

УДК 629.43.004.67

*Н. Ф. ЗЕНЬЧУК, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

## **ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ РАБОТЫ СИЛ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И ПУТИ С РАСХОДАМИ ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ ИХ РАБОТОСПОСОБНОСТИ**

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

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. На величине выполненной механической работы отражаются и пробег, и масса, и скорость движения, и тип подвижного состава и пути.

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

**В** настоящее время ремонты подвижного состава производят в основном в зависимости от его пробегов. Вагон направляют в очередной ремонт после того, как он проедет установленное количество километров. Однако при этом не учитывают, что износ вагонов значительно зависит ещё и от степени их загрузки, а также 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 недавнего времени не было возможности учитывать и хранить в базе данных вагоно-километры по каждому вагону. Поэтому расходы по капитальному ремонту вагонов относили на вагоно-часы, т. е. вагоны отправляли в капитальный ремонт по прошествии определённого периода времени. Учёт износа вагонов по вагоно-часам намного менее точен, чем по вагоно-километрам, однако возможность учитывать в базе данных вагоно-километры по каждому вагону появилась лишь недавно, с развитием информационных технологий.

Все виды ремонтов локомотивов, включая капитальный, осуществляют в зависимости от выполненных локомотиво-километров. При этом не учитывается, что износ локомотива значительно зависит от массы и скорости движения поездов.

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

Таким образом, подвижной состав и путь под-

вергают ремонту с учетом не всех факторов, от которых зависит их износ, а с учётом только тех факторов, которые можно реально измерить и подсчитать в условиях эксплуатации.

**Механическая работа сил сопротивления как универсальный измеритель.** Износ подвижного состава и пути, связанный с передвижением поезда по участку, происходит в процессе преодоления сопротивления движению поезда. Поэтому расходы по восстановлению работоспособности пути и подвижного состава, а также по его 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 – в джоулях (Дж) ( $1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot 1 \text{ м}$ ). Сила сопротивления движению определяется в соответствии с Правилами тяговых расчётов в зависимости от параметров состава поезда (масса, количество и тип вагонов), скорости его движения и других факторов.

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 определять 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.

**Организация учёта в базе данных выполненной механической работы.** В настоящее время учёт выполненных вагоно-километров для осуществления всех видов ремонтов производится путём обработки в дорожном вычислительном центре данных из натуральных 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.

Возможно усовершенствовать действующую систему следующим образом. Для расчёта величины механической работы сил сопротивления, выполненной каждым конкретным вагоном, локомотивом и участком пути, необходимо иметь данные о станциях отправления и прибытия, массе нетто груза в каждом вагоне, которые берутся из натурального листа. Кроме того, необходимо знать номер и серию локомотива, время отправления и 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:

$$M_{л} = S(P\omega'(v) + Q\omega''(v)) / 1000, \quad (1)$$

где  $S$  – расстояние, пройденное поездом, м; компьютер определяет расстояние по станциям прибытия поезда;  $v$  – средняя скорость движения по-

езда, м/с (компьютер определяет ее по пройденному расстоянию и затраченному на это времени);  $P$  – масса локомотива, кг (определяется исходя из его технических характеристик);  $\omega'(v)$  – основное удельное сопротивление движению локомотива, Н/кг (формулы для определения  $\omega'(v)$ , представляющие собой подобранные эмпирическим путём квадратичные зависимости сопротивления от скорости, имеются в Правилах тяговых расчётов);  $Q$  – масса брутто вагонов, кг (определяется как масса нетто плюс масса тары вагона, которая известна для каждого типа вагона);  $\omega''(v)$  – основное удельное сопротивление движению вагонов, Н/кг (эмпирические формулы для определения  $\omega''(v)$  имеются в Правилах тяговых расчётов).

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

$$M_{в} = SQ\omega''(v). \quad (2)$$

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 рассчитать 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.

**Устойчивое соотношение между расходами по износу подвижного состава и пути и расходами на энергоносители.** Расход топлива или электроэнергии локомотивом для передвижения поезда зависит от совершаемой им для преодоления сопротивления движению механической работы, под которой понимается произведение касательной силы тяги локомотива на обод колеса на путь перемещения поезда как подвижной единицы. Сила тяги локомотива измеряется в ньютонах, путь перемещения – в метрах, соответственно механическая работа локомотива – в джоулях.

Механическая работа локомотива может происходить только в результате потребления локомотивом топлива или электроэнергии и полностью

учитывает работу локомотива по преодолению основного сопротивления движению поезда, зависящего от состава, массы и скорости движения поезда, по преодолению дополнительного сопротивления от профиля пути (от уклонов и кривых участков пути) и по приданию поезду ускорения. Механическая работа локомотива достаточно точно определяется в соответствии с Правилами тяговых расчётов.

В соответствии со сложившимся в практике представлением фактическая полная затрата топлива не строго пропорциональна механической работе локомотива. С уменьшением нагрузки на локомотив КПД дизельного двигателя снижается, и повышается при этом удельный расход дизельного топлива на единицу полезной работы, т. е. на 1 Дж механической работы локомотива. Эта непропорциональность проявляется в основном за счёт постоянных расходов топлива на внутреннюю работу дизеля и генератора, т. е. расходов на преодоление трения между трущимися деталями в самом дизельном двигателе и генераторе и на компенсацию потерь электроэнергии при передаче её от генератора к электродвигателям. Если из общего расхода топлива исключить эти постоянные расходы на внутреннюю работу, то между оставшимися расходами топлива непосредственно на передвижение поезда и затратами механической работы локомотива пропорциональность соблюдается. Этот вывод подтверждается эмпирическими данными. На рисунке 1 видно, что для поездов различной массы удельный расход топлива на 1 Дж механической работы локомотива практически одинаков.

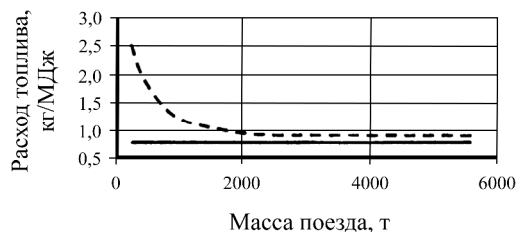


Рисунок 1 – Расход топлива в зависимости от массы поезда и степени использования мощности тепловоза 2ТЭ10У:  
 - - - - - всего; — на передвижение

Таким образом, общий расход топлива на передвижение поезда по участку

$$E = Mn_{\text{топл}} + tn_{\text{соб}}, \quad (3)$$

где  $M$  – механическая работа локомотива, Дж;  $n_{\text{топл}}$  – норматив расхода топлива, кг/Дж;  $t$  – время нахождения локомотива в пути, с;  $n_{\text{соб}}$  – норматив расхода топлива на собственные нужды локомотива, кг/с.

В экономических расчётах для участков в обоих направлениях механическая работа сил сопротивления примерно равна механической работе

локомотива. Расходы на топливо или электроэнергию пропорциональны механической работе локомотива, расходы по износу пути и подвижного состава пропорциональны механической работе сил сопротивления движению. Следовательно, между расходами по износу пути и подвижного состава и его смазке и расходами на топливо (электроэнергию) существует устойчивое соотношение  $\beta$ . Исследования показывают, что для Белорусской железной дороги в последнее время  $\beta$  равно примерно 2,7 – для тепловозной и 4,6 – для электровозной тяги.

С повышением скорости движения поездов или увеличением их массы увеличивается механическая работа локомотива и механическая работа сил сопротивления движению. Соответственно возрастают расходы на топливо или электроэнергию, по износу пути и подвижного состава и его смазке. Но соотношение между расходами на топливо или электроэнергию и расходами по износу пути и подвижного состава и его смазке остаётся постоянным.

В оперативных условиях заметить изменение расходов на ремонты пути и подвижного состава в зависимости от изменений скорости движения поездов и расходов при этом на топливо практически весьма сложно, поскольку изменение в ремонтных расходах наступает спустя определённое время, иногда даже значительное. Однако сам факт этого изменения является очевидным, и в долгосрочном периоде эти взаимосвязи обнаруживаются достаточно определённо.

**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 расходами 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.

Из сказанного можно сделать вывод, что в настоящее время вагоны и локомотивы направляют в ремонты в зависимости от пробега, а ремонт участка пути производят в зависимости от провезенных по нему тонн брутто. При этом не учитывают, 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 расходы по износу пути и подвижного состава 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, замену. На величине выполненной механической работы отражаются и пробег, и масса, и скорость движения, и тип подвижного состава и пути. Такой подход позволит более точно учитывать степень износа подвижного состава и пути, своевременно осуществлять их ремонт и реально учитывать расходы на плановые виды ремонтов.

Получено 22.10.2007

**Zianchuk M. F.** Interrelation of mechanical work of resistance forces of a rolling stock and way with costs on restoration of their working capacity.

At present cars and locomotives go to repairs depending on run, and repair of a way site is made depending on the tons taken on it. Thus it is not considered, that wear is also considerably influenced with velocities of movement and a degree of loading of a rolling stock.

As wear of a rolling stock and a way, connected with movement of a train on a site, occurs during overcoming resistance to movement of a train, it is represented expedient to conduct the account in a database of performed mechanical work of forces of resistance to movement on each locomotive, the car and the site of a way, and depending on quantity of this work to make their repairs and replacement. Both run and weight, both speed of movement, and type of a rolling stock and a way are reflected in value of performed mechanical work.

Such approach will allow to consider more precisely a degree of wear of a rolling stock and a way, more in due time to carry out their repair and more really to consider costs on scheduled kinds of repairs.

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.

#### Список литературы

1 Правила тяговых расчётов для поездной работы. – М. : Транспорт, 1985. – 287 с.

2 **Зеньчук, Н. Ф.** Взаимосвязь между энергетическими затратами на передвижение поезда и расходами по износу подвижного состава и пути / Н. Ф. Зеньчук // Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем: техніка, технологія, економіка і управління : тези доп. першої наук.-практ. конф. Ч. 2 : Економіка і управління. – Київ : КУЕТТ, 2003. – С. 84–85.

3 **Зеньчук, Н. Ф.** Зависимость расходной ставки на тонно-километр механической работы локомотива от степени использования его мощности / Н. Ф. Зеньчук // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и транспортного комплекса : тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. Ч. 1 / под общ. ред. В. И. Сенько. – Гомель : БелГУТ, 2003. – С. 195–197.