пассажирским движением следует особо рассмотреть вопрос о зависимости T_{Φ} от v .

В результате анализа системы уравнений регрессии T_{Φ} по v и учета дополнительных трудовых затрат получена формула, выражающая эмпирическую зависимость общих затрат труда на текущее содержание пути (T) от скорости и грузонапряженности

$$T = 80 + 6,0v + \frac{100\Gamma}{6,0 + 0,062\Gamma} + \frac{\Gamma v}{3,5 + 0,07\Gamma} \text{ чел-ч/км год.} \quad (4)$$

Формула (4) применима для определения затрат труда по текущему содержанию пути прямых нетормозных участков с рельсами Р65 на деревянных шпалах и щебеночном балласте, при уровне механизации работ, равном 50%, и средних осевых нагрузках около 17 т.

Сопоставление эмпирической формулы (4) с расчетной формулой (3) показало, что структуры их полностью совпадают, а отклонения затрат труда, вычисленных по обеим формулам, не превышают 8% для скоростей в пределах 40—100 км/ч при грузонапряженности в пределах 20—100 млн. ткм брутто-км в год. Достаточно близкая сходимость формул (3) и (4) подтверждает правомерность теоретических предпосылок, сделанных при выводе расчетной формулы.

В результате сравнения затрат труда, вычисленных по формуле (4), с нормами приказа № 216/ЦЗ установлено, что повышение уровня механизации работ до 50% позволит увеличить среднюю скорость движения грузовых поездов с 50—60 км/ч до 80—100 км/ч без дополнительного расхода рабочей силы на текущее содержание пути.

Для приближенного выражения зависимости $T=f(v, G)$ получена формула

$$T = 180 + 8v + 8G + 0,008Gv \text{ чел-ч/км год.} \quad (5)$$

Расхождения значений T , вычисленных по формулам (4) и (5), не превышают 10% при грузонапряженности в интервале 10—110 млн. ткм брутто/км в год.

При изучении зависимости расходов по содержанию пути от скорости и грузонапряженности была исследована связь затрат труда на текущее содержание пути с уклонами профиля. Исследование показало, что затраты труда по текущему содержанию нетормозных участков пути находятся в корреляционной зависимости от уклонов профиля. Эта зависимость является следствием зависимости скорости от уклонов и затрат от скорости, но менее существенна, чем последняя.

Влияние режима торможения поездов на затраты труда по текущему содержанию пути

Из опыта эксплуатации железных дорог известно, что на участках, где систематически применяется режим торможения поездов (имеются в виду участки регулировочного торможения) происходит некоторое увеличение расходов по текущему содержанию пути.

На таких участках значительно, примерно в 2—5 раз, увеличивается сопротивление движению поезда и, следовательно, механическая работа сопротивлений.

Ввиду большого роста механической работы сопротивлений на тормозных участках возникает вопрос о правомерности определения в этих условиях расходов по содержанию пути по системе измерителей, обычно применяемой при проектировании.

Достаточно точное решение поставленного вопроса затруднялось в связи с отсутствием исследований количественного соотношения расходов по содержанию пути на тормозных и нетормозных участках.

В связи с этим были собраны и проанализированы данные о фактической трудоемкости текущего содержания пути на тормозных и нетормозных участках отдельных двухпутных линий.

Главная особенность сбора материалов в данном случае состояла в том, что с особой тщательностью были отобраны для сравнения группы километров с тормозным и нетормозным режимом движения поездов.

Всего было отобрано 24 группы километров общей протяженностью более 180 км.

Основные данные по сопоставляемым группам километров представлены в табл. 4.

Кроме исходных данных, в табл. 4 помещены вычисленные для каждой группы средние значения: скорости — v'_T и v'_F ; уклона — i'_T и i'_F ; фактической трудоемкости — $T'_{фТ}$ и $T'_{фФ}$.

В таблицу включены также:

$$\omega_0 = 1,14 + 0,008 v'_T + 0,00013 (v'_T)^2$$

$$\omega_T = i'_T - \omega_0$$

n — число километров в каждой группе;
 $k_T = \frac{T'_{фТ}}{T'_{фФ}}$ — коэффициент увеличения затрат труда по текущему содержанию пути на тормозных километрах.

Анализ зависимости коэффициента k_T от основных факторов показал, что величина его не зависит от грузонапряженности. В то же время существенное влияние на величину k_T оказывает интенсивность торможения поездов, которая как известно, характеризуется величиной удельной тормозной силы ω_T .

В результате обработки данных табл. 4 по способу наименьших квадратов получена формула

$$k_T = 1,12 + 0,0171 \omega_T$$

или

$$k_T = 1,12 + 0,0171 (i'_T - \omega_0).$$

При средней скорости движения на тормозных спусках, равной 80 км/ч, формула, определяющая величину k_T , имеет вид

$$k_T = 1,07 + 0,0170 i'_T. \quad (6)$$

Таблица 4.

№№ п/п	Общие данные		Данные для групп километров при режиме										$k_T = \frac{T'_{фТ}}{T'_{ф}}$
	Рельсы, балласт*	Г млн. ткм брутто/ км в год	торможение					т я г а					
			n км	v'_T км/ч	$-i'_T$ ‰	$T'_{фТ}$ ч-ч/км в год	w_0 т/тыс. т	w_T т/тыс. т	n км	v' км/ч	$+i'$ ‰	$T'_{ф}$ ч-ч/км год	
1	P65, щ	22	7	71	6,8	854	2,4	4,4	8	73	2,6	726	1,18
2	P50, щ	33	7	69	5,9	1002	2,3	3,6	10	67	2,2	847	1,19
3	P50, щ	33	6	59	10,0	1660	2,1	7,9	8	61	3,6	1320	1,26
4	P50, щ	41	10	62	6,5	1754	2,1	4,4	9	65	1,8	1470	1,19
5	P50, щ	42	6	67	6,4	1330	2,3	4,1	7	66	1,7	1100	1,21
6	P50, п	45	6	73	4,0	1720	2,4	1,6	6	75	3,1	1497	1,15
7	P50, щ	47	9	61	6,2	1460	2,1	4,1	8	59	2,5	1220	1,20
8	P50, щ	47	10	57	8,5	1609	2,0	6,5	13	58	5,1	1315	1,22
9	P50, щ	53	9	61	6,4	1510	2,1	4,3	8	59	4,3	1295	1,17
10	P50, щ	61	8	67	5,5	1130	2,3	3,2	8	66	2,7	960	1,18
11	P75, щ	63	5	58	6,2	1445	2,0	4,2	6	60	3,6	1195	1,21
12	P50, щ	66	6	60	7,8	1500	2,1	5,7	6	59	0,0	1200	1,25

* На всех участках шпалы деревянные.

НТБ
ДНУЖТ

Коэффициент k_T учитывает увеличение трудовых затрат на тормозных километрах или на отрезках пути любой длины, по которым поезда движутся при режиме торможения.

При проектировании железных дорог эксплуатационные расходы определяются, как правило, по целым направлениям или участкам, в состав которых может входить различное количество тормозных километров.

Суммарные затраты труда по текущему содержанию пути на таких участках (P_{TC}) определяются выражением

$$P_{TC} = T_c L \alpha_T \text{ чел-ч/год} \quad (7)$$

где T_c — средние затраты труда на текущее содержание 1 км пути нетормозного участка в чел-ч/км год, определяемые по формулам (4) или (5);

L — общая длина участка в км;

α_T — коэффициент увеличения затрат труда по текущему содержанию пути на участке, включающем тормозные спуски.

Для определения коэффициента α_T получено выражение

$$\alpha_T = 1 + s_T (k_v k_T - 1) \quad (8)$$

где $s_T = \frac{l_T}{L}$ — $k_v = 1 + 0,011 (v_T' - v)$

k_T — определяется по формуле (6).

В приведенных формулах:

s_T — протяжение тормозных спусков на участке в долях единицы;

l_T — длина тормозных спусков в км;

k_v — коэффициент, учитывающий различные уровни скорости движения на тормозной и нетормозной частях профиля;

v_T' — средняя ходовая скорость движения на участках регулируемого торможения в км/ч;

v — то же на нетормозных участках.

Связь затрат труда на текущее содержание пути с механической работой сил сопротивления движению

В проектных калькуляциях часть расходов по содержанию пути относится на измеритель механической работы сопротивлений.

Используемая в настоящее время увязка части затрат с этим измерителем произведена для условий эксплуатации, характеризующихся сравнительно небольшим интервалом изменения грузонапряженности и скорости движения поездов. К тому же не было еще конкретных данных о влиянии скорости и режима движения поездов на расходы по содержанию пути.

На основании результатов выполненных исследований зависимости затрат труда по содержанию пути от скорости и режима движения поездов в диссертации также проведено детальное исследование связи рассматриваемых расходов с механической работой сил сопротивления движению.

Механическая работа сил сопротивления движению складывается, как известно, из работы сил основного сопротивления, тормозных сил, а также сил дополнительного сопротивления в кривых. Доля работы сил дополнительного сопротивления в кривых, как правило, сравнительно невелика. Поэтому исследована связь затрат труда по текущему содержанию пути только с механической работой сил основного сопротивления и работой тормозных сил.

При исследовании связи затрат труда с механической работой основного сопротивления последняя рассчитывалась в двух случаях: с учетом сопротивления воздушной среды и без него.

Механическая работа основного сопротивления движению с учетом сопротивления воздушной среды, отнесенная к одному километру (r_{c3}), определялась из выражения

$$r_{c3} = w_{o3} \Gamma \text{ тыс.ткм/км год,}$$

где w_{o3} основное удельное сопротивление движению поезда с учетом сопротивления воздушной среды в т/тыс. т.

При вычислении w_{o3} с учетом ближайшей перспективы в расчетах был принят вагонный состав, включающий только четырехосные и шестиосные вагоны. При весовой доле вагонов в поезде, равной 0,96, и средней осевой нагрузке 17 т, величина w_{o3} в соответствии с правилами тяговых расчетов определялась из выражения

$$w_{o3} = 1,17 + 0,0067 v + 0,00015 v^2.$$

Основное удельное сопротивление движению поезда без учета сопротивления воздушной среды (w_{o2}) и соответствующая ему механическая работа (r_{c2}) вычислялись по следующим формулам:

НТБ
ДНУЖТ

$$w_{02} = 1,17 + 0,0067 v$$

$$r_{c2} = w_{02} \Gamma \text{ тыс. ткм/км год.}$$

Вычисленные по приведенным формулам величины r_{c3} и r_{c2} , а также соответствующие им значения T , вычисленные по формуле (4), представлены в табл. 5.

В результате математической обработки данных табл. 5 получены следующие формулы:

$$T = 500 + \left(6,0 + \frac{\Gamma}{3,5 + 0,07\Gamma}\right)(v - 70) + \frac{100 r_{c3}}{6,7 + 0,038 r_{c3}} \text{ чел-ч/км год} \quad (9)$$

или приближенно

$$T = 410 + 7,0 v + 4,5 r_{c3} \text{ чел-ч/км год,} \quad (9a)$$

а также

$$T = 500 + \left(6,0 + \frac{\Gamma}{3,5 + 0,07\Gamma}\right)(v - 70) + \frac{100 r_{c2}}{4,7 + 0,038 r_{c2}} \text{ чел-ч/км год} \quad (10)$$

или приближенно

$$T = 200 + 10,0 v + 6,6 r_{c2} \text{ чел-ч/км год.} \quad (10a)$$

Приближенные формулы (9a) и (10a) обеспечивают достаточную точность вычислений величины T , так как наибольшие отклонения значений T от точных при использовании этих формул не превышают 10%.

В результате исследований связь затрат труда на текущее содержание тормозных километров пути с механической работой сил сопротивления движению выражена следующими формулами:

$$T_{\tau} = \frac{100 \Gamma}{6,0 + 0,068 \Gamma} + \left(8,0 + \frac{\Gamma}{4,0 + 0,055 \Gamma}\right) v'_{\tau} + \left(3,0 - \frac{\Gamma}{5,0 + 0,338 \Gamma}\right) r_{ст} \text{ чел-ч/км год} \quad (11)$$

или приближенно

$$T_{\tau} = 200 + 6,0 \Gamma + (11,0 + 0,08 \Gamma) v'_{\tau} + (1,3 - 0,01 \Gamma) r_{ст} \text{ чел-ч/км год,} \quad (11a)$$

Г млн. ткм брутто/ км год	Величины Т в чел-ч/км год, $r_{сз}$ и $r_{с2}$ в тыс.									
	40			50			60			Т
	Т	$r_{сз}$	$r_{с2}$	Т	$r_{сз}$	$r_{с2}$	Т	$r_{сз}$	$r_{с2}$	
20	770	34	29	870	38	30	970	42	31	1070
30	920	51	43	1030	56	45	1140	63	47	1260
40	1040	68	58	1170	75	60	1290	84	63	1410
50	1150	85	72	1290	94	75	1420	105	78	1550
60	1250	101	86	1390	113	90	1530	126	94	1670
70	1330	118	101	1480	132	105	1620	148	110	1760
80	1400	135	115	1550	150	120	1700	169	126	1840
90	1470	152	130	1620	169	135	1770	190	141	1920
100	1520	168	144	1680	188	150	1830	211	157	1980
110	1570	186	158	1730	207	165	1890	232	173	2040

Таблица 5.

ткм/км год при скоростях движения в км/ч:										
70		80			90			100		
$r_{сз}$	$r_{с2}$	T	$r_{сз}$	$r_{с2}$	T	$r_{сз}$	$r_{с2}$	T	$r_{сз}$	$r_{с2}$
48	33	1170	53	34	1270	60	35	1370	67	37
71	49	1370	80	51	1490	89	53	1600	100	55
95	66	1540	108	68	1660	119	71	1780	133	74
119	82	1680	133	85	1810	149	89	1940	167	92
143	98	1800	160	103	1940	179	106	2080	200	110
166	115	1900	187	120	2050	208	124	2190	234	129
190	131	1990	214	137	2140	238	142	2290	267	147
214	147	2070	240	154	2230	268	159	2380	300	166
238	164	2140	267	171	2300	298	177	2450	334	184
262	180	2200	294	188	2360	328	195	2520	368	202

где T_{τ} — затраты труда по текущему содержанию 1 км пути на тормозном участке;

$r_{ст}$ — механическая работа сил сопротивления движению на тормозном участке, отнесенная к 1 км, в тыс. ткм/км год.

Дополнительные затраты труда по текущему содержанию 1 км пути тормозного участка (ΔT_{τ}) в зависимости от работы сил торможения (r_{τ}) выражены формулами

$$\Delta T_{\tau} = 140 + 1,4 \Gamma + \left(3,0 - \frac{\Gamma}{5,0 + 0,833 \Gamma} \right) r_{\tau} \text{ чел-ч/км год} \quad (12)$$

или упрощенно

$$\Delta T_{\tau} = 230 + 0,5 r_{\tau} \text{ чел-ч/км год.} \quad (12a)$$

Произведенное исследование связи затрат труда по текущему содержанию пути с механической работой сил сопротивления движению показало следующее:

1. Затраты труда на нетормозных участках могут быть определены с одинаковой точностью как в зависимости от механической работы сил основного сопротивления, исчисленной с учетом сопротивления воздушной среды, так и в зависимости от механической работы сил основного сопротивления, исчислений без учета сопротивления воздушной среды.

2. Узвязка затрат труда с измерителем механической работы сил сопротивления, исчисленной без учета сопротивления воздушной среды, нецелесообразна ввиду усложнения расчетов.

3. На участках торможения механическая работа сил сопротивлений растет быстрее, чем затраты труда по содержанию пути. В связи с этим формулы, связывающие затраты труда по содержанию пути с механической работой сил сопротивлений при нетормозном режиме, непригодны для расчетов по участкам торможения, так как значительно завышают степень влияния торможения на величину затрат.

4. При использовании измерителя механической работы сил сопротивлений затраты труда по содержанию пути на нетормозной и тормозной частях профиля должны вычисляться по различным формулам, например (9a) и (11a).

Рекомендуемые формулы, измерители и структура норм для определения эксплуатационных расходов по текущему содержанию пути

В результате анализа возможных способов расчета затрат труда по текущему содержанию участка пути получены две основные формулы

$$P_{\text{тс}} = (180 + 8,0 v_{\text{сх}} + 8,0 \Gamma + 0,08 \Gamma v_{\text{сх}}) \alpha_{\text{т}} L \quad \text{чел-ч/год} \quad (13)$$

и

$$P_{\text{тс}} = (410 + 7,0 v_{\text{сх}}) L + 230 I_{\text{т}} + 4,5 R_{\text{с}} + 0,5 R_{\text{т}} \quad \text{чел-ч/год} \quad (14)$$

где $v_{\text{сх}}$ — средняя ходовая скорость движения по участку в км/ч;

$R_{\text{с}}$ — полная механическая работа сил основного сопротивления и дополнительного сопротивления в кривых на участке в тыс. ткм/год;

$R_{\text{т}}$ — полная механическая работа сил торможения на участке в тыс. ткм/год.

Обе формулы равноценны с точки зрения точности вычислений и поэтому при их сопоставлении прежде всего учитывалась сложность расчета $P_{\text{тс}}$ по каждой из формул, а также соответствие формул физическому смыслу связи расходов с основными характеристиками пути и подвижного состава.

Проведенное сопоставление показало, что более приемлемой является формула (13). Для вычисления затрат труда по формуле (13) определяются следующие натуральные показатели:

- 1) длина линии (L);
- 2) грузонапряженность брутто (Γ);
- 3) средняя ходовая скорость движения ($v_{\text{сх}}$);
- 4) протяжение тормозных спусков ($I_{\text{т}}$);
- 5) величина средневзвешенного уклона на тормозных спусках ($i'_{\text{т}}$);
- 6) средняя ходовая скорость на тормозных спусках ($v'_{\text{т}}$).

На основании формулы (13) и исследования влияния конструкции верхнего строения на величину затрат получены формулы для определения эксплуатационных расходов по текущему содержанию звеньевому пути при различных типах рельсов и роде балласта (с учетом стоимости материалов). Рекомендуемые для расчетов формулы приведены в табл. 6.

Таблица 6.

Тип рельсов, род балласта	Формулы для определения эксплуатационных расходов в руб/год по текущему содержанию звеньевго пути на деревянных шпалах при уровне механизации 50% и осевых нагрузках 15—21 т.
Р 75, щебень	$\mathcal{E}_{\text{тс}} = [80 + 3,5 v_{\text{сх}} + (3,5 + 0,035 v_{\text{сх}}) \Gamma] a_{\text{т}} a_{\text{к}} L$
Р 75, гравий Р 65 щебень	$\mathcal{E}_{\text{тс}} = [90 + 4,0 v_{\text{сх}} + (4,0 + 0,040 v_{\text{сх}}) \Gamma] a_{\text{т}} a_{\text{к}} L$
Р 65, гравий	$\mathcal{E}_{\text{тс}} = [100 + 4,5 v_{\text{сх}} + (3,4 + 0,045 v_{\text{сх}}) \Gamma] a_{\text{т}} a_{\text{к}} L$
Р 50, щебень	$\mathcal{E}_{\text{тс}} = [110 + 5,0 v_{\text{сх}} + (5,0 + 0,050 v_{\text{сх}}) \Gamma] a_{\text{т}} a_{\text{к}} L$
Р 50, гравий	$\mathcal{E}_{\text{тс}} = [125 + 5,5 v_{\text{сх}} + (5,5 + 0,055 v_{\text{сх}}) \Gamma] a_{\text{т}} a_{\text{к}} L$
Р 50, песок	$\mathcal{E}_{\text{тс}} = [160 + 6,3 v_{\text{сх}} + (6,3 + 0,063 v_{\text{сх}}) \Gamma] a_{\text{т}} a_{\text{к}} L$
Р 43, щебень	$\mathcal{E}_{\text{тс}} = [130 + 5,8 v_{\text{сх}} + (5,8 + 0,058 v_{\text{сх}}) \Gamma] a_{\text{т}} a_{\text{к}} L$
Р 43, гравий	$\mathcal{E}_{\text{тс}} = [135 + 6,5 v_{\text{сх}} + (6,5 + 0,055 v_{\text{сх}}) \Gamma] a_{\text{т}} a_{\text{к}} L$
Р 43, песок	$\mathcal{E}_{\text{тс}} = [165 + 7,3 v_{\text{сх}} + (7,3 + 0,073 v_{\text{сх}}) \Gamma] a_{\text{т}} a_{\text{к}} L$

В приведенных в табл. 6 формулах $a_{\text{к}}$ — коэффициент увеличения расходов по содержанию пути за счет кривых малых радиусов (менее 600 м). Величина $a_{\text{к}}$ ориентировочно определяется выражением

$$a_{\text{к}} = 1 + 0,15 s_{\text{к}}$$

где $s_{\text{к}}$ — отношение суммарной длины кривых малых радиусов к длине участка.

В основу рекомендуемой в диссертации структуры норм эксплуатационных расходов по текущему содержанию пути положено разделение расходов на две группы.

Расходы по первой группе пропорциональны измерителю

Таблица 7

Наименование расходов	Измеритель	Норма на измеритель в рублях в год			
I. Расходы, пропорциональные размерам движения					
Текущее содержание верхнего строения пути при балласте:	1 млн. приведенных ткм брутто	Тип рельсов			
		Р 75	Р 65	Р 50	Р 43
щебеночном		3,5+0,035 v_{cx}	4,0+0,040 v_{cx}	5,0+0,050 v_{cx}	5,8+0,058 v_{cx}
гравийном		4,0+0,040 v_{cx}	4,5+0,045 v_{cx}	5,5+0,055 v_{cx}	6,5+0,065 v_{cx}
песчаном		—	—	6,2+0,063 v_{cx}	7,3+0,073 v_{cx}
II. Расходы по содержанию постоянных устройств.					
Текущее содержание пути при балласте:	1 км приведенной длины главных путей				
щебеночном		80+3,5 v_{cx}	90+4,0 v_{cx}	110+5,0 v_{cx}	130+5,8 v_{cx}
гравийном		90+4,0 v_{cx}	100+4,5 v_{cx}	125+5,5 v_{cx}	145+6,5 v_{cx}
песчаном		—	—	160+6,3 v_{cx}	165+7,3 v_{cx}

Примечание. В таблице приведены нормы для пути на деревянных шпалах.

НТБ
ДНУЖТ

«приведенные тонно-километры брутто» ($\Gamma L_{\text{пр}}$), по второй группе — измерителю «приведенная длина главного пути» ($L_{\text{пр}}$). Здесь $L_{\text{пр}} = \alpha_{\text{т}} \alpha_{\text{к}} L$

При таком разделении расходов на две группы расходные ставки на измерители дифференцированы в зависимости от средней ходовой скорости движения поездов и типа верхнего строения пути.

Рекомендуемые в этом случае нормы эксплуатационных расходов по текущему содержанию пути, представлены в виде простейших формул, приведенных в табл. 7

Представление норм в виде формул более четко разделяет расходы на зависящие и независящие от размеров и скорости движения, что может быть использовано при построении общей формулы эксплуатационных расходов по передвижению поездов.

Приведенные формулы относятся только к расходам по текущему содержанию пути. Расходы на ремонты пути в них не включены ввиду недостаточной дифференциации существующих межремонтных норм от важнейших эксплуатационных факторов: грузонапряженности, скорости и режима движения поездов, осевых нагрузок. Изучение зависимости расходов на ремонты пути от основных факторов является самостоятельной задачей, выходящей за пределы проведенного исследования.

Основные выводы

1. На основании комплексного анализа норм расхода рабочей силы на текущее содержание пути и результатов теоретических и экспериментальных исследований взаимодействия пути и подвижного состава, выполненных в ЦНИИ МПС, МИИТе, ДИИТе и др., установлена расчетная зависимость норм расхода труда по текущему содержанию пути от скорости движения поездов.

2. Исследование показало, что фактические затраты труда на текущее содержание пути также зависят от скорости движения поездов. Эта зависимость является корреляционной, коэффициенты корреляции значимы.

3. Расчетная зависимость затрат труда на текущее содержание пути от скорости достаточно близко совпадает с фактической. Расхождения в затратах труда, вычисленных по формулам, полученным различными способами (расчетным

путем и по фактическим данным), не превышают 8%.

4. На участках пути, где систематически применяется регулировочное торможение (подтормаживание) поездов, затраты труда по текущему содержанию пути больше, чем на аналогичных нетормозных участках.

Увеличение затрат труда на тормозных участках в основном зависит от величины средневзвешенного уклона и составляет в среднем около 20%.

5. В результате исследования возможных способов расчета расходов по текущему содержанию пути с использованием измерителя механической работы сил сопротивлений и анализа физического смысла связи рассматриваемых расходов с непосредственными возбудителями их установлено следующее:

а) измеритель механической работы сил сопротивлений недостаточно полно учитывает влияние скорости на величину расходов по текущему содержанию пути;

б) расходы по текущему содержанию пути на нетормозной и тормозной частях профиля должны вычисляться по различным формулам;

в) механическая работа сил сопротивлений, рассчитываемая по общепринятым в настоящее время формулам, с увеличением осевых нагрузок, при прочих равных условиях, уменьшается. В связи с этим при увеличении осевых нагрузок уменьшается величина расходов по содержанию пути, рассчитанных в зависимости от механической работы сил сопротивлений, что противоречит действительному характеру связи расстройств пути с осевыми нагрузками;

г) расчетная величина механической работы сил сопротивления при движении поезда в нетормозном режиме существенно зависит от способов ее определения, так как величины основного сопротивления, исчисленные по разным формулам, резко различаются. Это обстоятельство создает условность значений расходов, рассчитанных в зависимости от механической работы сил сопротивлений.

6. На основании выполненных исследований следует признать неприемлемой увязку расходов по текущему содержанию пути с измерителем механической работы сил сопротивлений.

7 Расходы по текущему содержанию пути целесообразно считать пропорционально двум измерителям: «приведенные тонно-километры брутто» и «приведенная длина главного пути».

Расходные ставки на эти измерители должны быть дифференцированы в зависимости от средней ходовой скорости движения поездов в соответствии с рекомендациями, приведенными в диссертации.

8. Предлагаемое построение норм предусматривает выделение расходов по текущему содержанию пути в виде отдельной статьи эксплуатационных расходов. Это позволит производить корректировку норм для учета изменения уровня механизации и системы организации работ, изменения производительности труда или конкретных условий эксплуатации.

9. Рекомендуемые нормы эксплуатационных расходов по текущему содержанию пути, несмотря на их пригодность для большого диапазона грузонапряженности, скорости движения поездов и типов верхнего строения, все же не являются универсальными. Нормы эти должны корректироваться при расчетах по бесстыковому пути и пути на железобетонных шпалах, при малых осевых нагрузках, а также в случае, если уровень механизации работ и потери времени на пропуск поездов существенно отличаются от принятых при их разработке. Указанная корректировка норм может быть произведена в соответствии с рекомендациями, изложенными в диссертации.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. К вопросу о влиянии скорости движения поездов на расходы по текущему содержанию пути. Труды ДИИТа, вып. 45, 1963.

2. О влиянии скорости движения грузовых поездов на расходы по текущему содержанию пути в условиях различной грузонапряженности. Труды ДИИТа, вып. 53, 1964.

3. Исследование связи между расходами по содержанию пути и механической работой сопротивлений на нетормозных участках. Труды ДИИТа, вып. 57, 1965.

4. Исследование влияния режима торможения поездов на расходы по содержанию пути. Труды ДИИТа, вып. 57, 1965.

Результаты работы были доложены на научных семинарах кафедр изысканий, проектирования и строительства железных дорог и путь и путевое хозяйство ДИИТа, на заседании кафедры экономики и организации строительного производства и технико-экономических изысканий железных дорог МИИТа, а также в Днепрогипротрансе.

Теоретическое обоснование к исследованию расходов по текущему содержанию пути было использовано Гипротранстэн МПС при составлении указаний по разработке и выбору измерителей и распределению эксплуатационных расходов (1964 г.).

БТ 10409. Областная книжная типография
Днепропетровского областного управления по печати,
г. Днепропетровск, ул. Серова, 7.
Заказ № 3597-м. Тираж 180. Объем 1,75 п. л. Подписано к печати 24.X-66 г.

Сканировала Камьянская Н.А.

НТБ
ДНУЖТ