

УДК 625.7

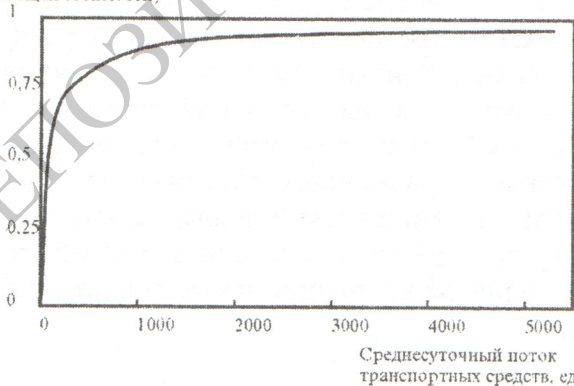
## Влияние качества дорожного покрытия на эксплуатационные затраты автотранспортных средств

А.А.Шилович

Состояние автомобильных дорог – один из основных показателей оценки экономического состояния государства, определяющий уровень его развития и благосостояния. От технического состояния автомобильных дорог зависит успешность деятельности всех отраслей народного хозяйства. Из-за низкого технического состояния дорог ежегодные потери народного хозяйства Республики Беларусь составляют 153 млн. долларов США. Велико влияние автомобильных дорог на производительность работы автотранспорта и себестоимость перевозок грузов и пассажиров. В условиях деятельности автомобильного транспорта оптимальным вариантом организации перевозочного процесса является такой, который обеспечивает минимальные совокупные затраты на создание автодороги, ее обслуживание и эксплуатацию на ней транспортных средств. Неординарность решения такой задачи состоит в том, что перечисленные выше виды затрат являются взаимосвязанными. Например, для уменьшения строительной стоимости можно выбрать слабое дорожное покрытие, которое будет быстрее выходить из строя, увеличивая затраты по ремонту и эксплуатации транспортных средств. Для их понижения необходимо увеличивать затраты по содержанию и ремонту дороги. Поэтому для создания комплексной модели, учитывающей перечисленные выше затраты и направленной на оптимизацию входящих в нее параметров, необходимо установить ряд взаимосвязей. В связи с этим представляет интерес исследование влияния качества дорожного покрытия на эксплуатационные затраты автотранспортных средств.

В общем объеме расходов на перевозки затраты по эксплуатации транспортных средств составляют большую их часть. С ростом объемов перевозок при отсутствии перегруженности движения затраты по эксплуатации транспортных средств возрастают линейно. Причем их рост значительно опережает увеличение расходов на строительство и содержание дороги. Таким образом, увеличение объема перевозок ведет к возрастанию доли затрат по

Стоимость эксплуатации тр-ств  
доля от общей стоимости



эксплуатации транспортных средств в общей сумме расходов на транспортирование. Рост доли этих затрат в общих издержках на перевозки за время жизненного цикла показан на рис.1.

Рис.1. Влияние величины суточного потока транспортных средств на долю стоимости их эксплуатации в общих затратах на перевозки

Функцией модели, отражающей влияние дорожных условий перевозки на эксплуатационные затраты автотранспорт-

ных средств, является моделирование воздействий характеристик дороги на эксплуатационную скорость движения различных типов транспортных средств; потребление горюче-смазочных материалов; техническое обслуживание автомобилей; требования, предъявляемые к экипажу; затраты времени пассажиров и т.д. При наличии количественных соотношений между дорожными условиями и перечисленными выше параметрами, а также цен на потребляемые ресурсы, модель позволяет осуществить оценку эксплуатационной стоимости различных типов транспортных средств и установить ее зависимость от дорожных условий.



Расходы по эксплуатации транспорта представляют сумму произведений потребленных ресурсов на соответствующие им цены. К числу ресурсов, используемых в процессе эксплуатации, относятся топливо; автомобильные покрышки; запасные части; трудозатраты на ремонт и техническое обслуживание автомобилей; смазочные материалы; трудозатраты экипажа транспортного средства; амортизация автомобиля; время поездки пассажира. На затраты по эксплуатации транспортных средств оказывают влияние факторы, которые могут быть подразделены на три группы:

1. Факторы дороги включают параметры горизонтального и вертикального выравнивания дороги, ее ширину, неровность дорожного покрытия;
2. Факторы транспортного средства включают вес, полезную нагрузку, мощность двигателя, характеристику подвешивания, параметр использования транспортного средства;
3. Региональные факторы включают особенности экономики района; социальные, технологические, законодательные характеристики региона; установленные для данной местности скоростные ограничения; стоимость топлива; относительные цены новых транспортных средств, запасных частей и труда; уровень технологического развития и т.д.

В соответствии с общепринятой теорией эксплуатационники и владельцы транспортных средств регулируют свое поведение и характеристики парка транспортных средств таким образом, чтобы минимизировать общие эксплуатационные расходы. Теоретически возможно разработать детальную универсальную математическую модель для того, чтобы моделировать и выдавать рекомендации об изменении указанного поведения. Однако такая модель должна будет обладать высокой степенью сложности и содержать большое количество параметров и взаимосвязей, которые следует пересчитывать, уточнять и нормировать в зависимости от конкретных условий. Огромное количество различных коэффициентов, входящих в модель, не могут быть определены иначе, чем посредством контрольных экспериментов или изучением затрат большого количества пользователей. Практическая разработка и реализация указанной модели маловероятны из-за высокой стоимости такой работы. Альтернативным подходом является установление основных взаимосвязей, входящих в модель, в общей форме с последующим их численным определением и нормированием на основании использования местных данных. Таким образом, региональные социальные, экономические и технологические факторы будут объединены косвенным путем в модельные коэффициенты. Указанный подход использован в настоящем исследовании при разработке модели затрат по эксплуатации транспортных средств. Расчеты проводились для шести обобщенных типов транспортных средств, используемых в Республике Беларусь и на территории ближайших стран СНГ. Для создания указанной модели использовались общие формы взаимосвязей между различными видами затрат, разработанные Мировым Банком. Зависимости, использованные для установления эксплуатационной скорости транспортных средств, потребления топлива, износа покрышек, расхода труда и запасных частей, потребления масел, исчислены для условий Республики Беларусь путем обработки данных статистики, натуральных испытаний и исследований.

Особенностью модели является то, что она не учитывает воздействие перегруженности движения на расход ресурсов. Поэтому модель следует применять для условий свободного движения. Для настоящих условий СНГ такой подход вполне правомерен, так как полностью соответствует сложившейся обстановке, исключая пиковые периоды крупнейших городов.

Блочная структура модели представлена на рис.2. Данная модель содержит установленные пользователем геометрию дороги; характеристики транспортных средств и качество дорожного покрытия. Последнее может быть установлено пользователем или получено как результирующая выходная информация из модели износа-восстановления дороги. Последовательность работы модели такова: расчет устойчивой скорости движения транспортного средства; определение количества потребляемых различного рода ресурсов; установление эксплуатационных затрат с учетом используемых пользователем цен на ресурсы. Указанная



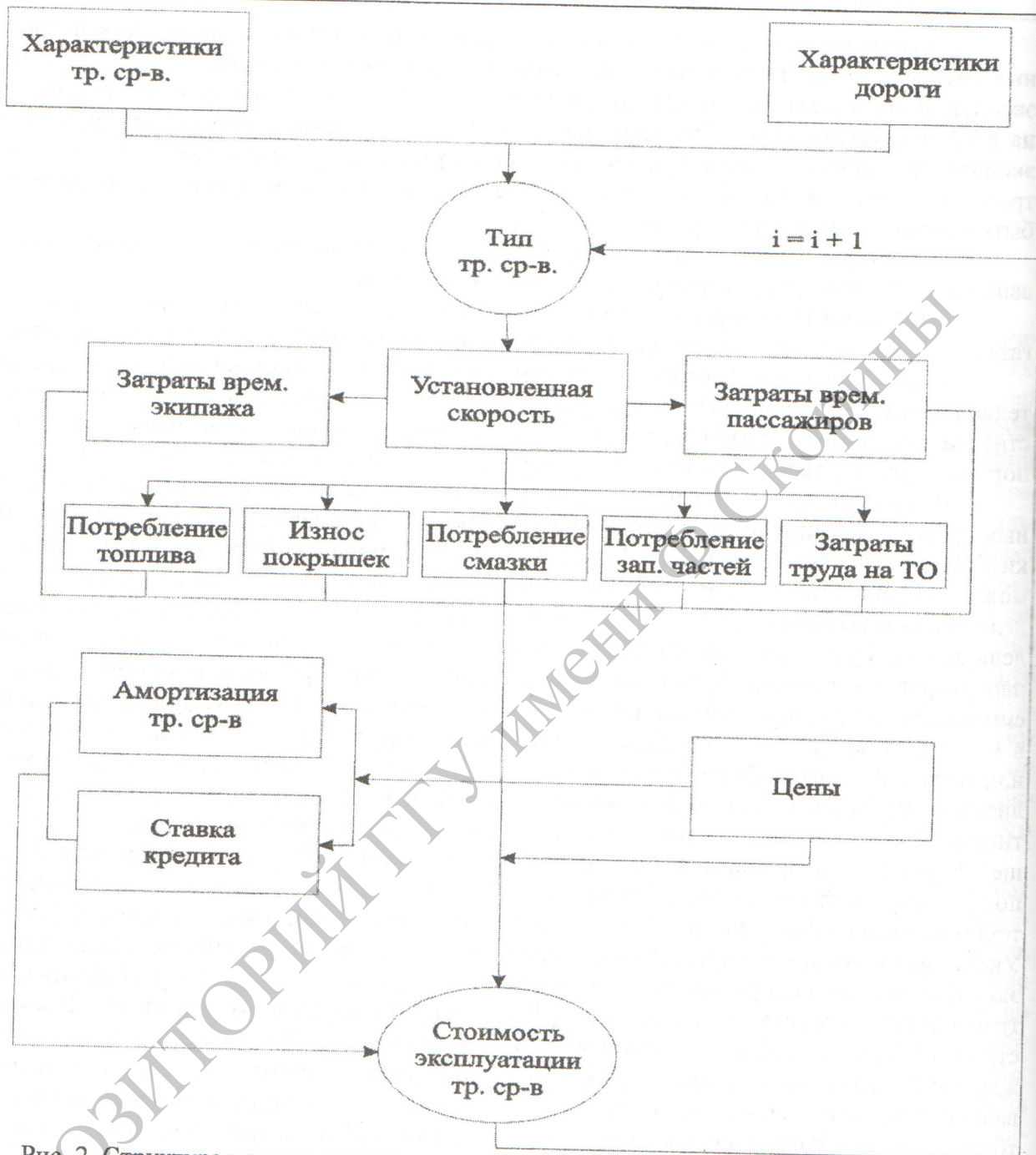


Рис. 2. Структура модели расчета стоимости эксплуатации транспортного средства.

процедура повторяется для шести типов рассматриваемых транспортных средств. В качестве типов транспортных средств взяты автомобили с усредненными по их весу в общем количестве рассматриваемых типов характеристиками из числа наиболее часто используемых моделей в регионе Беларуси и прилегающих к ней стран. Характеристики этих типов приведены в таблице 1.

Важным элементом модели по расчету стоимости эксплуатации транспортных средств является механизм предсказания эксплуатационной скорости движения транспортного средства. Это вызвано тем, что потребление топлива, смазочных материалов, износ покрышек, потребности в техническом обслуживании и других видах ресурсов напрямую связаны со скоростью эксплуатации транспортных средств. Степень воздействия на транспортное средство таких факторов, как геометрия дороги, качество дорожного покрытия, характеристики транспортного средства, особенности водителя зависит от эксплуатационной скорости. По-

Таблица 1

## Характеристика типов транспортных средств

Тип трансп. средства	Мощн. двигат, л.с.	Оборот. двигат, об/мин	Чистый вес, тон	Полный вес, тонн	Площадь фронт. сеч, кв.м	Аэродинам. коэффиц.	Число колес
Легковой автомоб.	90	5200	1,03	1,4	1,855	0,35	4
Автобус мини	82	5500	1,37	1,97	3,297	0,45	4
Малотонаж грузовик с бензинов двигател.	67	4600	1,78	4,2	3,422	0,6	4
Малотонаж грузовик с дизельным двигател.	68	3600	1,64	3,86	2,762	0,6	4
Автобус Средний	135	3000	7,16	10,65	7,675	0,55	6
Средний грузовик	135	3000	4,08	9,02	6,064	0,75	6

этому на разнородных участках дороги водители стараются поддерживать постоянную допустимую скорость, которая является функцией геометрии дороги, качества дорожного покрытия и привычек водителя. На прямом участке пути предельная скорость транспортного средства ограничена тремя факторами исходя из мощности двигателя  $V_d$ ; неровностей дороги и связанной с этим сложности управления  $V_n$ ; желаемой скорости при отсутствии других ограничений, устанавливаемой исходя из соображений безопасности, а также психологических, экономических и других предпосылок  $V_j$ . Таким образом, установленная скорость может быть выражена следующим уравнением

$$V_y = \frac{E}{(V_d^{-1/\beta} + V_n^{-1/\beta} + V_j^{-1/\beta})^\beta},$$

где  $E$  – фактор коррекции уклона;

$\beta$  – параметр формы из распределения Вейбулла.

Скорость движения  $V_d$  может быть установлена исходя из баланса сил при отсутствии ускорения. В этом случае движущая сила должна быть равна сумме всех видов сопротивления (качения, аэродинамического, уклона). В математической форме это может быть выражено в виде уравнения

$$F = 1 / 736 [mG (K_v + K_c) * V_d + 0,5 \gamma a S V_d^3],$$

где  $F$  – мощность двигателя в лошадиных силах, определяется из паспортных данных транспортного средства;

$m$  – масса транспортного средства в килограммах;

$G$  – гравитационная постоянная,  $9,8 \text{ м/с}^2$ ;

$K_v$  – вертикальный градиент, выраженный в доле веса;

$K_c$  – коэффициент сопротивления качению;

$\gamma$  – плотность воздуха,  $\text{кг/м}^3$ ;

$a$  – аэродинамический коэффициент лобового сопротивления движению транспортного средства;

$S$  – фронтальная площадь сечения транспортного средства,  $\text{м}^2$ .



Скорость, ограниченная неровностями дороги  $V_n$ , соответствует максимально допустимой, исходя из возможностей подвешивания транспортного средства. Ход подвески измеряется величиной абсолютного смещения транспортного средства, которое может быть выражено, как функция скорости и неровности дороги. Тогда среднюю скорость смещения подвески  $V_n$  можно определить

$$V_n = f(V_n, QI),$$

где  $QI$  – показатель неровности дороги.

Исходя из этого скорость, ограниченная неровностями, может быть получена

$$V_n = f^{-1}(V_{n \max}, QI),$$

где  $V_{n \max}$  – максимально допустимая скорость движения подвески, которая различна для разных видов транспортных средств.

Желаемая скорость движения транспортного средства  $V_j$  – это та, с которой предполагается эксплуатация транспортного средства при отсутствии других ограничений. Она зависит от параметров горизонтального, вертикального выравнивания, неровностей дороги и может быть определена исходя из обследования мнений пользователей данной дороги. В предлагаемом исследовании использовались следующие ее значения (табл. 2).

Таблица 2

**Желаемая скорость движения для различных типов транспортных средств с поправочными коэффициентами**

	Тип транспортного средства			
	Легковой автомобиль	Мини автобус	Легкий грузовик	Средний грузовик и автобус
Желаемая скорость	70,0	57,22	64,17	45,33
Коэффициент приведения при:				
ширине дороги < 7 м.	0,777	0,777	0,74	0,735
ширине дороги 7–8 м.	1,0	1,0	1,0	1,0
ширине дороги 8–10 м.	1,233	1,233	1,117	1,228

Существенную роль в стоимости эксплуатации транспортных средств играют затраты на топливо. Общеизвестно, что величина потребления топлива зависит от мощности двигателя автомобиля и оборотов вращения коленчатого вала. Кроме того, имеющийся опыт свидетельствует, что эти затраты также зависят от качества дороги. Выполненные исследования позволили установить зависимость между потреблением топлива  $\Pi$  и неровностью дороги

$$\Pi = 10(a + v QI),$$

где  $a$  и  $v$  – коэффициенты регрессии.

Наличие указанных коэффициентов и данных о ценах на топливо позволяют использовать эту функцию в рассматриваемой модели.

Одним из основных компонентов в эксплуатационных затратах пользователей транспортных средств являются расходы, связанные с износом покрышек, особенно для тяжелых грузовых автомобилей. По исследованиям Мирового Банка, проведенным на территории Бразилии, эти издержки составили 23% от средних затрат по эксплуатации тяжелых грузовиков. Вопрос оценки стоимости износа покрышек является непростым, так как ряд пользователей проводят их неоднократное восстановление, а иные эксплуатируют до первого ремон-



та. В данной работе предлагается эмпирическое уравнение для расчета эквивалентного количества новых покрышек, потребляемых на 1000 километров пробега. Так, для легковых автомобилей и мини автобусов эта зависимость имеет вид:

$$P = n(0,0114 + 0,000137QI) \text{ для } 0 < QI \leq 200;$$
$$P = 0,0388 n \text{ для } QI > 200,$$

где  $n$  – количество покрышек на одном транспортном средстве.

Аналогичные зависимости установлены для всех типов транспортных средств.

Зависимость стоимости запасных частей для ремонтов и технических обслуживаний автомобилей от качества дороги определялась в виде отношения их стоимости к цене нового транспортного средства за аналогичный период эксплуатации. Установлено, что потребление запасных частей связано с неровностями дороги и сроком эксплуатации транспортных средств. При небольшой величине неровностей они связаны экспоненциальной зависимостью, а при наличии неровностей сверх некоторого значения эта зависимость приобретает линейный вид.

Трудозатраты по техническому обслуживанию транспортных средств напрямую связаны с затратами по запасным частям и качеством дороги. Они могут быть определены из выражения

$$T = c Z^b \exp(a QI),$$

где  $T$  – трудозатраты в человеко-часах на 1000 километров пробега;

$Z$  – затраты по запасным частям на 1000 километров пробега, выраженные как доля стоимости нового транспортного средства;

$a, b, c$  – константы, зависящие от типа транспортного средства.

Затраты на смазочные материалы устанавливаются на основе зависимостей, предложенных Мировым Банком. Трудозатраты экипажа транспортного средства определяются в расчете на 1000 километров пробега и составляют  $1000/V_y$ . Аналогичным образом определяется количество затраченных пассажиро-часов с учетом средней загрузки транспортного средства пассажирами. Амортизационные отчисления и затраты по возмещению процентов банковского кредита на приобретение транспортных средств устанавливаются по общепринятым правилам.

Использование указанного подхода позволяет установить аналитические зависимости, связывающие стоимость эксплуатации транспортных средств с качеством дорожного покрытия. Дальнейшее использование таких зависимостей в общей модели стоимости, обслуживания дороги и эксплуатации на ней транспортных средств позволит осуществить оптимизацию параметров этой модели.

### Abstract

This article describes the vehicle operating cost model in terms of determination of the optimal road construction technology and maintenance policy. The function of this vehicle operating cost model is to simulate effect of road characteristics on the operating speeds of various types of vehicles and on consumption of fuel and lubricants, maintenance and crew requirement, passenger time, etc. With user specified prices for those resources, the model then estimates the operating costs of various types of vehicles.