

Моделиране на движението на автоvlak чрез теория на графите

Светла Стоилова, Лило Кунчев

Modeling the movement of a road train using theory of graph: In this investigation was developed method for controlling the movement of road trains on highway with minimum fuel consumption by optimizing the technical and operational parameters. To model the movement of the road train is applied graph theory. The model has been experimented for the Sofia-Plovdiv roads, as compared two parallel routes - Highway and the second category road. The model can be used to compared alternative routes for optimal management of the movement of vehicles depending on the strategy of the transport company.

Key words: road trains, graph theory, fuel consumption, relative performance, speed, transport company

ВЪВЕДЕНИЕ

Управлението на движението на транспортното средство е сложен процес, който се променя във времето и зависи от множество фактори. Този процес може да се разглежда като система, състояща се от множество точки, които определят нейното състояние. Преминването от едно състояние в друго определя динамиката на системата. Върху прехода може да се въздейства във всеки момент с определено управление, избрано измежду множество възможни стратегии.

При движение на транспортното средство по зададен маршрут дискретните моменти от времето, характеризиращи управлението, могат да се дефинират, като маршрута на движение се раздели на участъци в зависимост от профила на пътя. В този случай състоянието на системата като цяло се определя от управлението в отделните участъци. Така дискретният процес, зависещ от времето се преобразува в многоетапен процес за взимане на решение, при който се отчита последователността на операциите.

В изследването се разглежда движението на автоvlak. Целта е да се разработи и експериментира методика за управление на движението на автоvlak по зададен маршрут в зависимост от зададен технико-експлоатационен критерий, при което сумарните разходи за гориво за отделните участъци от пътя да са минимални.

МЕТОДИКА ЗА ПРОВЕЖДАНЕ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Технико-експлоатационни показатели, зависещи от разхода на гориво

Основните технико-експлоатационни показатели, които зависят от разхода на гориво са:

- Изразходвано гориво Q_L за изминаване на определено разстояние L ;

$$Q_L = \frac{q_r \cdot L}{100}, \text{ l}, \quad (1)$$

където: q_r е пътният разход за изминати 100km, l/100km; L е дължината на участъка, km

- Относителна производителност w_Q . Този критерий показва какво количество товар се превозва при минимум разход на гориво и време, и се определя по:

$$w_Q = \frac{m \cdot V \cdot 100}{q_r \cdot L}, \text{ t/h}, \quad (2)$$

където: m е пълната маса от транспортното средство и превозвания товар, t. V е скоростта на движение, km/h.

• Ефективна горивна икономичност q_e . Този показател характеризира способността на транспортното средство да извършва работа при минимален разход на гориво и време, и се определя по:

$$q_e = \frac{1}{W_Q} = \frac{q_r \cdot L}{m \cdot V \cdot 100}, \text{ l.h/tkm.} \quad (3)$$

Аналитично определяне на пътния разход на гориво на транспортно средство

Пътният разход на гориво на дадено транспортно средство (ТС), което се движи с определена скорост на определена предавка, по път с определено пълно съпротивление се определя с помощта на програма разработена в среда на "MatLAB". При определянето на пътния разход на гориво са приети следните допускания: във всеки участък ТС се движи равномерно с постоянна скорост; не се отчита действието на насрещен или попътен вятър върху разхода на гориво на ТС; не се разглеждат вариантите на движение на ТС по инерция с включена или изключена предавка; не се отчита влиянието на вътрешни за ТС консуматори върху промяната на коефициента на натоварване на двигателя.

Математичен модел

Движението на автовлака се представя във вид на мрежа, формирана от участъци от маршрута и вариантите на управление във всеки участък. За тази цел маршрутът на движение на автовлака се разделя на отделни участъци, съобразно профила на пътя. За всеки участък се определят: максимално допустимата скорост и възможните скорости за движение при различни предавки. Необходимо е да се определи такава управление на движението на автовлака по зададен маршрут, за който сумарните разходи за гориво за отделните участъци от пътя да са минимални. Във всеки отделен участък от пътя разходите за гориво зависят от техническата скорост и съпротивлението при движение (профила на пътя).

Геометричната интерпретация на задачата е показана на фиг.1. Маршрут се разделя на n на брой участъци. За всеки участък се определят възможните скорости на движение на автовлака, които зависят от тяговата характеристика на двигателя, предавката, съпротивителните сили при движението. В зависимост от режима на управление на автовлака (скорост и предавка) кривата на скоростта може да попадне в някоя от точките на вертикала 1. От всяка от тези точки може да се премине към точките на вертикала 2, като се отчита определен режим на движение на автовлака. На всеки режим на движение съответства определен разход на гориво.

Този начин на представяне позволява движението на автовлака да се моделира по нов начин, като се прилага теорията на графите,

Последователността на съставяне на графовата структура е следната:

- За всеки участък се построяват вертикални линии, върху които се разполагат върховете на графа, определени от възможните скорости на движение, фиг.1. Броят на вертикалните линии е равен на броя на участъците плюс 2. Например за началото на първия участък това е вертикална линия 0, за втория – вертикална линия 1 и т.н.

- В началото на първия участък се задава фиктивен връх 1, който се свързва с върховете, лежащи на линия 1. На вертикална линия U се задават възможните скорости за последния участък.

- В края на маршрута се добавя фиктивен участък и фиктивен завършващ връх Z . В междинните участъци всички върхове се свързват по между си. В края на последния (фиктивен) участък всички върхове се свързват с фиктивния връх Z .

Линиите, свързващи два съседни върха, определят дъга на графа. Всички дъги определят мрежата на графа. За така съставената графова структура за всички

дъги се задават стойности, които зависят от избрания параметър на оптимизация. Целта е да се определи преминаването на единица поток през мрежата на графа от началния връх 1 до последния връх Z, така че да е изпълнен максимум или минимум на зададена критериална функция, т.е. оптимизационният модел е:

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} \cdot f_{ij} \Rightarrow \min(\max) \quad (4)$$

където: f_{ij} е потокът, преминаващ през съответната дъга на графа, C_{ij} е зададена стойност на технико-експлоатационен параметър на оптимизация; n е броят на върховете на графа. Стойностите на f_{ij} могат да бъдат 0 или 1;

Целевата функция (4) изразява минималната (максималната) стойност на потока, преминаващ през графа.

Ограничителните условия са:

- Ограничаване на потока от минимална и максимална пропускателна възможност. В случая минималната пропускателна възможност е 0, а максималната е 1:

$$f_{ij}^{\max} \geq f_{ij} \geq f_{ij}^{\min}, \text{ т.е. } 1 \geq f_{ij} \geq 0. \quad (5)$$

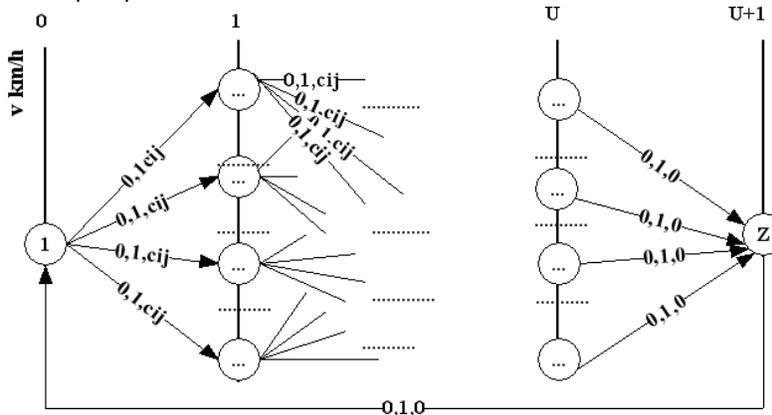
- Във всеки връх на графа трябва входящият поток да е равен на изходящия:

$$\sum_{j=1}^n f_{ji} = \sum_{j=1}^n f_{ij}. \quad (6)$$

- Потокът е с положителна стойност $f_{ij} \geq 0$.

За всички дъги, освен тези във фиктивния участък, се задават стойностите - минимална пропускателна възможност 0, максимална пропускателна възможност 1 и стойност на технико-експлоатационния критерий на оптимизация. Всички дъги във фиктивния участък към последния връх Z имат параметри минимална пропускателна възможност 0, максимална пропускателна възможност 1 и стойност на критерия равен на 0.

От последния връх Z към връх 1 се въвежда затваряща дъга с параметри минимална пропускателна възможност, максимална пропускателна възможност, стойност на критерия 0.



Фиг. 1. Графова структура

Представеният модел е линеен и може да се реши чрез линейно програмиране. За технико-експлоатационен параметър на оптимизация последователно се избират: максимална относителна производителност, минимален разход на гориво при движение с максимална скорост, минимален разход на гориво.

АПРОБАЦИЯ НА МОДЕЛА И РЕЗУЛТАТИ

Разработената методика за управление на движението на автоvlak е експериментирана за участъка София – Пловдив. Разгледани са два маршрута София – Пловдив магистрала (път 1) и София – Пловдив – движение по път от 2-ра категория (стария път). Методиката е апробирана за транспортно средство (ТС) със следните основни параметри и характеристики : TGM 18.290 18 Tone 4x2 BL Rigid – модел на базовото шаси на ТС; D0836 LFL65 340 PS, 6 Cylinder in-line, 6.9 litre (Euro 5); максимална ефективна мощност на двигателя - 259 kW ; пълна маса на ТС 18 t; собствена маса на ТС 8 t.

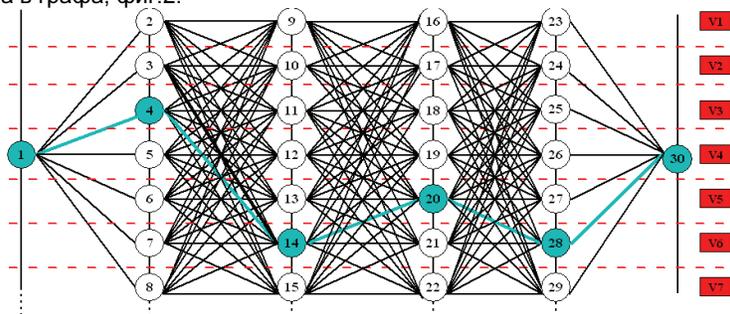
В зависимост от профила на пътя и двата маршрута са разделени на 4 участъка. За всеки участък са експериментирани по 7 варианта на управления на движението (скорост и предавка). Моделирането е извършено при движение с товар и при празен рейс.

При експериментирането на методиката са отчетени следните особености: не се отчитат разходите за товарно-разтоварни операции; не се отчитат разходите на гориво при смяна на предавките; не се отчитат разходите на гориво при преминаване от една скорост на друга при една предавка; варирането на скоростите е през 10km/h, като се отчитат и предавките; долната граница на вариране на скоростта за всеки от участъците е $v_{\min} = v_{\max} - 20$, km/h.

Изследвани са комбинации за пътуване с товар и без товар по двата успоредни маршрута.

На фиг.2 е показана графовата структура. За всеки участък оптималното управление на движението на атовлака се изследва по седем различни скорости и предавки (V_1 до V_7).

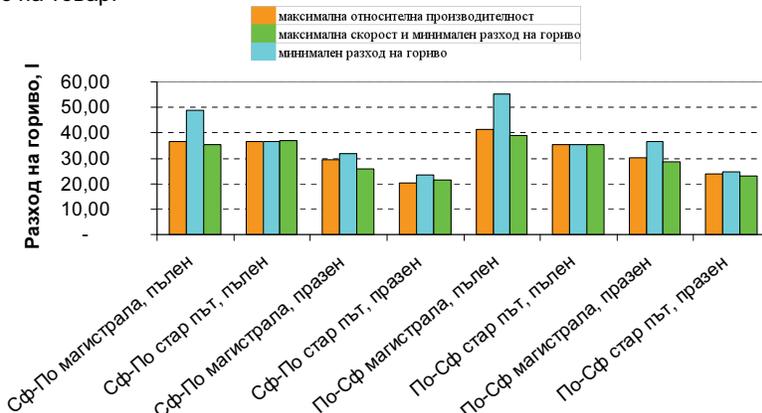
Решението на задачата е стойността на потока, преминаващ през графа. Стойностите на потока равни на 1, дават свързването на върховете на скоростта последователно в определените участъци. Оптималното управление на скоростта в зависимост от зададения технико-експлоатационен критерий се получава от пътя на скоростта в графа, фиг.2.



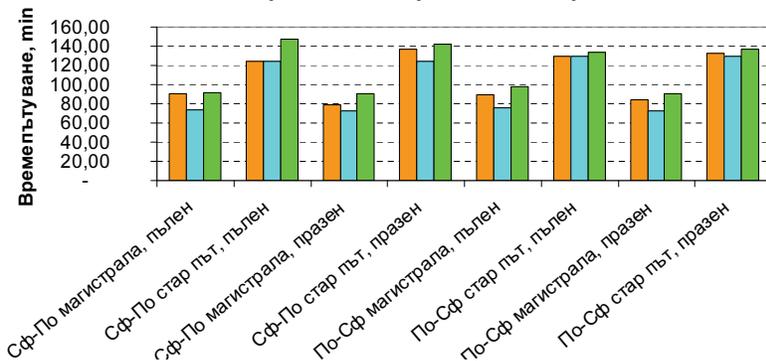
Фиг.2. Оптимален път на скоростта- София-Пловдив магистрала, с товар

При извършване на оптимизацията диапазонът на изменение на скоростта при различни предавки на управление за двата маршрута зависи от натовареността на транспортното средство и посоката на движение. Например, при движение на автоvlak с товар в посока София - Пловдив диапазонът на изменение на скоростта е: маршрут 1- първи участък от 90km/h до 70km/h; втори, трети и четвърти участък от

100km/h до 80km/h; маршрут 2- първи и втори участъци от 60km/h до 50km/h; трети и четвърти участък от 70km/h до 60km/h. За оценка на получените резултати за всеки маршрут и запълване на транспортното средство е определен общият разход на гориво по отделно за всеки критерий на оптимизация. На фиг.3 и фиг.4 е дадено сравнение на общия разход на гориво и на времепътуването за оптималното управление по трите технико-експлоатационни критерия за двата маршрута при превоз на товар.



Фиг.3. Сравнение на разхода на гориво



Фиг.4. Сравнение на времепътуването

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новото в направеното изследване е подходът на моделиране на управлението на движение на автовлак чрез прилагане на теорията на графите и оптимизиране на пътя на скоростта в отделните участъци на маршрута по избран технико-експлоатационен критерий. Оптималният път на скоростта в мрежата се получава индиректно. В резултат на оптимизацията се определя оптималния път на избрания критерий. След това за отделните участъци се определят параметрите скорост и предавка, съответстващи на критерия. Оптималният път на критерия съвпада с този на скоростта. По този начин се моделира управлението на движение на превозното средство по целия маршрут. От получените оптимални стойности на скоростта се определя и времепътуването.

Използването на потоквите алгоритми позволява да се отчете и натовареността на маршрутите от транспортни средства.

Моделът може да бъде приложен за управление на движението и на други видове транспорт.

Проведеното изследване дава основание да се направят следните по-важни изводи:

- Най-висок разход на гориво се получава при оптимизация по критериите максимална скорост и минимален разход на гориво. В този случай времепътването е минимално.

- Оптималното разпределение на скоростите на движение на автоvlak по критерий минимален разход на гориво повишава времепътването в сравнение с останалите два критерия.

- Определянето на скоростта по критерий относителна производителност намалява разхода на гориво с около 20%, при минимално увеличаване на времепътването.

- При превоз на лесноразвалящи се товари от най-голямо значение е бързината на превоза. В тези случаи подходящият оптимизационен критерий е максимална скорост и икономична предавка.

- При превози, които позволяват минимално увеличение на времепътването за сметка на намален разход на гориво, без да се наруши срокът на доставка, се препоръчва управление на движението на автоvlakа по оптимизационен критерий относителна производителност.

- При алтернативни маршрути е необходимо да се направи оценка за избор на оптималния, в зависимост от вида на товара и стратегията на транспортната фирма.

- Избора на технико-експлоатационен параметър на оптимизация зависи от целите на превозвача.

Разработената методика може да се използват за адаптиране на процесите и ефективна превозна дейност в транспортните фирми. За практическото реализиране е необходимо прилагането на GPS система в автоvlakовете, която да информира водачите за оптималната скорост на движение по предварително избрания технико-експло-атационен оптимизационен критерий във всеки участък.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Буклиев К., Теория и конструкция на автомобила, „Земиздат”, София, 1983.
- [2] Димитров С., Изследване на автоvlakовете за повишаване на ефективността от използването им при движение в автомагистрални пътни условия, Дисертация, ВИСШ МЕИ „В.И.Ленин” – София, 1986.
- [3] Найденов Л., Нейков С., Генов Г., Автомобили, „Техника”, София, 1990.
- [4] Стоилова С. Теория на управлението.С., Издателство на Технически Университет-София., 2006.
- [5] D0836_LKW, MAN Nutzfahrzeuge AG, (D0836_LKW_en.pdf, www.man-engines.com)
- [6] TGM 18t 4x2 Rigid, MAN Truck & Bus UK Ltd., 2011, (TGM 18t 4x2 Rigid.pdf, www.mantruckandbus.co.uk)

БЛАГОДАРНОСТ

Изследванията са проведени по договор ДО 02-47/10.12.2008 г., финансиран от Министерството на образованието, младежта и науката.

За контакти:

Доц. д-р Светла Стоилова, доц. д-р инж. Лило Кунчев, Факултет по транспорта, Технически Университет - София, e-mail: stoilova@tu-sofia.bg; lkunchev@tu-sofia.bg

Докладът е рецензиран.