

УДК 622.62(06)

Ю.П. Стасинов

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ЗАМЕДЛЕНИИ РУДНИЧНОГО ПОЕЗДА

Семинар № 21

При подходе к конечной точке пути поезд обладает запасом кинетической энергии

$$A_k = (1 + \gamma) \cdot \frac{1000 \cdot m \cdot V^2}{2}, \text{ Дж,} \quad (1)$$

где $\gamma \approx 1,075$ - коэффициент, учитывающий инерцию вращающихся частей подвижного состава; m – масса поезда, т; V – скорость движения, м/с.

При остановке поезда возможны следующие методы (режимы) замедления, неравноценные с энергетической точки зрения и с точки зрения продолжительности рейса:

- 1) свободный выбег;
- 2) торможение без возврата энергии источнику (механическое или реостатное);
- 3) торможение с возвратом энергии источнику (рекуперативное);
- 4) различные комбинации выше перечисленных методов.

Данное научное сообщение посвящено сравнительной оценке первых трех методов замедления рудничного поезда на примере откатки аккумуляторными электровозами, имея в виду, что при комбинированных методах результаты будут промежуточными.

Замедление в режиме свободного выбега. В этом случае вся кинетическая энергия A_k используется полезно для дополнительного перемещения поезда на расстояние выбега $L_{\text{выб}}$. При этом совершается дополнительная работа

$$A_{\text{выб}} = m \cdot g \cdot (w_0 + w_i) \cdot L_{\text{выб}}, \text{ Дж,} \quad (2)$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения; w_0 – удельное основное сопротивление движению, Н/кН; w_i – удельное сопротивления от уклона рельсового пути, Н/кН, равное величине уклона i рельсового пути в тысячных.

Приравнивая (1) и (2), находим величину пути выбега

$$L_{\text{выб}} = \frac{\sigma \cdot V^2}{2(w_0 + w_i)}, \text{ м,}$$

где $\sigma \approx 110 \text{ кг/кН}$ – удельная масса поезда.

Полагая величину $w_0 + w_i$ на пути выбега постоянной, находим время замедления на выбеге:

$$t_{\text{выб}} = \frac{2 \cdot L_{\text{выб}}}{V} = \frac{\sigma \cdot V}{w_0 + w_i}, \text{ с.}$$

Замедление в режиме торможения без возврата энергии источнику. В этом случае по сравнению с выбегом сокращается путь замедления

$$L_T = \frac{\sigma \cdot V^2}{2(w_0 + w_i + b)}, \text{ м,}$$

на величину

$$\Delta L = L_{\text{выб}} - L_T = \frac{\sigma V^2}{2} \cdot \frac{b}{(w_0 + w_i)(w_0 + w_i + b)}, \text{ м}$$

или в относительных единицах

$$\lambda = \frac{\Delta L}{L_{\text{выб}}} = \frac{b}{w_0 + w_i + b} = \frac{b / (w_0 + w_i)}{1 + b / (w_0 + w_i)},$$

где b – удельное значение тормозного усилия, Н/кН (принимается за время замедления постоянным)

$b = \frac{1000 \cdot \psi_T}{1+K}$, где ψ_T - расчетное значение коэффициента сцепления колес с рельсами при торможении поезда; K - отношение массы вагонеток к сцепной массе электровоза.

При этом

$$L_T = (1-\lambda) \cdot L_{\text{выб}}$$

Соответственно уменьшается время замедления

$$t_T = \frac{2 \cdot L_T}{V} = (1-\lambda) \cdot t_{\text{выб}}, \text{ с}$$

при увеличении времени движения $t_{\text{дв}}$ в тяговом режиме:

$$t_{\text{дв}} = \frac{L_{\text{выб}} - L_T}{V} = \frac{\lambda}{2} \cdot t_{\text{выб}}, \text{ с.} \quad (3)$$

Результатирующее сокращение продолжительности рейса с учетом (3) составляет

$$\Delta t = t_{\text{выб}} - t_T - t_{\text{дв}} = \frac{\lambda}{2} \cdot t_{\text{выб}} = t_{\text{дв}}. \quad (4)$$

Однако при замедлении в режиме торможения в сравнении с выбегом полезно для перемещения поезда используется только часть кинетической энергии

$A_T = m \cdot g \cdot (w_0 + w_i) \cdot L_T = (1-\lambda) \cdot A_{\text{выб}}$, Дж, тогда как другая ее часть

$$\Delta A_T = A_{\text{выб}} - A_T = \lambda \cdot A_{\text{выб}}, \text{ Дж}$$

идет на разрушение и нагрев элементов тормозной системы или же расходуется в виде тепла в тормозном резисторе.

Из соотношений (3), (4) следует, что чем интенсивнее торможение (чем больше величина коэффициента λ), тем существенное сокращение продолжительности рейса, но тем больше потери энергии при замедлении поезда. Таким образом, если с точки зрения сокращения продолжительности рейса коэффициент λ является показателем эффективности замедления поезда, то с энергетической точки зрения - наоборот, показателем не

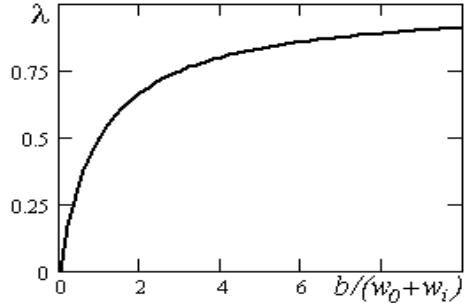


Рис. 1. Зависимость коэффициента интенсивности торможения λ от $b/(w_0 + w_i)$

эффективности этого процесса. Из формулы (3) вытекает, что экономия каждой секунды продолжительности рейса при торможении достигается ценой дополнительного потребления энергии в течение секунды в тяговом режиме.

Зависимость коэффициента интенсивности торможения λ от $b/(w_0 + w_i)$ приведена на рис. 1.

Замедление в режиме рекуперативного торможения. В отличие от предыдущего режима энергия торможения $\Delta A_T = \lambda \cdot A_{\text{выб}}$ возвращается источнику питания и может быть использована позднее. Но она дважды передается по цепи: колеса – аккумуляторная батарея (при заряде батареи в процессе рекуперативного торможения и при последующем ее разряде). Поэтому общее количество полезно использованной кинетической энергии на ободе ведущих колес электровоза будет равно

$$A_{\text{пек}} = A_T + \Delta A_T \cdot \eta_0^2 \cdot \eta_{\text{эл}} = \\ = [1 - \lambda(1 - \eta_0^2 \cdot \eta_{\text{эл}})] \cdot A_{\text{выб}}, \text{ Дж}$$

а потери энергии составят

$$\Delta A_{\text{пек}} = A_{\text{выб}} - A_{\text{пек}} = (1 - \eta_0^2 \eta_{\text{эл}}) \lambda A_{\text{выб}}, \text{ Дж},$$

где $\eta_0 \approx 0,8$ - общий КПД тяговых двигателей и редуктора (принимается одинаковым для тягового и тормозного режимов);

$\eta_{\text{эл}} = 0,47$ - энергетический КПД никель-железных аккумуляторов.

С учетом этого
 $A_{\text{рек}} = (1 - 0.7 \cdot \lambda) \cdot A_{\text{выб}}$, $\Delta A_{\text{рек}} = 0,7 \cdot \lambda \cdot A_{\text{выб}}$.

Следует иметь в виду, что полученные величины потерь и полезного использования кинетической энергии при различных методах замедления поезда отнесены к ободу ведущих колес электровоза. Для пересчета к шинам преобразовательной подстанции их необходимо разделить на $\eta_n \cdot \eta_0 \cdot \eta_{\text{эн}}$, где η_n – КПД преобразовательной установки.

Сопоставительный анализ полученных показателей замедления поезда в тормозных режимах в сравнении со свободным выбегом показывает, что они являются линейными функциями коэффициента интенсивности торможения λ , что наглядно иллюстрируется графиками, приведенными на рис. 2.

Выводы

1. Показатели замедления поезда при остановочном торможении по отношению к выбегу являются линейными функциями одного параметра, который может быть назван коэффициентом интенсивности торможения. Величина его зависит от соотношения тормозного усилия и сопротивления движению.

2. С увеличением коэффициента интенсивности торможения сокращается время рейса, и в этом отношении он является показателем эффективности процесса замедления поезда. Вместе с тем с энергетической точки зрения коэффициент интенсивности торможения является показателем неэффективности этого процесса.

3. При неизменных значениях тормозного усилия и сопротивления движению в период замедления экономия каж-

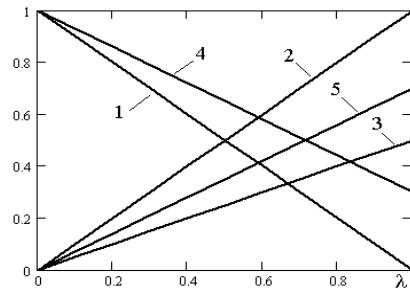


Рис. 2. Зависимости основных показателей режима замедления от коэффициента интенсивности торможения λ :

$$1 - \frac{L_T}{L_{\text{выб}}} \cdot \frac{t_T}{t_{\text{выб}}} \cdot \frac{A_T}{A_{\text{выб}}}; 2 - \frac{\Delta A_T}{A_{\text{выб}}}; 3 - \frac{t_{\text{дл}}}{t_{\text{выб}}} \cdot \frac{\Delta t}{t_{\text{выб}}};$$

$$4 - \frac{A_{\text{рек}}}{A_{\text{выб}}}; 5 - \frac{\Delta A_{\text{рек}}}{A_{\text{выб}}}$$

дой секунды продолжительности рейса при торможении достигается ценой дополнительного потребления энергии в течение секунды в тяговом режиме.

4. Выполненные расчеты показывают, что замедление груженого поезда в режиме свободного выбега позволяет сократить расход электроэнергии на перемещение состава груженых вагонеток примерно на 6,5% при расстоянии транспортирования 1 км.

5. Экономия электроэнергии снижается на (54 – 83)% при замедлении груженого поезда в режиме торможения без возврата энергии источнику и на (38 – 58)% при рекуперативном торможении.

6. Таким образом, по энергетическим соображениям можно рекомендовать более широкое применение на рудничных аккумуляторных электровозах остановочного замедления в режиме свободного выбега. **ГИАБ**

Коротко об авторе

Сташинов Ю.П. – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры “Электрификация и автоматизация производства” Шахтинского института Южно-Российского государственного технического университета (НГПИ), г. Шахты.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 21 симпозиума «Неделя горняка-2007». Рецензент д-р техн. наук, проф. Л.И. Кантович.