

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ НОРМАТИВОВ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ РЕМОНТОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И ПУТИ

Оскільки знос рухомого складу і колії, зв'язаний з рухом потяга по дільниці, відбувається під час подо- лання опору руху потяга, є доцільним вести облік у базі даних зробленої механічної роботи сил протидії руху по кожному локомотиву, вагону та дільниці колії, і в залежності від кількості цієї роботи виконувати їх ремонт і заміну.

Поскольку износ подвижного состава и пути, связанный с передвижением поезда по участку, происходит в процессе преодоления сопротивления движению поезда, представляется целесообразным вести учёт в базе данных выполненной механической работы сил сопротивления движению по каждому локомотиву, вагону и участку пути, и в зависимости от количества этой работы производить их ремонты и замену.

As far as wear of the rolling stock and the track related to movement of a train on a section occurs during over- coming the resistance to movement of a train, it looks expedient to conduct the account in a database of performed mechanical work of forces of resistance to movement on each locomotive, car and track section, and depending on amount of this work to make their repairs and replacement.

### Введение

Физический износ подвижного состава и пути, связанный с передвижением поезда по участку, происходит в процессе преодоления сопротивления движению поезда. Поэтому степень физического износа и расходы по восстановлению работоспособности пути и подвижного состава напрямую зависят от механической работы сил сопротивления движению, под которой понимается произведение силы сопротивления движению на расстояние передвижения поезда. Сила сопротивления движению определяется в соответствии с Правилами тяговых расчётов [11] и количественно зависит от скорости движения, массы подвижного состава и груза, типа подвижного состава и пути и других параметров.

На связь механической работы сил сопротивления с износом подвижного состава и пути, а также с другими видами эксплуатационных расходов указывают многие исследователи. Ещё в начале 20 века Б. Д. Воскресенский [3, 4], А. Л. Васютынский [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.

Затем эта взаимосвязь получила признание и конкретное выражение благодаря работам проф. М. М. Протодяконова [12], проф. А. Е. Гибшмана [5], проф. Г. И. Черномордика [13–15], которыми были разработаны нормативы затрат, связанных с механической работой тяги и преодоления сил сопротивления движе-

нию 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. Черномордика Г. И. [13–15]. Существенная работа по нормированию затрат, связанных с механической работой тяги и сил сопротивления движению была выполнена в Гипротранстэи МПС СССР [10]. 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 механической работой и расходами на ремонты использовалась К. К. Тихоновым, Н. Д. Малькевичем, Н. Ф. Зеньчуком и другими исследователями для определения расходов, зависящих от скорости движения поезда при поиске оптимальных скоростей и режимов движения поездов, а также в других оптимизационных задачах.

Тем не менее, в настоящее время подвижной состав и путь подвергаются ремонту не с учетом выполненной ими механической работы, от которой зависит их износ, а с учетом факторов, с которыми физический износ имеет лишь косвенную связь, но которые можно измерить и подсчитать в реальных условиях эксплуатации.

Все виды ремонтов локомотивов, включая капитальный, осуществляются в зависимости от пробега (от выполненных локомотивокilометров). При этом не учитывается, что из-

нос локомотива значительно зависит от массы и скорости движения поездов.

Вагон направляется в ремонт с учётом пробега и времени работы, как только он выполнил хотя бы один из нормативов – либо по пробегу (по вагоно-километрам), либо по времени работы (по вагоно-часам). При этом не учитывается, что износ вагонов значительно зависит ещё и от степени их загрузки, а так же от скорости их движения. Например, одно и то же количество вагоно-километров вагон может проехать порожним или гружёным по максимуму, со скоростью 40 или 60 км/ч, и соответственно различным будет фактический износ вагона.

До недавних пор не было возможности учитывать и хранить в базе данных вагоно-километры по каждому вагону. Поэтому вагоны отправлялись в капитальный ремонт по прошествии определённого периода времени, хотя такой учёт менее адекватен, чем по вагоно-километрам.

Износ пути ставится в зависимость от грузонапряжённости железнодорожной линии. Ремонт пути осуществляется в зависимости от выполненных объёмов тонно-километровой работы брутто, включая и массу локомотивов. Здесь не учитывается, что износ пути в большей степени зависит от скорости движения поездов.

Таким образом, в отличие от измерителя «механическая работа сил сопротивления движению», количественное выражение измерителей, применяемых в настоящее время, не связано со скоростью движения и мало связано (локомотиво-км) или вовсе не связано (вагоно-км, вагоно-часы) с весом поездов.

Такой подход к планированию ремонтов подвижного состава и пути сложился исторически, поскольку раньше не было отчётности, позволяющей с достаточной степенью точности определить механическую работу, и не было возможности выполнять требуемые вычисления в достаточном объёме. Поэтому расчёты механической работы носили приближённый характер. Данные не накапливались, и, следовательно, невозможно было использовать измеритель механической работы для отправки подвижного состава и пути в ремонт.

В настоящее время не только появляется (в связи с развитием информационных технологий) возможность применения измерителя «механическая работа», но и возрастает его актуальность, поскольку на Белорусской железной дороге имеются участки со скоростным движением поездов, пропускаются поезда раз-

личной массы и длины, что снижает адекватность существующей системы планирования ремонтов подвижного состава и пути.

## **1. Механическая работа сил сопротивления как универсальный измеритель**

Степень физического износа пути и подвижного состава и, соответственно, расходы по восстановлению их работоспособности, а также по смазке, несколько снижающей износ трущихся деталей, напрямую зависят от механической работы сил сопротивления движению, под которой понимается произведение силы сопротивления движению на расстояние передвижения поезда. Сила сопротивления движению может измеряться в Ньютонах (Н), а расстояние перемещения – в метрах (м), соответственно механическая работа сил сопротивления может измеряться в джоулях (Дж) ( $1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot 1 \text{ м}$ ).

В современных условиях в связи с развитием информационных технологий появляется возможность учитывать в базе данных величину универсального измерителя – механической работы сил сопротивления, выполненной каждым локомотивом, вагоном и участком пути.

Каждый конкретный тип локомотива, вагона или пути имеет свой предельный ресурс по механической работе, т.е. может выполнить определённую величину механической работы сил сопротивления движению, после чего требуется его ремонт или замена.

Таким образом, вместо срока службы и амортизационных отчислений по вагонам, локомотивам и пути можно учитывать выполненную ими величину механической работы, определять пропорционально ей расходы по износу (амортизационные отчисления) и отражать всё это в эксплуатационных расходах.

В соответствии с величиной выполненной механической работы можно производить различные виды ремонтов подвижного состава и пути, и их замену после полного физического износа, а также прогнозировать величину расходов на эти ремонты.

Такой подход позволит более точно учитывать степень износа подвижного состава и пути, более своевременно осуществлять их ремонт и более реально учитывать расходы на плановые виды ремонтов.

## **2. Организация учёта в базе данных выполненной механической работы**

В настоящее время учёт выполненных вагоно-километров для осуществления всех видов

ремонт производится путём обработки в дорожном вычислительном центре данных из натурных листов, вводимых в компьютер на станциях. На основании данных о номере вагона, его массе брутто и пройденном расстоянии между станцией отправления и станцией прибытия для каждого конкретного вагона рассчитывается и накапливается в базе данных величина выполненных вагоно-километров.

Можно усовершенствовать действующую систему следующим образом. Для расчёта величины механической работы сил сопротивления, выполненной каждым конкретным вагоном, локомотивом и участком пути, необходимо иметь данные о станции отправления, станции прибытия, массе нетто груза в каждом вагоне, которые берутся из натурального листа. Кроме того, необходимо знать номер локомотива, серию локомотива, время отправления поезда, время прибытия поезда, время на стоянках в пути, которые берутся из маршрутного листа. Следует отметить, что перечисленные данные уже в настоящее время заносятся в компьютеры и передаются в дорожный вычислительный центр, т. е. внедрение предлагаемой системы учёта выполненной механической работы не приведёт к возникновению дополнительных трудозатрат по сбору и обработке данных.

На основании поступающих в дорожный вычислительный центр данных компьютерная программа может рассчитать величину механической работы сил сопротивления по упрощённой формуле, либо выполнив более сложные тяговые расчёты. Например, формула для расчёта механической работы сил сопротивления движению, выполненной локомотивом в составе поезда, выглядит следующим образом:

$$M_{л} = S \left( P_{л} \omega_{л}^T(v_T) + Q_{п}^{гр} \omega_{гр}''(v_T) + Q_{п}^{пор} \omega_{пор}''(v_T) \right), \quad (1)$$

где  $M_{л}$  – механическая работы сил сопротивления движению, выполненная локомотивом, Дж;  $S$  – расстояние, пройденное поездом, м (компьютер определяет расстояние по станции отправления и станции прибытия поезда);  $v_T$  – техническая скорость движения поезда, м/с (компьютер определяет среднюю скорость по пройденному расстоянию и затраченному на это времени);  $P_{л}$  – масса локомотива, кг (масса локомотива определяется исходя из его технических характеристик);  $\omega_{л}^T(v_T)$  – основное удельное сопротивление движению локомотива, Н/кг;  $Q_{п}^{гр}$  – масса гружёных вагонов в составе

поезда, кг;  $\omega_{гр}''(v_T)$  – основное удельное сопротивление движению груженого вагона, Н/кг;  $Q_{п}^{пор}$  – масса порожних вагонов в составе поезда, кг;  $\omega_{пор}''(v_T)$  – основное удельное сопротивление движению порожнего вагона, Н/кг.

Формулы для определения  $\omega_{л}^T(v_T)$ ,  $\omega_{гр}''(v_T)$ ,  $\omega_{пор}''(v_T)$ , представляющие собой подобранные эмпирическим путём квадратичные зависимости сопротивления от скорости имеются в Правилах тяговых расчётов [11].

Формула для расчёта механической работы сил сопротивления движению, выполненной гружёным вагоном, выглядит следующим образом:

$$M_{в} = S Q_{ваг}^{гр} \omega_{гр}''(v_T), \quad (2)$$

где  $M_{в}$  – механическая работы сил сопротивления движению, выполненная вагоном, Дж;  $Q_{ваг}^{гр}$  – масса гружёного вагона, кг.

Механическая работа сил сопротивления, выполненная участком пути, складывается из величин механической работы, выполненной прошедшими по нему поездами.

Таким образом, на основании данных, полученных из натуральных и маршрутных листов, и данных о технических характеристиках, компьютер может рассчитывать величину механической работы сил сопротивления, которая пришлась за поездку на локомотив, на каждый вагон, идущий в составе поезда, и на путь.

При расчёте механической работы сил сопротивления, совершаемой вагонами, могут иметь место неточности, связанные с неточными сведениями о массе нетто груза в вагоне. Кроме того, износ вагонов будет несколько различаться в зависимости от их местоположения в составе поезда, поскольку на раме вагона, находящегося в голове поезда «висят» вагоны, находящиеся в хвосте поезда, соответственно, чем ближе вагон к голове поезда, тем больше будет его износ. Следует также отметить, что вагоны теряют работоспособность не только в процессе движения по участку. Значительное количество повреждений вагоны получают в процессе погрузки и выгрузки, что не учитывается в измерителе «механическая работа».

### 3. Особенности учёта выполненной механической работы сил сопротивления движению на станциях

Сложно непосредственно учесть и подсчитать механическую работу сил сопротивления

движению, совершаемую на станциях маневровыми локомотивами, вагонами и станционными путями. Однако, поскольку известна взаимосвязь между расходом топлива и выполненной механической работой локомотива, то по данным о топливе, израсходованном каждым маневровым локомотивом, можно рассчитать и учесть выполненную им механическую работу, от которой зависит его износ. Механическая работа сил сопротивления, выполненная станционными путями, примерно равна механической работе маневровых локомотивов. Механическая работа сил сопротивления, выполняемая вагонами в пределах станции, может быть примерно определена исходя из технологического процесса станции.

#### 4. Расчёт ресурса подвижного состава и пути по механической работе сил сопротивления движению

Для применения на практике предлагаемой системы планирования ремонтов необходимо определить нормативы механической работы, в соответствии с которыми вагоны, локомотивы и участки пути подлежат очередному плановому ремонту или замене.

Такие нормативы могут быть выработаны в процессе эксплуатации за продолжительный период времени исходя из фактических данных о количестве выполненной механической работы и степени физического износа единиц подвижного состава и пути. Данные о выполненной механической работе по каждой единице подвижного состава и пути нужно накапливать в базе данных, а степень износа единицы подвижного состава в целом и отдельных её частей удобно исследовать во время плановых ремонтов.

Поскольку на первоначальном этапе внедрения требуемые фактические данные отсутствуют, то нормативы механической работы можно определить расчетным путём исходя из применяемых в настоящее время нормативов межремонтного пробега локомотивов и вагонов и норматива тонно-километров брутто для пути. Для этого нужно рассчитать исходя из существующих на дороге условий эксплуатации, сколько джоулей механической работы сил сопротивления приходится на 1 локомотиво-километр, на 1 вагоно-километр и на 1 тонно-километр брутто, и затем перевести нормативы межремонтного пробега вагонов, локомотивов и норматив тонно-километров брутто для пути в джоули.

В дальнейшем, по мере накопления фактических данных, эти нормативы будут уточняться и корректироваться.

Количество джоулей, приходящихся на 1 вагоно-км в конкретных условиях эксплуатации, можно определить из соотношения:

$$1 \text{ вагоно-км} = 1000 \left[ \frac{Q_{\text{ваг}}^{\text{гр}} \omega_{\text{гр}}''(v_{\text{T}}) \alpha_{\text{го}} + Q_{\text{ваг}}^{\text{пор}} \omega_{\text{пор}}''(v_{\text{T}}) \alpha_{\text{по}}}{Q_{\text{ваг}}^{\text{гр}} \omega_{\text{гр}}''(v_{\text{T}}) \alpha_{\text{го}} + Q_{\text{ваг}}^{\text{пор}} \omega_{\text{пор}}''(v_{\text{T}}) \alpha_{\text{по}}} \right] \text{ Дж}, \quad (3)$$

где 1000 – количество метров в 1 километре;  $Q_{\text{ваг}}^{\text{гр}}$  – масса гружёного вагона, кг;  $v_{\text{T}}$  – техническая скорость движения вагона, м/с;  $\omega_{\text{гр}}''(v_{\text{T}})$  – основное удельное сопротивление движению груженого вагона, Н/кг;  $\alpha_{\text{го}}$  – отношение гружёного пробега вагона к общему;  $Q_{\text{ваг}}^{\text{пор}}$  – масса порожнего вагона, кг;  $\omega_{\text{пор}}''(v_{\text{T}})$  – основное удельное сопротивление движению порожнего вагона, Н/кг;  $\alpha_{\text{по}}$  – отношение порожнего пробега вагона к общему;

Количество джоулей, приходящееся на 1 локомотиво-км в конкретных условиях эксплуатации, можно определить из соотношения:

$$1 \text{ лок-км} = 1000 \left[ \frac{\left( P_{\text{л}} \omega_{\text{л}}^{\text{T}}(v_{\text{T}}) + Q_{\text{п}}^{\text{гр}} \omega_{\text{гр}}''(v_{\text{T}}) + Q_{\text{п}}^{\text{пор}} \omega_{\text{пор}}''(v_{\text{T}}) \right) (1 - \psi_{\text{л}}) + P_{\text{л}} \omega_{\text{л}}^{\text{x}}(v_{\text{T}}) \psi_{\text{л}}}{P_{\text{л}} \omega_{\text{л}}^{\text{T}}(v_{\text{T}}) + Q_{\text{п}}^{\text{гр}} \omega_{\text{гр}}''(v_{\text{T}}) + Q_{\text{п}}^{\text{пор}} \omega_{\text{пор}}''(v_{\text{T}}) + P_{\text{л}} \omega_{\text{л}}^{\text{x}}(v_{\text{T}}) \psi_{\text{л}}} \right] \text{ Дж}, \quad (4)$$

где  $P_{\text{л}}$  – масса локомотива, кг;  $\omega_{\text{л}}^{\text{T}}(v_{\text{T}})$  – основное удельное сопротивление движению локомотива в составе поезда, Н/кг;  $Q_{\text{п}}^{\text{гр}}$  – масса гружёных вагонов в составе поезда, кг;  $Q_{\text{п}}^{\text{пор}}$  – масса порожних вагонов в составе поезда, кг;  $\psi_{\text{л}}$  – коэффициент вспомогательного пробега локомотива;  $\omega_{\text{л}}^{\text{x}}(v_{\text{T}})$  – основное удельное сопротивление движению локомотива при одиночном (без вагонов) следовании, Н/кг;

Количество джоулей, приходящихся на 1 тонно-км брутто вагонов в конкретных условиях эксплуатации, можно определить из соотношения:

$$1 \text{ Т-км} = 1000 \left[ \frac{Q_{\text{п}}^{\text{гр}} \omega_{\text{гр}}''(v_{\text{T}}) + Q_{\text{п}}^{\text{пор}} \omega_{\text{пор}}''(v_{\text{T}})}{Q_{\text{п}}} \right] \text{ Дж}, \quad (5)$$

где  $Q_{\text{п}}$  – масса вагонов в составе поезда, кг.

## Заключение

В настоящее время вагоны и локомотивы направляются в ремонты в зависимости от пробега, а ремонт участков пути производится в зависимости от провезенных по ним тонн брутто. При этом не учитывается, что на износ также значительно влияют скорости движения и степень загрузки подвижного состава.

Износ подвижного состава и пути, связанный с передвижением поезда по участку, происходит в процессе преодоления сопротивления движению поезда. Поэтому степень физического износа пути и подвижного состава и, соответственно, расходы по восстановлению их работоспособности напрямую зависят от механической работы сил сопротивления движению, под которой понимается произведение силы сопротивления движению на расстояние передвижения поезда.

В связи с развитием информационных технологий представляется целесообразным вести учёт в базе данных выполненной механической работы сил сопротивления движению по каждому локомотиву, вагону и участку пути, и в зависимости от количества этой работы производить их ремонты и замену. Величина выполненной механической работы количественно учитывает и пробег, и массу, и скорость движения, и тип подвижного состава и пути.

Исходные данные, необходимые для расчета величины выполненной механической работы по каждой поездке, уже в настоящее время заносятся в компьютеры из натуральных и маршрутных листов и передаются в дорожный вычислительный центр. Поэтому внедрение предлагаемой системы учёта выполненной механической работы не приведёт к возникновению дополнительных трудозатрат по сбору и обработке данных.

Предлагаемая система нормативов позволит более точно учитывать степень износа подвижного состава и пути, более своевременно осуществлять их ремонт и более реально учитывать расходы на плановые виды ремонтов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васютынский А. Л. Годовые расходы и эксплуатационная длина русских железных дорог // Инженер, 1905. – № 3-4.
2. Васютынский А. Л. Железные дороги. – Варшава, 1905.
3. Воскресенский Б. Д. Основные начала механики железнодорожного транспорта // Бюл. № 9. – М.: Экспериментальный институт путей сообщения, 1919.
4. Воскресенский Б. Д. Теория работы железнодорожных поездов. – Екатеринбург, 1903.
5. Гибшман А. Е. Эксплуатационно-экономические обоснования выбора параметров перспективных паровозов / В кн. «Вопросы экономики железнодорожного транспорта»: Сб. статей. – М.: Трансжелдориздат, 1948.
6. Ломоносов Ю. В. Научные основы эксплуатации железных дорог, изд. 4-е (рус.). – Берлин, 1922.
7. Луговой П. А. Техничко-экономические расчёты при реконструкции железных дорог / П. А. Луговой, Л. Г. Цыпин. – М.: Трансжелдориздат, 1963.
8. Луговой П. А. Основы технико-экономических расчётов на железнодорожном транспорте / П. А. Луговой, Л. Г. Цыпин, Р. А. Аукуционек. – М.: Транспорт, 1973. – 232 с.
9. Михальцев Е. В. Себестоимость железнодорожных перевозок. – М.: Трансжелдориздат, 1957.
10. Нормы эксплуатационных расходов для технико-экономических расчетов / Гипротранстэй МПС. – М.: Стеклограф, 1961.
11. Правила тяговых расчётов для поездной работы. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.
12. Протодьяконов М. М. Изыскание и проектирование железных дорог. – М.: Трансжелдориздат, 1934.
13. Черномордик Г. И. и др. Материалы по сравнительному анализу методов овладения грузооборотом. – М.: Трансжелдориздат, 1935.
14. Черномордик Г. И. Некоторые основы проектирования железных дорог. – Дис. ... д-ра техн. наук. – Всесоюз. библиотеч. им. В. И. Ленина, Фундаментальная науч. библиотеч. МИИТа. – М., 1945.
15. Черномордик Г. И. Техничко-экономические обоснования норм проектирования новых железных дорог. – М.: Трансжелдориздат, 1948.

Поступила в редколлегию 24.04.2008.