

УДК 629.113.585
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО РЕЖИМА ДВИЖЕНИЯ
АВТОБУСА С ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ

С. В. ЛЯХОВ

Республиканское унитарное предприятие
«БЕЛОРУССКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ТРАНСПОРТА «ТРАНСТЕХНИКА»
Минск, Беларусь

В работе рассматривается оптимизация расхода электрической энергии автобуса с гибридной силовой установкой последовательного типа. Гибридная силовая установка представляет собой электрически и механически связанные двигатель внутреннего сгорания, генератор тока, выпрямитель-инвертор, накопитель энергии, электродвигатель, трансмиссию. Оптимальный расход электроэнергии определяется взаимосвязью между параметрами: расчетной максимальной скоростью движения автобуса, его загруженностью, расстоянием между остановками, моментами работы элементов гибридной силовой установки.

Выбор значений, выше указанных параметров, производится вычислением по разработанной математической модели с подтверждением их оптимальности путем компьютерного моделирования динамики движения автобуса и оценки расходуемой им энергии за цикл движения между остановками. Описание математической модели автобуса представлено в [1], а модель накопителя энергии на суперконденсаторах представлена в [2]. Циклограмма движения автобуса имеет следующие режимы: разгон, поддержание скорости (круиз контроль), движение накатом, рекуперативное торможение, торможение рабочей тормозной системой. При этом должны выполняться условия:

– значение потребляемой мощности электродвигателем определяется необходимым создаваемым моментом для обеспечения разгона автобуса не менее 2 м/с^2 ;

– мощность генерируемой электрической энергии в режиме рекуперации должна обеспечивать замедление не менее $0,7\text{--}0,8 \text{ м/с}^2$.

Значение электрической мощности электродвигателя в тяговом режиме и режиме рекуперации, рассчитывается:

$$P_{ei} = M_{ei} \cdot \omega_{ei} / (\eta_e \cdot \eta_n) ; P_{ei} = M_{ei} \cdot \eta_e \cdot \eta_n \cdot \omega_{ei} ,$$

где M_{ei} – текущее значение момента на вале электродвигателя; η_n – КПД инвертора; η_e – КПД электродвигателя; ω_{ei} – текущее значение угловой частоты вращения вала; α – степень нажатия на педаль газа.

Текущее значение момента на валу электродвигателя будет определяться исходя из закона управления моментом в каждом режиме движения.

В режиме разгона:

$$M_{e_i} = M_t(\omega_{e_i}) G_i / G_{\max} \cdot \alpha_i / \alpha_{\text{ном}} \cdot k_1, \text{ при } V_i \leq V_{\text{opt}} \cdot l_0 / l_{\text{sr}} \cdot k_2,$$

где $M_t(\omega_{e_i})$ – аппроксимация момента электродвигателя от частоты вращения вала в тяговом режиме; G_i – текущая масса автобуса; G_{\max} – максимальная масса автобуса; α_i – текущее положение педали газа; $\alpha_{\text{ном}}$ – номинальное положение педали газа; k_1 – коэффициент для конкретной марки автобуса; V_i – текущая скорость автобуса; V_{opt} – оптимальная максимальная скорость автобуса (расчетная); l_0 – расстояние между остановками; l_{sr} – среднее расстояние между остановками по маршруту; k_2 – коэффициент для конкретной марки автобуса.

В режиме поддержания постоянной максимальной скорости:

$$M_{e_i} = M_t(\omega_{e_i}) G_i / G_{\max} \cdot \alpha_i / \alpha_{\text{ном}} \cdot k_1 \cdot k_3, \\ \text{при } V_i \geq V_{\text{opt}} \cdot l_0 / l_{\text{sr}} \cdot k_2 \text{ и } V_i \leq V_{\text{opt}} \cdot l_0 / l_{\text{sr}} \cdot k_2)$$

где k_3 – коэффициент для конкретной марки автобуса.

В режиме движения накатом:

$$M_{e_i} = 0 \text{ при } s_i \geq l_0 \cdot k_4$$

где s_i – пройденное автобусом расстояние; k_4 – коэффициент для конкретной марки автобуса.

В режиме рекуперации энергии:

$$M_{e_i} = -M_r(\omega_{e_i}) G_i / G_{\max} \cdot a_{\text{ном}} / a_i \cdot k_5, \text{ при } s_i \geq l_0 \cdot k_6,$$

где $M_r(\omega_{e_i})$ – аппроксимация момента электродвигателя от частоты вращения вала в режиме рекуперации; $a_{\text{ном}}$ – номинальное ускорение торможения в режиме рекуперации; a_i – текущее значение ускорения в режиме рекуперации; k_5, k_6 – коэффициенты для конкретной марки автобуса.

Условие начала использования рабочей тормозной системы:

$$s_i \geq l_0 \cdot k_7.$$

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Ляхов, С. В.** Математическая модель и программное обеспечение для оценки систем контроля устойчивости грузовых автомобилей и автобусов / С. В. Ляхов // Механика машин, механизмов и материалов. – 2012. – №4 (17). – С. 24–28.

2. **Ляхов, С. В.** Повышение транспортных качеств электробусов за счет использования гибридных накопителей энергии / С. В. Ляхов, А. А. Алешко // Перспективы развития транспортного комплекса : материалы II Междунар. заоч. науч.-практ. конф. – Минск, 2016. – С. 7–10.