

УДК 629.341

## О ФУНКЦИОНАЛЬНОМ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ГОРОДСКИХ АВТОБУСОВ

Воронов Ю.Е., д.т.н., профессор  
Ларин Г.Л., студент гр. АПмз-221, I курс  
Воронов А.Ю., к.т.н., доцент  
Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

Для выявления перспективных направлений дальнейшего совершенствования конструкций автобусов и научно обоснованного выбора их для формирования автобусных парков конкретных автотранспортных предприятий необходимо провести комплексную оценку технического уровня существующих отечественных и зарубежных моделей автобусов. Под техническим уровнем при этом понимается уровень качества машины на стадии проектирования, характеризующий её конструктивное совершенство.

Комплексную оценку технического уровня (качества) автобусов можно производить по методике оценки качества горных машин, предложенной проф. Г. И. Солодом и реализованной в большом количестве научных работ, в частности, для карьерных автосамосвалов [1].

Методика основана на фундаментальных принципах квалиметрии и позволяет оценивать функционально-однородные машины разных типоразмеров, типов и конструктивных исполнений. Поскольку для такой оценки необходимо иметь единицу измерения, на основе которой можно количественно оценивать качество выполнения машиной своей функции, в качестве такой единицы предлагается использовать функциональный критерий машины, определяющий её основное назначение.

Применительно к автобусам формула для определения функционального критерия будет иметь следующий вид:

$$\lambda = W \cdot \Pi, \quad (1)$$

где  $\Pi$  – производительность автобуса;  $W$  – удельная энергия перемещения пассажиров.

Удельная энергия перемещения представляет собой минимально необходимые затраты энергии на перемещение одного пассажира по дороге данного профиля протяжённостью 1 км. Она должна полностью определяться характеристиками опорной поверхности (дороги) и не зависеть от типа, модели и конструктивного исполнения автобуса. Поэтому при сравнении между собой автобусов с различной областью применения, удельная энергия перемещения будет играть роль масштабного фактора, который ставит в один ряд все автобусы, позволяя сравнивать их технический уровень и качество.

Для карьерных автосамосвалов в работе [1, с. 104] приведена следующая зависимость для определения удельной энергии транспортирования горной массы (МДж/т·км):

$$W = \frac{g[f_c + i(2k_T + 1)]}{\sqrt{1 + i^2}}, \quad (2)$$

где  $f_c$  – коэффициент сопротивления качению автомобиля по дороге;  $i$  – уклон дороги;  $k_T = m_a/m_{гр}$  – коэффициент снаряженной массы (тары) автосамосвала;  $m_a$ ,  $m_{гр}$  – собственная масса и грузоподъемность автосамосвала;  $g$  – ускорение свободного падения.

Учитывая, что для автобусов характерно отсутствие постоянных подъемов и спусков ( $i = 0$ ), получаем:

$$W = f_c \cdot g. \quad (3)$$

При этом коэффициент тары  $k_T$  автосамосвала заменяется на коэффициент снаряженной массы автобуса  $k_M = m_a/m_Q$  [2, с. 45], где  $m_Q$  – общая масса пассажиров в салоне,

В зависимости от того, какая производительность будет использована в формуле (1), полученный функциональный критерий может быть использован для оценки технического уровня автобусов или уровня качества их эксплуатации.

Для сравнения существующих автобусов между собой и при проектировании новой техники при расчёте функционального критерия (1) следует использовать формулу для определения расчётно-теоретической производительности. Её можно определить следующим образом.

Производительность автобуса определяется числом выполненных пассажиро-километров за 1 час работы на линии. Выражение часовой производительности можно получить, если разделить транспортную работу  $A_p$  за рейс на время рейса  $t_p$  с учётом использования пробега.

Транспортная работа за каждый рейс автобуса:

$$A_p = Q_p \cdot l_{рп} = Q_n \cdot l_M, \quad (4)$$

где  $Q_p$  – расчётное число перевезённых за рейс пассажиров;  $l_{рп}$  – среднее расстояние (дальность) поездки пассажира, км;  $Q_n$  – номинальная пассажировместимость автобуса;  $l_M$  – длина маршрута, км.

Так как во время рейса пассажиры в автобусе сменяются (одни на промежуточных остановках выходят, другие входят), то расчётное число перевезённых за рейс пассажиров составляет

$$Q_p = Q_n \cdot \eta_{см}, \quad (5)$$

где  $\eta_{см}$  – коэффициент сменности пассажиров.

$$\eta_{см} = \frac{l_M}{l_{рп}}. \quad (6)$$

Производительность может быть выражена также в весовых единицах, если вместо числа пассажиров в формуле использовать их общую  $m_Q$  массу.

Общая масса пассажиров в салоне зависит от вместимости автобуса, степени его заполнения и по величине может отличаться от номинальной вместимости и массы. Однако при оценке технического уровня, характеризующего конструктивное совершенство автобуса, а не качество его эксплуатации, в расчётах в качестве  $m_Q$  следует принимать массу пассажиров в автобусе номинальной вместимости  $Q_H$ , записанную в его технической характеристике. Она может быть определена как:

$$m_Q = m_{\Pi} \cdot Q_H, \quad (7)$$

где  $m_{\Pi}$  – масса средневзвешенного пассажира. В расчётах обычно принимают  $m_{\Pi} = 70 \text{ кг} = 0,07 \text{ т}$  [3, с. 124].

Время рейса  $t_p$  складывается из времени  $t_d = \frac{l_M}{v_T}$  движения автобуса, времени  $t_{оп}$  остановок для посадки и высадки пассажиров и времени  $t_{ок}$  простоя автобуса в конечных пунктах маршрута  $t_{ок}$ :

$$t_p = \frac{l_M}{v_T} + t_{оп} + t_{ок}, \quad (8)$$

где  $v_T$  – среднетехническая скорость на маршруте, км/ч.

Время простоя автобуса в конечных пунктах  $t_{ок}$  является организационным показателем, не характеризующим сам автобус, поэтому при оценке технического уровня автобусов, а не качества их эксплуатации, показатель  $t_{ок}$  можно не учитывать.

Разделив транспортную работу  $A_p$  за рейс (4) на время рейса  $t_p$  (8), получим (т км/ч):

$$P_T = \frac{m_Q}{\frac{1}{v_T \cdot \beta} + \frac{t_{оп}}{l_M}}, \quad (9)$$

где  $\beta$  – коэффициент использования пробега.

Коэффициент использования пробега  $\beta$  представляет собой отношение пробега автомобиля с пассажирами к общему пробегу, то есть к сумме пробегов с пассажирами и без пассажиров. В работе [2, с.60] указывается, что для маршрутных автобусов зависимость производительности от коэффициента использования пробега имеет скорее теоретическое, чем практическое значение, поскольку автобусы на маршруте, как правило, всегда следуют с пассажирами, то есть можно считать  $\beta \approx 1$ .

Важнейшим условием организации движения автобусов является нормирование времени движения и времени стоянки на остановочных пунктах маршрута. Недостаток времени на пробег автобуса по маршруту вызывает нерегулярность движения и снижает его безопасность. Излишек времени снижает производительность автобуса, а для пассажира увеличивает время поездки. Следовательно, возможности максимального сокращения времени на пробег должны быть учтены нормами, являющимися обязательными для всех водителей, работающих на данном маршруте [2, с. 112].

Скорость движения автобуса является основным регулируемым параметром его работы. Рациональная скорость движения – это такая скорость,

при которой обеспечивается максимально возможная в данных условиях производительность при условии соблюдения правил безопасности.

Действительные скорости движения обычно существенно отличаются от тех, которые можно получить исходя из динамических характеристик, поскольку автобусы практически никогда не движутся при полном использовании мощности двигателя [2, с.113]. Поэтому техническая скорость  $v_T$  в зависимости от расчётной  $v_p$  может быть определена как [2, с. 69]:

$$v_T = \eta_c \cdot v_p, \quad (10)$$

где  $\eta_c$  – коэффициент технической скорости. При движении в городах по рекомендации [2, с. 69] составляет  $0,7 \div 0,8$ .

Расчётную скорость движения будем определять из уравнения тягового баланса:

$$F_T = F_c,$$

где  $F_T$  – тяговое усилие, реализуемое в месте контакта ведущих колес с дорогой, кН;  $F_c$  – сила сопротивления движению, кН.

При этом считаем, что сила сцепления колес с дорогой достаточна для того, чтобы данное тяговое усилие было реализовано.

Тяговое усилие  $F_T$  при полном использовании мощности двигателя автомобиля определится по известной формуле [1, с. 106]:

$$F_T = 0,28 \frac{N_{дв}}{v_p}, \quad (11)$$

где  $N_{дв}$  – мощность двигателя автобуса, кВт.

Сила сопротивления движению  $F_c$  может быть определена по аналогичной формуле из работы [1, с. 106]:

$$F_c = m_Q \cdot f_c \cdot g(k_M + 1). \quad (12)$$

Из выражений (12), (11) с учётом (10) получаем техническую скорость автобуса (км/ч):

$$v_T = 0,28 \cdot \eta_c \cdot \frac{N_{дв}}{m_Q} \cdot \frac{1}{f_c \cdot g(k_M + 1)}. \quad (13)$$

Суммарное за рейс время остановок для посадки и высадки пассажиров  $t_{оп}$  можно определить следующим образом.

$$t_{оп} = \frac{t_{в-в}^n \cdot Q_p + t_{о,дв}}{n_{дв}} \cdot n_{ост}, \quad (14)$$

где  $t_{в-в}^n$  – время, затрачиваемое на вход-выход одного пассажира, с;  $n_{дв}$  – количество дверей в автобусе для входа-выхода пассажиров;  $t_{о,дв}$  – задержки на открытие дверей (можно считать равными  $2 \div 3$  с [2, с. 117]);  $n_{ост}$  – количество остановок на маршруте.

При достаточно большой вместимости автобусов и высокой сменяемостью пассажиров на остановочных пунктах величиной  $t_{о,дв}$  в формуле (14) можно пренебречь, или учесть её в значении  $t_{в-в}^n$ .

При эксплуатации современных городских автобусов с низкими подножками и широкими дверями, обеспечивающими одновременный вход и выход

через каждую дверь двум пассажирам, на каждого пассажира затрачивается  $0,6 \div 1,2$  секунд, с учётом задержек на открытие дверей [2, с. 117].

Количество остановок на маршруте можно определить как:

$$n_{\text{ост}} = \frac{l_{\text{м}}}{l_{\text{пер}}},$$

где  $l_{\text{пер}}$  – расстояние между смежными остановочными пунктами (длина перегона), км.

В работе [2, с. 107] приводится зависимость длины перегона  $l_{\text{пер}}$  от средней дальности поездки пассажиров  $l_{\text{рп}}$ . Она имеет вид:

$$l_{\text{пер}} \approx 0,125 \cdot l_{\text{рп}}.$$

Одновременно средняя дальность поездки пассажиров  $l_{\text{рп}}$  связана со средней протяжённостью маршрута  $l_{\text{м}}$  зависимостью (6). Тогда

$$n_{\text{ост}} = \frac{\eta_{\text{см}}}{0,125} = 8 \cdot \eta_{\text{см}}. \quad (15)$$

В работе [2, с.108] рекомендуется принимать в расчётах  $\eta_{\text{см}} = 3 \div 4$ .

Подставив (15) в зависимость (14) с учётом (7), получим расчётное значение  $t_{\text{оп}}$  (ч):

$$t_{\text{оп}} = \frac{8 \cdot t_{\text{в-в}}^{\text{п}} \cdot \eta_{\text{см}}^2 \cdot m_{\text{Q}}}{3600 \cdot m_{\text{п}} \cdot n_{\text{дв}}},$$

где время  $t_{\text{в-в}}^{\text{п}}$  выражено в секундах.

Принимая  $m_{\text{п}} = 0,07$  т, получим расчётную зависимость для  $t_{\text{оп}}$ :

$$t_{\text{оп}} = \frac{m_{\text{Q}} \cdot t_{\text{в-в}}^{\text{п}} \cdot \eta_{\text{см}}^2}{31,5 \cdot n_{\text{дв}}}. \quad (16)$$

Подставляя зависимость  $\vartheta_{\text{т}}$  из (15) и  $t_{\text{оп}}$  из (16) в формулу (9) и проведя преобразования, получим расчётно-теоретическую производительность автобуса (ткм/ч):

$$\Pi_{\text{т}} = \frac{1}{\frac{f_{\text{с}} \cdot g(k_{\text{м}} + 1)}{0,28 \cdot \eta_{\text{с}} \cdot N_{\text{дв}}} + \frac{t_{\text{в-в}}^{\text{п}} \cdot \eta_{\text{см}}^2}{31,5 \cdot n_{\text{дв}} \cdot l_{\text{м}}}}. \quad (17)$$

Зависимость (17) представляет собой производительность автобуса при определённой длине маршрута. Надо отметить, однако, что длина маршрута является параметром, не зависящим от технического совершенства автобуса. Действительно, один и тот же автобус может быть использован на маршрутах разной длины, поэтому чтобы исключить влияние длины маршрута на определение технического уровня автобусов, целесообразно воспользоваться удельной производительностью. Для этого в зависимости производительности (17) необходимо поставить  $l_{\text{м}} = 1$  км.

Подставив полученное выражение и выражение для удельной энергии перемещения пассажиров (3) и производительности (17) в формулу (1), получим зависимость для определения функционального критерия оценки технического уровня автобусов (кВт/км):

$$\lambda = \frac{1}{\frac{k_M + 1}{0,28 \cdot \eta_c \cdot N_{дв}} + \frac{t_{В-В}^П \cdot \eta_{СМ}^2}{31,5 \cdot n_{дв} \cdot f_c \cdot g}}. \quad (18)$$

Учитывая, что все автобусы должны сравниваться в одинаковых дорожных условиях, коэффициент сопротивления качению автобуса по дороге  $f_c$  должен быть принят единым. При движении по дорогам с асфальтобетонным покрытием  $f_c = 0,01$  [4]. В приближенных расчётах можно допускать, что коэффициент сопротивления качению с изменением скорости автомобиля не меняется.

Подставляя это значение в зависимость (18), получим:

$$\lambda = \frac{1}{\frac{k_M + 1}{0,28 \cdot \eta_c \cdot N_{дв}} + \frac{t_{В-В}^П \cdot \eta_{СМ}^2}{3,1 \cdot n_{дв}}}. \quad (19)$$

Полученный функциональный критерий (19) позволяет количественно оценить выполнение автобусом своей функции и может быть использован при комплексной оценке технического уровня городских автобусов.

### Список литературы

1. Воронов Ю. Е. Оптимальное проектирование карьерных горных машин : монография. – М. : Инновационное машиностроение, 2015. 351 с.
2. Пассажирские автомобильные перевозки / Л. А. Афанасьев, А. И. Воркут, А. Б. Дьяков, Л. Б. Миротин, Н. Б. Островский; под ред. Н. Б. Островского. М.: Транспорт, 1986. 220 с.
3. Спириин И. В. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками / И. В. Спириин. М.: Издательский центр «Академия», 2011. 400 с.
4. Мацкерле Ю. Современный экономичный автомобиль / Пер. с чешск. В. Б. Иванова; Под ред. А. Р. Бенедиктова. М.: Машиностроение, 1987. 320 с.