



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования**

**«Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения»**

**Кафедра «Системного анализа и
ЛОГИСТИКИ»**

Транспортная энергетика

**Преподаватель: доцент кафедры
к.в.н., доцент *Уголков Сергей Вячеславович*
8-921-325-18-12**

Санкт-Петербург

Тема 7

ЭНЕРГОЕМКОСТЬ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРАНСПОРТНОЙ ПРОДУКЦИИ

Учебные вопросы

**7.1 Тран - единица измерения
эффективности транспорта**

**7.2. Обобщенный коэффициент
энергоэффективности перевозок**

Основной задачей транспорта является задача доставки грузов и пассажиров в заданный пункт в определенный срок. В качестве критерия оценки деятельности транспортных организаций до последнего времени применяется такой показатель, как "тонно-километры". Он не учитывает основные качественные показатели транспортного процесса как услуги, и прежде всего - соблюдение сроков доставки грузов. Кроме того, борьба за "тонно-километры" совсем не способствует выбору рациональных путей передвижения транспортного средства.

Хотя в комплексе экономических показателей, оценивающих работу любой транспортной организации, присутствуют и такие показатели, как экономия топлива, снижение издержек на текущий ремонт транспортных средств и т.п., давно назрела необходимость в совершенствовании критериев оценки эффективности транспортного процесса. Рассмотрим, какие же показатели разработаны в настоящее время для оценки эффективности транспортных перевозок.

Учебный вопрос 7.1

**ТРАН - ЕДИНИЦА ИЗМЕРЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТА**

Более тридцати пяти лет назад профессором Н. Г. Винниченко была предложена единица измерения транспортных услуг - транспортная единица действия, которая представляла собой произведение "тонно-километров" на скорость доставки, выраженную в километрах в час.

Данный показатель был опробован при оценке эффективности перевозок на Московском железнодорожном узле, что нашло отражение и в зарубежной печати. Но дальше дело не пошло, и показатель "тонно-километры" оставался единственным при оценке эффективности перевозок.

Исследования отечественных ученых в области теории управления привели к появлению новой единицы оценки эффективности транспортных перевозок. В 1980-х годах П.Кузнецов и Р.Образцова предложили использовать в экономических расчетах величину, которая получила название "**тран**". Транспортная услуга в 1 тран равна полезной работе, затраченной на перемещение груза массой 1 т на расстояние 1 км со средней скоростью движения 1 км/ч. Размерность **трана** - $\text{т} \cdot \text{км}^3 / \text{ч}^2$.

Сущность предложенной единицы можно охарактеризовать следующим образом. При перемещении груза массой m на расстояние L затрачивается работа $A=PL$, где P - сила сопротивления, которая преодолевается транспортным средством при движении. Сила сопротивления движущемуся телу со стороны окружающей среды пропорциональна квадрату скорости v^2 и массе объекта m . Отсюда следует, что ценность транспортной услуги по доставке груза и ее объем пропорциональны массе объекта, квадрату скорости и расстоянию между пунктами доставки.

Перепишем размерность трана в несколько ином порядке:

$1 \text{ тран} = 1 \text{ т}(\text{км/ч})^2 \cdot \text{км}$. Если привести данную единицу к единицам системы СИ, то получим следующее равенство: $1 \text{ тран} = 77,16 \text{ Дж} \cdot \text{км}$. Таким образом, **1 тран соответствует энергии 77,16 Дж, необходимой для продвижения объекта перевозок (без транспортного средства) на расстояние 1 км.** Очевидно, что тран отражает **энергетическую сущность транспортного процесса.**

Тран может быть использован для оценки эффективности транспортного процесса. Действительно, если груз массой m тонн перевезен на расстояние L км с рейсовой скоростью v км/ч, а расход материалов за рейс составил Q тонн, то эффективность работы транспорта можно оценить выражением:

$$\eta = \frac{mLv}{Q} \frac{\text{тран}}{\text{т}}.$$

Однако разнородность материалов, их неодинаковая ценность, различие размерностей (тран и т) создают неудобства в оценке эффективности различных видов транспорта.

Учебный вопрос 7.2.

**ОБОБЩЕННЫЙ
КОЭФФИЦИЕНТ
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ
ПЕРЕВОЗОК**

Наиболее логичным является введение безразмерного коэффициента эффективности, близкого по смыслу с КПД. Для иллюстрации применения такого коэффициента рассмотрим условный пример транспортирования груза автомобильным транспортом (например, грузовым автомобилем КамАЗ-5320) за время пробега в течение его жизненного цикла.

Грузовой автомобиль, перевозя в среднем за один рейс 8 т груза со скоростью доставки 40 км/ч и совершая в год пробег 50 тыс.км, выполняет объем услуг $A_{\text{год}} = 8 \cdot 50000 \cdot 40^8 = 6,4 \cdot 10^8$ тран~50 ГДж·км.

За 7 лет (жизненный цикл) автомобиля объем выполненных услуг составит $A_{\text{жц}} = 350 \text{ ГДж} \cdot \text{км}$. При гарантированном пробеге за 7 лет, равном 350 тыс. км, "чистые" энергозатраты $W_{\text{Акм}}$, связанные с услугой по перемещению груза 8 т на расстояние 1 км со скоростью 40 км/ч, равны

$$W_{\text{Акм}} = \frac{350 \text{ ГДж} \cdot \text{км}}{350000} = 1 \text{ МДж}.$$

Эти энергозатраты не зависят от вида транспортного средства, а характеризуют уровень рассеиваемой энергии движения массы груза с заданной скоростью.

В транспортное средство, перевозящее груз, производство дорог, по которым движется ТС, топливо, техническое обслуживание и ремонт ТС с учетом запчастей вложены определенные энергозатраты, характеризующие суммарную энергию W , необходимую для перемещения груза **определенным видом** транспортного средства. Рассмотрим каждую из составляющих энергозатрат.

Энергозатраты на изготовление транспортного средства $W_{тс}$.

Энергоемкость транспортного средства определяется энергией, вложенной в него на стадии изготовления, и зависит от характеристик станочного парка и оборудования, энергоемкости производственной инфраструктуры, объема производства, номенклатуры используемых материалов и т.д. При расчетах, конечно, учитывается КПД оборудования. Для разных технологических уровней производства автомобилей уровень энергозатрат будет различным. Расчет должен вестись с привлечением большого фактического материала по видам производств, что не входит в нашу задачу. Поэтому приведем сводную таблицу (Табл.7.1) энергозатрат на изготовление и сборку грузового автомобиля массой 18 т.

Таблица 7.1 - Энергозатраты ГДж (%) на изготовление грузового ТС

| Наименование | Энергозатраты |
|----------------------------|------------------|
| Ходовая часть | 124 (23,7) |
| Кузов | 115 (22,0) |
| Трансмиссия | 28,1 (5,4) |
| Кабина | 47,8 (9,1) |
| Двигатель | 57,8 (11,1) |
| Комплект колес | 68,9 (13,2) |
| Остальное | 81,4 (15,5) |
| Общие энергозатраты | 523 (100) |

Таким образом, для рассматриваемого примера

$$W_{\text{ТС}} = 523 \text{ ГДж.}$$

Энергозатраты на ТО и ремонт $W_{\text{т.о.р.}}$

Для поддержания работоспособности транспортного средства необходимо производить его плановое техническое обслуживание, плановый и текущий ремонт. Данные работы, связаны с расходом материалов и энергоресурсов, загрязнением окружающей среды (мойка ТС, контрольно-регулирующие, слесарные, кузнечные, сварочные, окрасочные и другие работы). Удельные энергозатраты характеризуются отношением годовых объемов энергопотребления к среднегодовому пробегу групп ТС.

Для их расчета определяют удельный расход материалов и сырья для производства видов работ из расчета на 100 км, а затем пересчитывают в энергетические эквиваленты. Доля затрат на капитальный ремонт в суммарном энергопотреблении не превышает 0,2%.

Для автомобиля КамАЗ-5320 суммарные энергозатраты на материалы для ТО и ремонта и на проведение собственно работ по обслуживанию и ремонту в расчете на 350 тыс.км составляют $W_{\text{т.о.р}}$
= 251 ГДж.

Энергия, утилизируемая через топливо, $W_{\text{топл}}$.

При расходе топлива 35 л/км за 7 лет будет израсходовано 122500 л дизельного топлива. Количество химической энергии, заключенной в топливе, составляет 4324 ГДж. Для его производства промышленностью израсходовано 1281 ГДж. Таким образом, суммарное количество энергии, утилизированной через топливо, равно **$W_{\text{топл}} = 4324 + 1281 = 5605$ ГДж.**

Энергозатраты на эксплуатационные материалы $W_{\text{э.м.}}$

Для нормальной эксплуатации транспортного средства требуются расходные материалы: машинное масло, антифриз, свинец. Расход машинного масла составляет в среднем 2% расхода топлива, т.е. 2450 л. Для изготовления такого количества масла требуется 375 ГДж энергии. При расходе антифриза 200 л вложенная в него при изготовлении энергия составляет 5 ГДж. Для свинца - 6 ГДж. Всего энергозатраты на эксплуатационные материалы составляют

$$W_{\text{э.м.}} = 375 + 5 + 6 = 386 \text{ ГДж.}$$

Энергозатраты на строительство и содержание автодорог $W_{\text{а.д.}}$.

Строительство и ремонт автомобильных дорог (АД) связано с применением машин и механизмов, работа которых требует определенных энергозатрат. Сырье и материалы, примененные при строительстве АД, заключают в себе вложенную энергию.

Энергозатраты при строительстве участка дороги связаны с расходом моторного топлива в двигателях дорожно-строительных машин и энергоресурсов в технологических процессах строительства. Сравнение энергоемкости различных дорог ведут по удельным показателям, приведенным к толщине слоя дорожного покрытия в 1 см.

В зависимости от вида покрытия (асфальтобетонные, цементобетонные) эти показатели будут различными не только по причине различия применяемых материалов, но и ввиду различия технологического процесса, обуславливающего применение разного вида техники. Расчет удельных показателей ведется с учетом детального анализа технологии и возможностей того или иного производственного комплекса, производящего дорожно-строительные работы. Данные по удельным показателям энергозатрат используют для оценок энергозатрат в строительстве дорог при известной толщине каждого слоя покрытия в составе дорожного полотна.

В нашем примере полагаем условно, что перемещение груза автомобилем осуществлялось по дороге, имеющей следующие слои:

- морозозащитный слой грунта - 25 см;
- укрепленный слой грунта - 15 см;
- несущий слой грунта - 15 см;
- битумно-связующий слой - 10 см;
- слой асфальта - 10 см.

Тогда по расчетным данным, учитывающим все аспекты процесса строительства дороги, расход энергоресурсов составляет около **535 МДж** на 1 км дорожного полотна.

Для поддержания АД в рабочем состоянии требуется проводить не только работы, связанные с текущим ремонтом дорожного покрытия, но и работы, связанные с обустройством и эксплуатацией инженерных объектов, средств связи, сигнализации, управления дорожным движением и т.п.

Иллюстрацией уровня энергозатрат на обслуживание дороги могут служить некоторые данные по уборке снега с московских улиц. За год вывозится из Москвы снега 35 млн.м³. Если не учитывать затраты энергии на перевозку убранного снега в специально отведенные места (ввиду наличия вредных примесей в убранной массе), а рассмотреть только затраты тепла на снегоплавильных пунктах, то получим следующие цифры.

Скорость плавления снега - 15 т/ч; тепловая мощность установки 170 кВт. Тогда на плавление одной тонны снега расходуется около 41 МДж энергии. Средняя масса одного куба слежавшегося снега составляет примерно 150 кг. Следовательно, для утилизации 35 млн.м³ (или 5,25 млн. т) снега потребуется затратить $215 \cdot 10^3$ ГДж энергии. А если учесть КПД плавильной установки и затраты энергии на транспортировку снега и утилизацию оседающего мусора, то эта цифра может увеличиться почти вдвое.

В ремонтные работы также вкладывается энергия. Традиционными технологическими процессами при осуществлении ремонтных работ являются следующие:

- удаление верхнего слоя дорожного полотна фрезой (энергозатраты связаны с разогревом верхнего слоя покрытия и работой фрезы);
- собственно ремонт дорожного покрытия (разогрев поверхности, выравнивание, нанесение битумной смеси, ее уплотнение);
- заделка швов;
- транспортирование отходов до места переработки или утилизации.

Для рассматриваемого примера принимаем толщину слоя дорожного покрытия, снимаемого при ремонте, 10 см. Тогда энергозатраты составят:

- на удаление слоя фрезой - 85 МДж/м^2 ;
- на замену верхнего слоя полотна - 178 МДж/м^2 ;
- на транспортирование отходов до места переработки - 27 МДж/м^2 .

В результате энергозатраты на ремонт дорожного полотна толщиной 10 см составят **290 МДж** на один квадратный метр поверхности дороги.

Таким образом, вложенная в 1 м^2 дороги энергия при ремонте дороги один раз за 7 лет равна $535 + 290 = 825 \text{ МДж/ м}^2$. При ширине полосы 4 м в погонный метр дороги вложена энергия $825 \cdot 4 = 3,3 \text{ ГДж/м}$. При условной интенсивности движения по полосе 2000 автомобилей в сутки через сечение полосы за 7 лет пройдет $2000 \cdot 365 \cdot 7 = 5110000 \text{ ТС}$. Тогда на один автомобиль, проходящий по 1 погонному метру полосы, можно отнести энергию дороги $3,3 / 5110000 = 0,646 \text{ кДж/(м} \cdot \text{автомобиль)}$.

В нашем расчетном варианте КамАЗ, пройдя за 7 лет путь в 350 тыс.км, утилизирует $W_{a.д.} = 0,646 \cdot 350000000 = 226$ ГДж.

Сумма основных энергозатрат, вложенных в обеспечение выполнения транспортной услуги данным автомобилем, составит

$$W = W_{тс} + W_{т.о.р.} + W_{топл} + W_{э.м.} + W_{a.д.} = 523 + 251 + 5605 + 386 + 226 = 6991 \text{ ГДж.}$$

Очевидно, что при расчете неизбежно выпали из рассмотрения некоторые дополнительные энергозатраты, которыми ввиду их относительной малости можно пренебречь.

В расчете на 1 км получаем

$$W_{км} = \frac{6991}{350000} \approx 0,02 \text{ ГДж.}$$

Соответственно, обобщенный КПД

транспортирования η найдем как отношение

$$\eta = W_{\text{АКМ}} / W_{\text{КМ}} = 1/20 = 0,05 \text{ или } 5\%.$$

Это значит, что для продвижения груза массой 8 т на расстояние в 1 км со скоростью 40 км/ч требуется вложить в автотранспортный комплекс в 20 раз больше энергии, чем требуется для собственно передвижения груза (без ТС).

Рассматривая в предыдущих разделах энергетические установки транспортных средств различных видов транспорта мы видели, что КПД установок далек от 100%, поэтому рассмотренный показатель энергетической эффективности по своей сути должен являться стимулом к повышению эффективности всех компонентов транспортного комплекса, и прежде всего - силовых энергетических установок.



Лекция окончена

Благодарю за внимание