

## ОЦЕНКА ПОТЕРЬ ОТ ОГРАНИЧЕНИЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПЕОЗДОВ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ СНИЖЕНИЯ ЗА СЧЁТ РАЦИОНАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ СОДЕРЖАНИЯ ПУТИ

Одним з напрямків економії енергоресурсів та зменшення питомих витрат на виконання перевізної роботи може бути підвищення максимально допустимих швидкостей руху поїздів в кінці «шкідливих» спусків за рахунок поліпшеного утримання колії і своєчасне усунення діючих попереджень (тимчасових обмежень швидкості) у визначеній черговості, з урахуванням економічної ефективності даних заходів. У статті наводиться методика і приклади розрахунків економічної оцінки втрат від обмежень швидкості руху поїздів.

*Ключові слова:* організація утримання колії, обмеження швидкості руху поїздів, економічна оцінка втрат

Одним из направлений экономии энергоресурсов и уменьшения удельных расходов на выполнение перевозочной работы может быть повышение максимально-допустимых скоростей движения поездов в конце «вредных» спусков за счёт улучшенного содержания пути и своевременное устранение действующих предупреждений (временных ограничений скорости) в определённой очередности, с учётом экономической эффективности данных мероприятий. В статье приводится методика и примеры расчётов экономической оценки потерь от ограничений скорости движения поездов.

*Ключевые слова:* организация содержания пути, ограничения скоростей движения поездов, экономическая оценка потерь

One of directions of saving the energy and reducing the specific costs of carrying out the transportation work may be raising the maximum permissible speed of trains at the end of «bad» down-grades through improved track maintenance and timely removal of the existing warnings (temporarily speed restrictions) in a certain order, taking into account the economic efficiency of these activities. The article presents methods and examples of calculations of the economic evaluation of losses due to the restrictions of train traffic speed.

*Keywords:* track maintenance organization, restrictions of train traffic speeds, economic evaluation of losses

### Постановка проблеми

В ряд наиболее важных задач, стоящих перед железными дорогами в современных условиях работы, входят повышение скорости движения поездов, экономия энергоресурсов и уменьшение удельных расходов на выполнение работы. Эти задачи, как правило, не могут быть решены одновременно, поскольку повышение скорости движения сопровождается увеличением расходов топлива и расходов на ремонты подвижного состава и пути. Однако из этого правила есть некоторые исключения.

На крутых спусках пути скорость движения поезда может повышаться без использования силы тяги локомотива (т.е. без затрат топлива) за счёт отрицательного уклона. При этом в ряде случаев поезд достигает максимально-допустимой (предельной) скорости до окончания спуска. Такие спуски считаются «вредными». После достижения предельной скорости дальнейшее движение поезда по этому спуску возможно с предельной скоростью при подтормаживании. Повышение максимально допустимой ограничением скорости в конце «вредного» спуска могло бы привести одновременно и к повышению скорости движения по участку (экономии времени), и к экономии топлива на передвижение за счёт использования дополни-

тельной кинетической энергии, приобретаемой поездом на спуске.

Ещё одно исключение из правила составляют некоторые действующие предупреждения (ограничения максимальной скорости движения, временно вводимые на определённых отрезках участка пути из-за плохого состояния пути, в связи с проведением ремонтных работ, использованием инвентарных рельсов и др.), устранение которых позволяет в ряде случаев повысить скорость движения поезда при одновременном снижении расходов на передвижение.

### Анализ исследований в данной области

Изменение скоростей и режимов движения поезда на отрезке пути приводит к изменению величины расходов на преодоление поездом данного отрезка. Зависимость расходов на передвижение поезда от скоростей и режимов его движения анализировалась рядом исследователей [3, 4], А. Л. Васютинский [1, 2] и позже проф. Ю. В. Ломоносов [6] связывали затраты на ремонт пути и подвижного состава не с пробегом, а с механической работой тяги, величина которой зависит от скоростей и режимов движения поезда.

Затем эта взаимосвязь получила признание и конкретное выражение благодаря работам проф. М. М. Протодяконова [14], проф. А. Е. Гибшмана [5], проф. Г. И. Черномордика [16, 17], которыми были разработаны нормативы затрат, связанных с механической работой тяги и преодоления сил сопротивлений движению поезда, для условий проектирования железных дорог (в основном при сравнении вариантов трассы). Для условий эксплуатации существующих линий данная взаимосвязь впервые была применена в исследованиях проф. Г. И. Черномордика [16, 17]. Существенная работа по нормированию затрат, связанных с механической работой тяги и сил сопротивления движению была выполнена в Гипротранстэи МПС СССР [12]. Ценные научные и проектные разработки в этом направлении выполнены, в частности, инженерами П. А. Луговым и Л. Г. Цыпиным [7, 8].

В дальнейшем взаимосвязь между скоростями движения и расходами на ремонты и на топливо использовалась К. К. Тихоновым [15], Н. Д. Малькевичем [9, 10] и другими исследователями при поиске оптимальных скоростей и режимов движения поездов, а также в других оптимизационных задачах.

#### **Выделение ранее неисследованной части проблемы**

Проблема повышения максимально допустимой скорости движения в конце «вредных» спусков исследована недостаточно. Отсутствует методика оценки экономической эффективности данного мероприятия.

Решения об установлении действующих предупреждений, о целесообразности и очередности их устранения, о сроках, затратах ресурсов и требуемом качестве проводимых при этом ремонтных работ, в существующей практике эксплуатации железных дорог принимаются без учёта экономической эффективности данных мероприятий.

#### **Цель исследования**

**Целью данной работы** является разработка методики экономической оценки потерь от ограничений скорости движения поездов в местах действующих предупреждений и на «вредных» спусках, позволяющей выполнять такие расчёты для конкретных отрезков пути и конкретных условий движения, на основе которых можно было бы принимать решения об очередности проведения ремонтных работ по устранению действующих предупреждений и о целесообразности повышения скорости

движения в конце «вредных» спусков с учётом величины необходимых для этого дополнительных затрат ресурсов на содержание и ремонты пути.

#### **Основной материал**

##### ***Методика расчёта расходов на преодоление поездом отрезка пути в зависимости от скоростей и режимов движения***

От скоростей и режимов движения зависят следующие группы расходов: амортизационные отчисления с вагонов и локомотивов, заработная плата локомотивной бригады, заработная плата проводников и другого персонала поезда, потери времени пассажирами и грузами в пути, приведенные капиталовложения в подвижной состав. Величина суммарных расходов на передвижение конкретного поезда и каждой из перечисленных их составляющих будет различной при различных скоростях и режимах движения.

Для расчёта величины расходов на преодоление заданного отрезка пути в зависимости от скоростей и режимов движения удобно использовать систему расходных ставок, включающую такие измерители, как затраченное время, проделанная механическая работа сил тяги локомотива, механическая работа сил сопротивления движению и механическая работа сил торможения.

В зависимости от количества измерителя «затраченное время» можно рассчитать величину таких расходов, как расход топлива (электроэнергии) для собственных нужд локомотива и вагонов, амортизационные отчисления с вагонов и локомотивов, заработная плата локомотивной бригады, заработная плата проводников и другого персонала поезда, потери времени пассажирами и грузами в пути, приведенные капиталовложения в подвижной состав.

Под механической работой сил сопротивления движению понимается произведение силы сопротивления движению на расстояние передвижения поезда. Износ подвижного состава и пути, связанный с передвижением поезда по участку, происходит в процессе преодоления сопротивления движению поезда. Поэтому расходы по износу подвижного состава и пути, а также по их смазке, несколько снижающей износ трущихся деталей, напрямую зависят от механической работы сил сопротивления движению. Сила сопротивления движению определяется в соответствии с Правилами тяговых расчётов [13] и количественно зависит от скорости движения, массы подвижного состава и груза, типа подвижного состава и пути и других параметров.

Силы сопротивления движению преодолеваются за счёт силы тяги, создаваемой локомотивом. Произведение касательной силы тяги локомотива на обод колеса на путь перемещения поезда как подвижной единицы называется механической работой локомотива. Механическая работа локомотива может происходить только в результате потребления локомотивом топлива или электроэнергии. Таким образом, в зависимости от количества измерителя «механическая работа локомотива» можно рассчитать величину расходов на топливо (электроэнергию) для тяги.

Под механической работой сил торможения понимается произведение силы торможения на расстояние передвижения поезда. Механическая работа сил торможения, как и механическая работа сил сопротивления, приводит к износу подвижного состава и пути.

Пользуясь предложенной системой расходов ставок можно рассчитать расходы на пере-

движение конкретного поезда по заданному отрезку пути.

#### **Экономическая эффективность повышения максимально-допустимой скорости движения в конце «вредного» спуска**

В качестве примера выполнены расчёты для поездки в направлении Брест – Барановичи Белорусской железной дороги грузового поезда массой 4100 т, составленного из 50 гружёных вагонов, локомотив ВЛ80С. Максимально допустимая ограничением скорость равна 80 км/ч. Расчёты выполнены с использованием программы «Тяговые расчёты», разработанной Н. Д. Малькевичем и Н. Ф. Зеньчуком. На рис. 1 приведены фрагменты графиков тяговых расчётов, на которых показана скорость движения поезда, при наличии ограничения скорости в конце «вредного» спуска и без него.

Результаты тяговых расчётов и расчёт экономии от повышения скорости за одну поездку приведены в табл. 1.

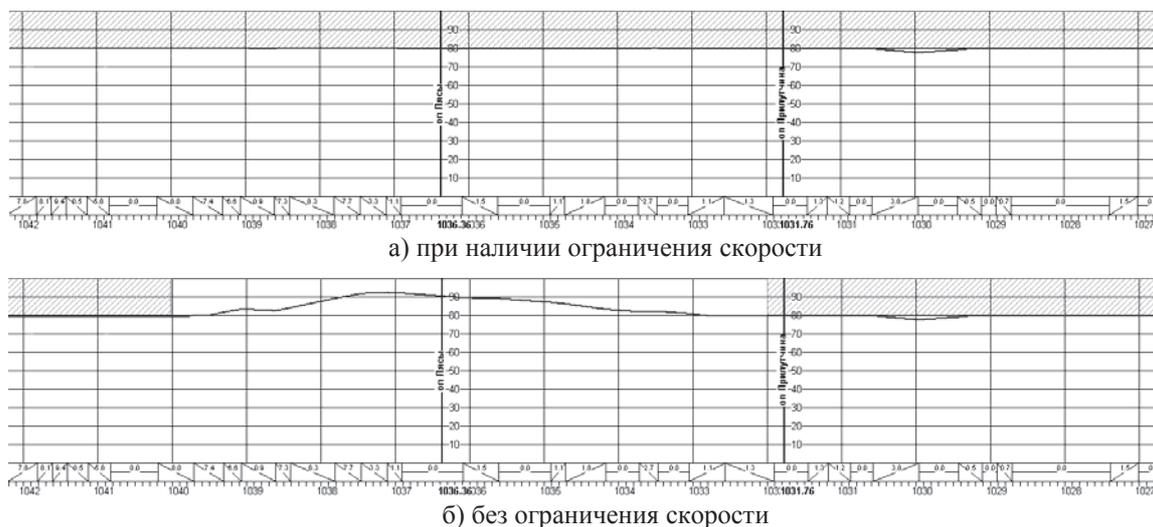


Рис. 1. Фрагменты графиков тяговых расчётов для движения по «вредному» спуску

За одну поездку грузовым поездом экономия от мероприятия составляет 75 557,6 бел. руб. При размерах движения в данном направлении 9 поездов в сутки суточная экономия составит  $75\,557,6 \cdot 9 = 680\,018,4$  бел. руб., годовая экономия составит  $680\,018,4 \cdot 365 = 248\,206\,716$  бел. руб. (примерно 83 тыс. дол. США).

Результаты экономической оценки потерь от ограничения скорости, возникающие при наличии «вредного» спуска, могут быть использованы для принятия решений о повышении максимально допустимой скорости в конце «вредного» спуска с учётом необходимых для этого расходов на содержание и ремонт пути.

#### **Экономическая эффективность устранения действующих предупреждений на участках железной дороги**

Перед отрезком пути, на котором установлено ограничение скорости, поезд снижает скорость с применением выбега или торможения, затем следует со скоростью, допустимой ограничением. По окончании ограничения поезд снова набирает скорость (разгоняется). В результате увеличивается время нахождения поезда на участке, и соответственно зависящие от времени расходы; возникает дополнительная механическая работа сил торможения для снижения скорости поезда, что ведёт к износу пути и подвижного состава, в частности подсистем, активно участвующих в тор-

мождении; выполняется дополнительная работа сил тяги для разгона поезда после преодоления отрезка пути с действующим предупреждением, что связано с дополнительным расходом топлива. На отрезке пути, по которому поезд движется с ограничением скорости, несколько уменьшается работа сил сопротивления движению поезда и

работа сил тяги, соответственно меньше будут износ подвижного состава и пути и расход топлива на тягу. Так же работа сил сопротивления будет несколько меньшей на отрезках пути, где поезд снижает скорость перед ограничением и разгоняется после окончания ограничения.

Таблица 1

**Расчёт экономии от повышения максимально-допустимой скорости движения в конце «вредного» спуска за одну поездку грузовым поездом**

Наименование измерителя	Величина измерителя		Разность величин измерителей	Расходная ставка, бел. руб.	Экономия, бел. руб.
	до повышения скорости	после повышения скорости			
Механическая работа сил сопротивления, т-км	120,7	121,7	-1,0	1285	-1285,0
Механическая работа сил торможения, т-км	22,2	0,0	22,2	1285	28527,0
Механическая работа сил тяги, т-км	277,4	241,0	36,4	1285	46774,0
Время, мин.	19,4	19,1	0,4	3854	1541,6
Величина экономии от повышения скорости (итого)					75557,6

В качестве примера выполнен расчёт потерь от действующего предупреждения на отрезке пути Костюковка – Лазурная, 1 главный путь, 210 км ПК4 – 211 км ПК10, на участке Гомель – Жлобин Белорусской железной дороги. На этом отрезке пути после среднего ремонта пути действовало предупреждение, ограничивавшее скорость движения до 60 км/ч. До установки предупреждения максимально допустимая скорость движения для грузовых поездов была равна 80 км/ч. Вес поезда равен 4172 т, в составе поезда 47 гружёных и 15 порожних вагонов. Локомотив 2ТЭ10М. Размеры движения равны 7 поездов в сутки.

На рис. 2 приведены фрагменты графиков тяговых расчётов, на которых показана скорость движения грузового поезда при наличии действующего предупреждения и без него. Результаты тяговых расчётов для грузового поезда для участка Гомель – Жлобин и расчёт потерь от действующего предупреждения за одну поездку приведены в табл. 2.

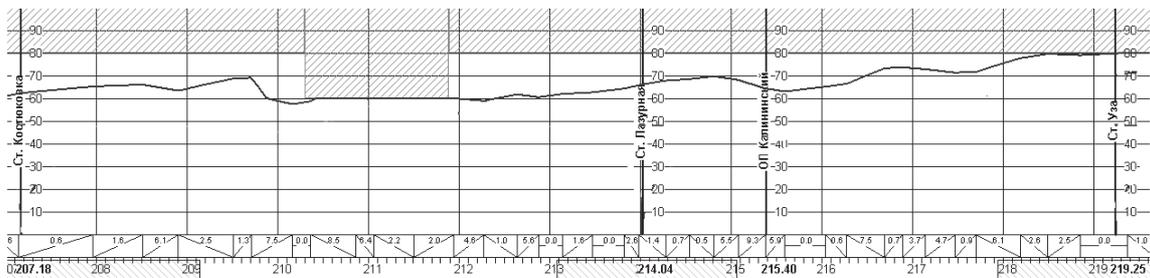
За одну поездку грузовым поездом потери от рассматриваемого действующего предупреждения составляют 53 827,4 бел. руб. При средних размерах грузового движения в данном направлении 7 поездов в сутки среднесуточные потери составят  $53\ 827,4 \cdot 7 = 376\ 792$  бел. руб.,

потери за месяц составят  $376\ 792 \cdot 30 = 11\ 303\ 754$  бел. руб. В пересчёте на год экономический эффект составит  $376\ 792 \cdot 365 = 137\ 529\ 080$  бел. руб. (примерно 46 тыс. дол. США).

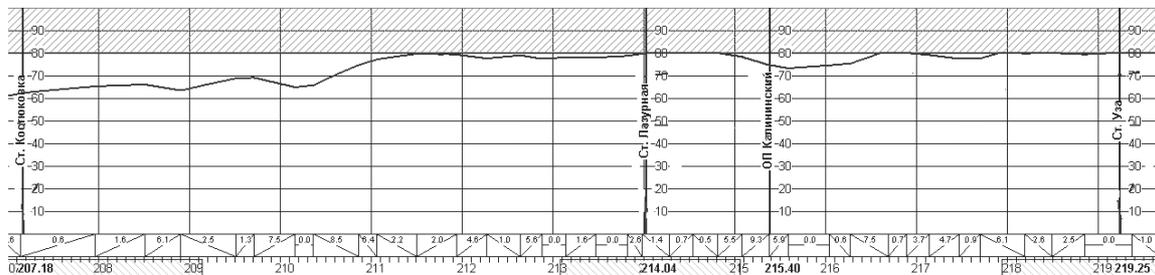
Для каждого действующего предупреждения можно рассчитать коэффициент эффективности его устранения как отношение полученного экономического эффекта к необходимым для этого расходам. В первую очередь необходимо устранять те действующие предупреждения, эффективность устранения которых выше.

Если на участке имеется несколько мест с ограничениями скорости движения, то в первую очередь необходимо устранять ограничение, которое наиболее ограничивает скорость, а при равных ограничениях скоростей в первую очередь надо устранять такое, которое расположено в конце «вредного» спуска, так как в конце этих спусков скорость движения поезда достигает наибольшего максимально допустимого значения.

В конце подъёмов скорость ограничения не всегда реально достижима по силе тяги локомотива для поездов большой массы. Поэтому эти ограничения можно устранять в последнюю очередь.



а) при наличии действующего предупреждения



б) без действующего предупреждения

Рис. 2. Фрагменты графиков тяговых расчётов для движения по отрезку пути с действующим предупреждением

Таблица 2

**Расчёт потерь от действующего предупреждения (ДП) за одну поездку грузовым поездом**

Наименование измерителя	Величина измерителя, т-км		Разность величин измерителей	Расходная ставка, руб.	Расходы, руб.
	без ДП	при наличии ДП			
Механическая работа сил сопротивления, т-км	1296,0	1291,0	-5,0	1285,0	-6425,0
Механическая работа сил торможения, т-км	244,6	273,6	29,0	1285,0	37265,0
Механическая работа сил тяги, т-км	1064,3	1078,5	14,2	1285,0	18247,0
Время, мин	80,53	81,76	1,23	3854,0	4740,4
Величина потерь от действующего предупреждения (итога)					53827,4

**Выводы**

Потери из-за ограничений максимальной скорости движения поездов на «вредных» спусках и в местах действующих предупредительных могут быть значительными. Для того чтобы оценить величину потерь от ограничения скорости, нужно сопоставить расходы на передвижение поездов по данному отрезку пути без ограничения скорости и с учётом ограничения.

Для расчёта величины расходов на преодоление поездом заданного отрезка пути в зависимости от скоростей и режимов движения удобно использовать систему расходных ставок, включающую такие измерители, как затраченное время, проделанная механическая рабо-

та сил тяги локомотива, механическая работа сил сопротивления движению и механическая работа сил торможения.

Выполненный в качестве примера расчёт экономического эффекта от повышения максимально-допустимой скорости движения в конце «вредного» спуска на перегоне Тевли – Оранчицы участка Брест – Барановичи Белорусской железной дороги показывает, что за одну поездку грузовым поездом экономия от мероприятия составляет 75 558 бел. руб. (примерно 25 дол. США), а годовая экономия составит 248 206 716 бел. руб. (примерно 83 тыс. дол. США).

Дополнительный износ подвижного состава и пути, возникающий при этом за счёт более

высоких скоростей движения поезда, будет меньшим, чем износ, возникающий при движении поезда в конце «вредного» спуска на сравнительно высоких скоростях с подтормаживанием.

Выполненный в качестве примера расчёт величины потерь от действующего предупреждения, установленного на отрезке пути Костюковка – Лазурная участка Гомель – Жлобин Белорусской железной дороги показывает, что за одну поездку грузовым поездом потери составляют 53 827 белорусских рублей. В пересчёте на год экономический эффект составит 137 529 080 бел. руб. (примерно 46 тыс. дол. США).

Устранение конкретного действующего предупреждения даёт экономический эффект и обходится в определённую сумму расходов. Для каждого действующего предупреждения можно рассчитать коэффициент эффективности его устранения как отношение полученного экономического эффекта к сделанным расходам. В первую очередь необходимо устранять те действующие предупреждения, эффективность устранения которых выше.

Таким образом, результаты экономической оценки потерь от ограничений скорости от действующих предупреждений могут быть использованы при принятии решений об установлении действующих предупреждений, о целесообразности и очередности их устранения, о сроках, затратах ресурсов и требуемом качестве проводимых при этом ремонтных работ. Результаты экономической оценки потерь от ограничения скорости, возникающие при наличии «вредного» спуска, могут быть использованы для принятия решений о повышении максимально допустимой скорости в конце «вредного» спуска. Данные мероприятия позволят снизить затраты, связанные с движением поездов по участкам железной дороги.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васютынский, А. Л. Годовые расходы и эксплуатационная длина русских железных дорог [Текст] / А. Л. Васютынский // Инженер. – 1905. – № 3-4.
2. Васютынский, А. Л. Железные дороги [Текст] / А. Л. Васютынский. – Варшава, 1905.
3. Воскресенский, Б. Д. Основные начала механики железнодорожного транспорта [Текст] / Б. Д. Воскресенский // Экспериментальный ин-т путей сообщения. – 1919. – Бюл. № 9.
4. Воскресенский, Б. Д. Теория работы железнодорожных поездов [Текст] / Б. Д. Воскресенский. – Екатеринослав, 1903.
5. Гибшман, А. Е. Эксплуатационно-экономические обоснования выбора параметров перспективных паровозов [Текст] / А. Е. Гибшман. – В кн.: Вопросы экономики железнодорожного транспорта. Сб. статей. – М.: Трансжелдориздат, 1948.
6. Ломоносов, Ю. В. Научные основы эксплуатации железных дорог [Текст] / Ю. В. Ломоносов. – Изд. 4-е. – Берлин, 1922 (рус.).
7. Луговой, П. А. Техничко-экономические расчёты при реконструкции железных дорог [Текст] / П. А. Луговой, Л. Г. Цыпин. – М.: Трансжелдориздат, 1963.
8. Луговой, П. А. Основы технико-экономических расчётов на железнодорожном транспорте [Текст] / П. А. Луговой, Л. Г. Цыпин, Р. А. Аукционек. – М.: Транспорт, 1973. – 232 с.
9. Малькевич, Н. Д. Исследование зависимости между оптимальным планом формирования, весом и скоростью движения грузовых поездов [Текст] . автореф. и дис. ... канд. техн. наук / Н. Д. Малькевич. – Гомель: БИИЖТ, 1966.
10. Оптимизация скорости движения и режимов ведения поезда [Текст] / Н. Д. Малькевич [и др.]; под ред. А. А. Михальченко; Белорус. гос. ун-т трансп. // Совершенствование работы транспортных систем: Сб. науч. тр. – Гомель: БелГУТ, 2001. – С. 21-31.
11. Михальцев, Е. В. Себестоимость железнодорожных перевозок [Текст] / Е. В. Михальцев. – М.: Трансжелдориздат, 1957.
12. Нормы эксплуатационных расходов для технико-экономических расчетов [Текст]. – Гипротранстэи МПС. Изд. стеклограф. – М., 1961.
13. Правила тяговых расчётов для поездной работы [Текст]. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.
14. Протодяконов, М. М. Изыскание и проектирование железных дорог [Текст] / М. М. Протодяконов. – М.: Трансжелдориздат, 1934.
15. Тихонов, К. К. Оптимальные ходовые скорости грузовых поездов [Текст] / К. К. Тихонов. – М.: Транспорт, 1964. – 262 с.
16. Материалы по сравнительному анализу методов овладения грузооборотом [Текст] / Г. И. Черномордик [и др.]. – М., Трансжелдориздат, 1935.
17. Черномордик, Г. И. Техничко-экономические обоснования норм проектирования новых железных дорог [Текст] / Г. И. Черномордик. – М.: Трансжелдориздат, 1948.

Поступила в редколлегияу 12.01.2011.

Принята к печати 17.01.2011.