



ИЗПОЛЗВАНЕ НА СИМУЛАЦИОННО МОДЕЛИРАНЕ ЗА ПОВИШАВАНЕ НА ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ И НАМАЛЯВАНЕ НА ЕКОЛОГИЧНОТО ВЪЗДЕЙСТВИЕ НА ТРАНСПОРТНИТЕ СРЕДСТВА

Миряна Евтимова
mevtimova@vtu.bg

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”
гр.София, ул. „Гео Милев” №158
БЪЛГАРИЯ*

Ключови думи: *Симулационно моделиране, енергийна ефективност, екологично въздействие, транспорт.*

Резюме: *Разгледани са възможностите, които предлага методът на симулационното моделиране за изследване на енергийната ефективност и екологичното въздействие на транспортните средства. Направен е кратък преглед на известните подходи и различните типове симулационни модели, използвани за оценка и анализ на енергийните и екологични характеристики на железопътни возила и автомобили, като разход на енергоресурс за тягови нужди и отделяни вредни емисии. Дадени са примери на конкретни приложения на методи, почиващи на симулационни модели. Посочени са техните предимства и недостатъци, а също така и нерешените проблеми. Особено внимание е обърнато на необходимостта от подходящи бази данни, на основата на които се изчисляват стойностите на контролираните енергийни и екологични показатели. Изтъкнати са възможностите за по-нататъшно усъвършенстване и развиване на симулационните модели чрез повишаване на тяхната точност и функционалност, както и чрез тяхното универсализиране. Очертани са перспективите за приложението им в сферата на научните изследвания, в образователният процес и при решаването на практически задачи, свързани с намаляване на разхода на енергоресурси и ограничаване на вредните емисии от транспортните средства.*

Увод

Повишаването на енергийната ефективност (ЕЕ) и ограничаването на екологичното въздействие (ЕВ) на транспортните средства изискват използването на по-точни методи за оценка и анализ на съответните характерни параметри. Широко разпространените досега подходи, основани на използването само на обобщени показатели (например изразходван енергоресурс и/или отделени вредни емисии за извършване на определен обем превози) не позволяват установяването на зависимости между тези показатели и различните определящи експлоатационни фактори – такива като профила и плана на маршрута, средната скорост на движение, мощностните и икономически характеристики на возилото и т.н. От друга страна, търсенето на

възможности за подобряване на ЕЕ и ЕВ на различните транспортни средства в експлоатационни условия изисква изследване на влиянието на различните фактори върху енергийните и екологични характеристики и оттук – намиране на ефективни решения.

Преглед на подходите при симулационно моделиране

Много добри възможности в това отношение предлага методът на симулационното моделиране, който през последните десетилетия се налага като резултатно средство за изследване поведението на различни обекти в сложни условия. Публикувани са многобройни изследвания на поведението на транспортни системи с помощта на симулационни модели, като например [1,2].

В изследванията на енергийната ефективност на транспортни средства той започва да се използва през седемдесетте години на миналия век. Първите му приложения са в железопътния транспорт [3,4], където точно дефинираните начални условия (определен график на движение на влаковете (ГДВ) и зададени план и профил на маршрута) са благоприятни предпоставки за успешното моделиране на движението на влака и на процесите, протичащи в силовия комплекс на локомотива. След бурното развитие на компютърната техника през последните две десетилетия на века симулационните модели започват широко да се прилагат в експлоатационната практика на железниците за решаването на различни задачи, като например нормиране на масата на влаковете, уточнено пресмятане на в ремепътуванията, оптимизиране на ГДВ, и др.

С навлизането в практиката на съвременните устройства за точно позициониране на транспортните средства (известни под популярното название GPS системи) се откри широко поле за приложение на симулационните методи и в автомобилния транспорт.

По принцип всички симулационни модели от този клас – независимо от типа на превозното средство – почиват на уравнението на движението на возилото. За влак то най-общо може да бъде записано в следния вид:

$$(1) \frac{dv}{dt} = \frac{\zeta}{m_w + m_l} [F_k(n_k, v) - w_0(v) \pm w_i(s) - B_c(n_c, v)]$$

и

$$(2) \frac{ds}{dt} = v,$$

където:

$v, m/s$	е скорост на движение;
t, min	- време;
s, km	- изминат път;
Fk, kN	- теглителна сила;
B_c, kN	- спирачна сила;
w_0, w_i	- съпротивление при търкаляне и съпротивление от наклона на пътя;
ζ	- коефициент;
$m_w,$	- маси съответно на вагоните и на локомотива;
m_l, kg	
n_k	- позиция на органа, управляващ мощностния режим на локомотива;
n_c	- позиция на органа, управляващ спирачната сила.

При симулиране на движението на автомобил в уравнението се отчита неговата маса вместо масите на вагоните и влака.

За да се възпроизведе поведението на транспортното средство по време на пътуването, уравнението на движение се интегрира с определена стъпка по път или по време, като най-често за целта се използва методът на крайните нараствания. При всяка стъпка на интегриране се изчисляват параметрите на движението: изменението на скоростта в рамките на стъпката на интегрирането, изминатият път и времето, протекло от момента на потеглянето. Паралелно с това се пресмятат изразходваният енергоресурс (гориво или електрическа енергия) и отделените вредни емисии. Получените по такъв начин стойности в края на симулацията позволяват при реализирано времепътуване (или съответно средна скорост на движение) да се оценят енергийната ефективност и екологичното въздействие на транспортното средство.

Разработени са множество симулационни модели, изградени на този подход, които се различават както по своето предназначение, така и по избора на граничните условия, при които се изчисляват характерните параметри. Така например в някои случаи се приема, че времепътуването от началната до крайната точка на участъка е зададено. Такива модели се наричат модели със закрепена крайна точка на фазовата траектория и се прилагат главно в железопътния транспорт, където графикът за движение на влаковете определя времето за преминаване по участъка. В други модели пък времепътуването не е строго ограничено и това са модели със свободна крайна точка на фазовата траектория. При тях само се задава определена стратегия на управление на возилото, а времепътуването (съответно средната скорост на движение) могат да получават произволни стойности.

Най-сложни са симулационните модели, при които се търси оптимална стратегия или оптимален алгоритъм на управление, осигуряващи минимизиране на разхода на енергоресурс за тягови нужди. При тях изчисляването на параметрите на движение на возилото се извършва многократно, като се варира алгоритъмът на управление и накрая се избира оптималният вариант. Оптимизацията може да се извършва по различни математични методи, като най-голямо разпространение през последните десетилетия е получил методът на максимума на Понтрягин [5].

Като пример на симулационен модел, предназначен за оптимизиране на управлението на локомотива по разход на енергоресурс, може да бъде посочен разработеният в Техническият университет-София модел, с помощта на който могат да бъдат решавани различни практически задачи: синтез на енергийно оптимални алгоритми за управление на локомотива [6], сравнение на енергийната ефективност на различни типове тягов подвижен състав, оптимално разпределение на времепътуванията по междугарията при зададено общо времепътуване от началната до крайната гара [7] и др.

Наред с моделите, работещи в лабораторни условия, съществуват и модели, използвани в бордовите устройства на транспортните средства, които работят в реално време и позволяват в процеса на пътуване да се коригира избраната оптимална стратегия на управление в зависимост от променящите се условия. Става дума за адаптационни алгоритми, при които се използват значително по-сложни математични методи.

През последните години все по-популярни стават симулационни модели, предназначени за автомобили. Особеностите на този вид транспорт налагат да бъдат използвани модели със свободен край на фазовата траектория [8].

Предимства и недостатъци на симулационното моделиране

Главното предимство на симулационното моделиране при изследване на енергийната ефективност и на екологичното въздействие на транспортните средства се състои във възможността да се правят изследвания и анализи на влиянието на различни

фактори върху изразходвания енергоресурс и отделените вредни емисии. В действителност, чрез вариране на различните изходни данни и ограничителни фактори, а също така на стратегиите на управление на возилата, може да се проследят измененията на крайните резултати и оттук да се правят обосновани изводи. При това се избягва провеждането на сложни и скъпи натурни експерименти в реални експлоатационни условия.

Друго достойнство на симулационните модели е тяхната универсалност и гъвкавост. По принцип с един модел при евентуални минимални изменения може да се правят различни изследвания и да се решават различни задачи. Ще посочим най-важните направления, в които успешно може да се използва симулационно моделиране в областта на енергийната ефективност и екологичното въздействие на транспортните средства. Те са:

- Генериране на алгоритми за енергийно ефективно или енергийно оптимално управление на транспортните средства. Тук най-перспективно е използването на подходящи програмни продукти в бордови компютърни системи, помагачи на водачите да избират най-доброто от гледна точка на енергийна ефективност и екологично въздействие управление.
- Анализи на влиянието на различните конструктивни и експлоатационни фактори върху енергийните и екологични характеристики на возилата. Такива изследвания могат да се използват както от производителите на подвижен състав за подобряване на неговите качества, така и за усъвършенстване на планирането и организацията на експлоатационната дейност.
- Прогнозиране на промените в енергийните и екологични параметри на транспортните средства при въвеждането на нови нормативни изисквания, например при промяна в стандартния европейски цикъл.
- Оценка на енергийната ефективност и на екологичното въздействие на цели транспортни системи, позволяваща търсенето на пътища и средства за подобряването им.
- Обучение на водачите на транспортни средства за прилагане на методи за енергийно ефективно управление.
- Внедряване в програмите на висшите училища на модули, разширяващи знанията на студентите в областта на енергетиката и екологията на транспорта.

Разглежданият клас симулационни модели разбира се не е лишен от недостатъци. Един от тях е, че при по-сложните адаптивни модели, предназначени за оптимизиране на процесите на управление, се прилагат сложни математични методи, изискващи значителен обем изчисления. Съвременното състояние на компютърната техника обаче предлага отлични възможности за преодоляването на тази трудност.

Към недостатъците може да бъде причислена и липсата на по-универсални модели, които могат да бъдат прилагани за широк кръг транспортни средства. Разработваните до момента модели са преди всичко специализирани, въпреки че, както бе отбелязано по-горе, тяхната теоретичната основа е обща и това е много добра предпоставка за тяхното универсализиране.

Възможности за усъвършенстване на симулационните модели

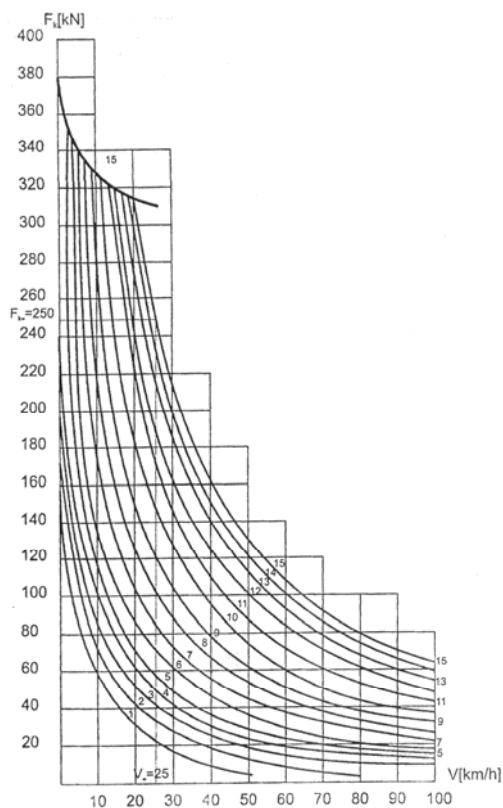
Както се вижда, съществуват добри перспективи за по-нататъшното развитие и широко прилагане на този тип математично моделиране за изследване и подобряване на енергийната ефективност и екологичното въздействие на транспортните средства. Нарастващият брой публикации на тази тема е показателен за положителна тенденция в това отношение. Трябва да се отбележи обаче и наличието на едно съществено

затруднение: недостига или отсъствието на характеристики на транспортните средства, които са обект на симулационно моделиране.

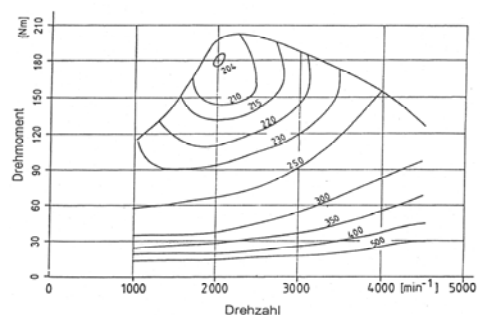
В действителност изходните данни, необходими за разработване на симулационния модел, включват мощностните, теглителни и разходни характеристики на возилото. Така например за тягов подвижен състав с дискретно (степенно) регулиране на мощностния режим, теглителните характеристики обикновено се задават във функция от позицията на управляващия орган (фиг.1). В този случай и разходът на енергоресурс на всяка позиция приема предварително фиксирана стойност.

При съвременните возила с безстепенно управление на мощността обаче се задава само работното поле, като всяка точка от него е възможен режим. При това производителите на релсови тягови возила като правило не предлагат информация за разхода енергоресурс, който съответства на различните режими.

При автомобилите за оценка на икономичността могат да се използват добре известните универсални (многопараметрови) характеристики на двигателите с вътрешно горене (фиг.2). За съжаление и те не винаги са на разположение при разработване или ползване на симулационни модели.



Фиг. 1 Теглителна характеристика на локомотив с дискретно регулиране на мощност



Фиг.2 Универсални характеристики на автомобилен дизелов двигател с директно впръскване

Другата трудност, която възниква при използване на симулационни модели за оценка на екологичното въздействие транспортните средства, е липсата на достатъчно точни методи за пресмятане на вредните емисии, отделяни от двигателите с вътрешно горене. Обикновено тя се преодолява, като се прибягва до опростен подход: съответните емисии се определят пропорционално на количеството изразходван енергоресурс. По такъв начин като правило се получават резултати, удовлетворяващи изискванията на експлоатационната практика. За нуждите на задълбочени научни изследвания обаче следва да се търсят по-съвършени методи.

Заклучение

Симуляционното моделиране намира все по-широко приложение при оценка и изследване на нергийната ефективност и екологичното въздействие на транспортните средства. Съществуващите програмни продукти предлагат много добри възможности за решаване на широк кръг задачи, свързани с разработването на нови возила, ефективна експлоатация на съществуващия подвижен състав и обучение на персонал. Очаква се тяхното по-нататъшно усъвършенстване главно чрез подобряване на тяхната функционалност и точност. Задължително условие за това обаче е осигуряването на необходимите данни за мощностните и разходни характеристики на транспортните средства.

Литература

- [1] Benekohal R.F., Procedure for validation of microscopic traffic flow simulation models, Transportation Research Board. Washington DC, 1991.
- [2] LE Owen, Y Zhang, L Rao, G McHale. Street and traffic simulation: traffic flow simulation using CORSIM Proceedings of the 32nd conference on Winter simulation, 2000.
- [3] Петров, Ю.П. Оптимальное управление движением транспортных средств. Л., Энергия, 1969.
- [4] Костромин, А.М. Оптимизация управления локомотивом. М., Транспорт, 1979.
- [5] Стоянов, Д. Метод за синтез на алгоритми за енергийно ефективно управление на локомотива. София, ТУ-София, Хабилизационен труд, 1993.
- [6] Кръстев, О. Намалване на разхода на енергоресурс чрез преразпределяне на заложения в графика за движение на влаковете ресурс от време. С., Дисертационен труд. ТУ-София, 2001.
- [7] Howlett P., Pudney P. Energy-Efficient Train Control. Springer, 1995.
- [8] Senger, R.D. Validation of ADVISOR as a Simulation Tool for a Series Hybrid Electric Vehicle Using the Virginia Tech Future Car Lumina, 1997.

USING SIMULATION MODELING FOR IMPROVING ENERGY EFFICIENCY AND REDUCING ENVIRONMENTAL IMPACT OF VEHICLES

Miryana Evtimova
mevtimova@vtu.bg

*Todor Kableshkov University of Transport, Sofia, 158 Geo Milev Str.
BULGARIA*

Key words: *Simulation modeling, energy efficiency, environmental impact, transport.*

Abstract: *Possibilities are analyzed which simulation modeling is offering for examining efficiency and environmental impact of transport means. A short review is given of approaches and methods used for assessment and analysis of energy and environmental characteristics of railway vehicle and automobiles such as energy consumption for traction and generated emissions. Some examples for practical implementation of simulation based methods are given, their advantages and shortcoming, are pointed out, as well as unsolved problems. Special attention is paid to the necessity of appropriate database on which the values of monitored energy and environmental performance are calculated. Possibilities for further improvement and development of similar methods are outlined in terms of precision, functionality and universalization. The prospects are outlined for implementation in research and training, and for solving practical problems related to energy consumption reducing and emissions mitigation.*