

АЛГОРИТЪМ ЗА ЕНЕРГИЙНО-ЕФЕКТИВНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЛОКОМОТИВА С КОРЕКЦИЯ НА МАСАТА НА ВЛАКА В РЕАЛНО ВРЕМЕ

Веселин Стоянов, Олег Кръстев

ves@vtu.bg, okrastev@tu-sofia.bg

*ВТУ “Тодор Каблешков”, катедра „Транспортна техника”,
ул. “Гео Милев” 158, София 1574,
Технически Университет – София, катедра „Железопътна техника”
бул. “Кл. Охридски” 8, София 1000,
БЪЛГАРИЯ*

Ключови думи: алгоритъм, управление, маса, влак, параметри

Резюме: Извършено е математическо моделиране на движението на влак с предварително зададени параметри, съответстващи на реални експлоатационни условия. С помощта на симулационна програма е изследвана промяната на алгоритъма за управление след корекция на масата на влака по време на движение. Всички експерименти са проведени при движение на влака по оптимална енергоефективна траектория и е анализирано изменението на разхода на енергоресурс.

1. Увод

Известно е, че движението на транспортните средства, при едни и същи експлоатационни условия е свързано с изразходване на различно количество енергия, което зависи от използвания алгоритъм за управление на тяговия състав. Едва в последните тридесет години започнаха да се правят проучвания и да се работи в направлението за минимизиране на този разход. В железопътния транспорт естествения резултат от този стремеж е нарастването на изследванията в областта на енергийно-ефективното управление на влаковете. От една страна, част от тях вече имат реално изражение: европейската система за управление на железопътното движение (ERTMS) във всичките и нива е на път да се наложи в по-голямата част от света. От друга е известно, че намаляването на разходите на енергоресурс на тяговия подвижен състав може да стане с прилагането на алгоритми за енергийно-ефективното управление на локомотива.[1]

От гледна точка на снижаване на разхода за провеждането на самите изследвания най-често се използва моделиране на движението на обекта с помощта на ЕИМ. Използваните за целта симулационни програми изследват ефективността на управление на локомотива при различни алгоритми на това управление чрез математическо моделиране на движението при предварително зададени параметри, максимално близки до реални експлоатационни условия.[2]

2. Управление на влака с корекция за грешка при определяне на неговата маса.

В настоящото изследване е анализиран разхода на енергоресурс посредством симулационна програма SIMOL при следните условия:

- Предполага се, че в симулационната програма е въведена неточна маса на влака – това почти винаги е така, поради факта, че стойностите посочени в превозните документи малко или повече се различават от реалните, а при пътническите влакове те се променят и на всяка спирка или гара. Автоматизираното управление на такъв влак от гледна точка на енергийната ефективност налага корекция на неговата маса.
- След потегляне на влака, чрез отчитане на: реалните работни параметри на силовия комплекс на тяговия състав, пътните условия и на други експлоатационни фактори, се определя точната маса на състава и се въвежда отново в първоначално алгоритъм за управление
- При всички симулации се прилага алгоритъм на управление, реализиращ минимален разход на енергоресурс – „оптимална траектория”.

Корекция на алгоритъма на управление може да се осъществи в реални условия посредством създаването на система за управление включваща съвременна апаратура за измерване на физикомеханични величини и на параметрите на движение. Тук се включват: различна апаратура за следене работата на силовия комплекс на тяговия състав (ток, напрежение, позиция на контролера на машиниста и др.) и GPS приемник за точно определяне на местоположението. От направените досега изследвания са известни възможностите за използване на сателитна навигация за определяне точното местоположение на локомотива. [3].

Системата за управление чрез бордовия компютър коригира алгоритъма за управление, като въздейства върху управлението на тяговите агрегати и посредством постоянна обратна връзка, непрекъснато контролира работните параметрите и при нови отклонения от нормалните стойности, извършва повторна корекция.

Задължително корекцията на масата на влака се извършва в началните етапи на пътуването – фаза „ускорение” – при потегляне от всяка гара.

Промяната на скоростта през този етап е определяща за изпълнението на поставената задача. От GPS приемника постъпва информация за ускорението на локомотива. При маса на влака съответна на тази от превозните документи, съпротивителната сила действаща на локомотива има определена стойност т.е., възможно е да се изчислят очакваните ускорения. Сравняването на получените стойности с действителните сигнализира за евентуална разлика в началните условия на задачата. По обратен път може да се пресметне реалната маса на влака и след това да се зададе в алгоритъма за управление за пътуването през останалата част от участъка.

3. Числен експеримент

Изследването зависимостта на разхода на енергоресурс се извършва с помощта на симулационната програма SIMOL [2].

Входните данни за симулацията са следните:

- Участъци с дължини: 5000 m; 10000 m, 15000 m и 20000 m.
- Наклоните: 0 ‰, 5 ‰, 10 ‰ и 15 ‰.
- Маси на влака в границите: 370 ÷ 470 t. За „номинална маса” е избрана 420 t (Влаков състав с осем пътнически вагона). Този избор е направен след статистически анализ на стойности записвани в реални превозни документи. Вариациите на масата са в достатъчно широки граници за установяване на

зависимостта на разхода на енергоресурс при изменение на управляващите алгоритми.

- локомотив серия 07-000;
- тип на състава - пътнически;
- коефициент на използване на спирачната маса – 0,55;
- спирачен процент – 90;
- максимална скорост: 100 km/h.

Всеки участък е разделен на части и са извършени по три симулации, като резултатите са отбелязани с индекси:

- **Н** – вариант „нормален“ – моделира се движението по цялата дължина на участъка без корекция на масата;
- **1200** – вариант на част от участъка с дължина 1200 m от началната точка на движение (потегляне) до 1200 m;
- **Ч** – вариант „частичен“ – моделира се движението по участъка след 1200 m, при коригирана маса на състава и начални параметри тези, получени в края на симулацията по вариант **1200**;
- **С** – сборен участък - сума от симулацията по вариант **1200** и вариант „частичен“.

При анализа са използвани следните означения за параметрите на движение: път **S[m]**, времепътуване **T[s]**, и разход на гориво **G[kg]**.

След провеждане на числения експеримент са определени:

- За всеки $S_H - T_H$ и G_H ;
- За всеки $S_{1200} - T_{1200}$ и G_{1200} ;
- За всеки $S_{\text{ч}} = S_H - 1200 - T_{\text{ч}} = T_H - T_{1200}$ и $G_{\text{ч}}$;
- За всеки $S_C = S_{1200} + S_{\text{ч}}$ ($S_C = S_H$); $T_C = T_{1200} + T_{\text{ч}}$ ($T_C \approx T_H$) и $G_C = G_{1200} + G_{\text{ч}}$.

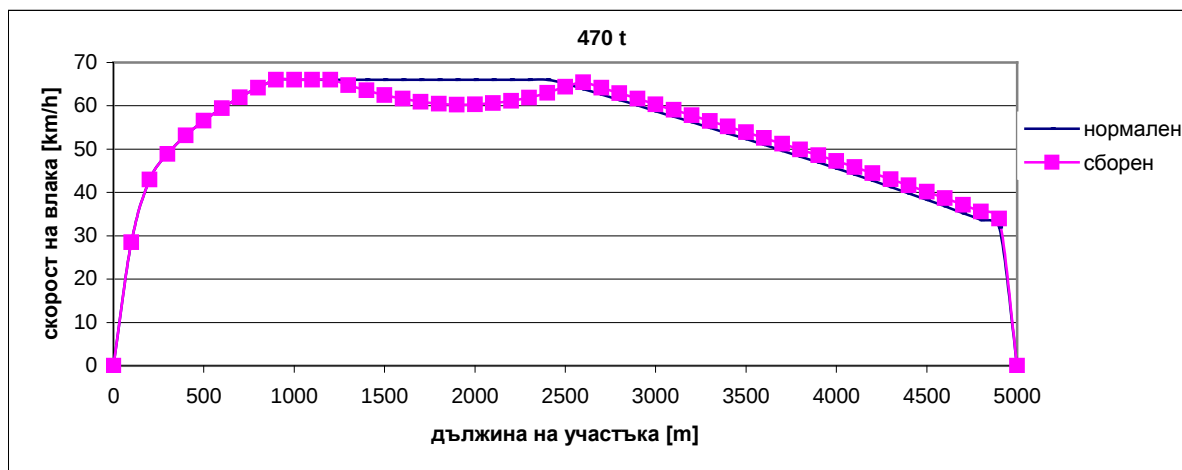
4. Получени резултати

Получените резултати са обобщени и показани в таблица 1, а вида на получените фазови траектории на участъци с различни дължини може да се види на фиг. 1 и фиг. 2. Симулиране на движението на състави с различни стойности на масата на влака дава аналогични графични изразения и поради идентичния им характер те не са показани.

Таблица 1. Разход на гориво от нормалния и сборния участъци.

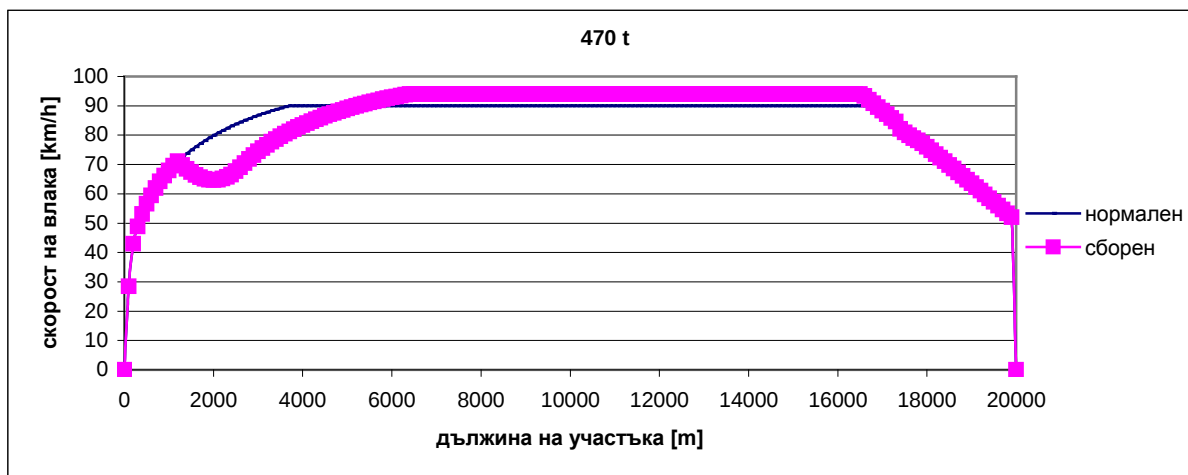
Маса на влака [t]	Дължина на участъка [m]							
	5000		10000		15000		20000	
	G_H [kg]	G_C [kg]	G_H [kg]	G_C [kg]	G_H [kg]	G_C [kg]	G_H [kg]	G_C [kg]
370	12,21	12,75	28,53	27,39	43,78	44,74	59,79	61,58
380	12,40	13,03	28,93	27,25	44,56	46,35	63,44	64,75
390	12,78	13,17	29,66	28,54	46,34	47,70	64,13	64,65
400	12,87	13,58	30,27	29,70	47,54	47,68	64,74	64,93
410	13,13	13,76	30,87	29,17	45,51	49,26	66,39	67,24

420	13,55	14,12	31,11	31,29	47,00	49,65	67,91	68,69
430	13,63	14,22	31,76	31,81	50,30	51,66	69,27	70,39
440	13,77	14,73	32,69	32,36	50,81	52,81	70,07	71,80
450	14,13	14,66	33,51	33,27	52,31	53,39	72,14	72,54
460	14,30	14,34	33,81	33,72	53,16	53,58	73,44	75,34
470	14,75	14,68	34,32	34,57	53,49	55,36	74,23	75,66



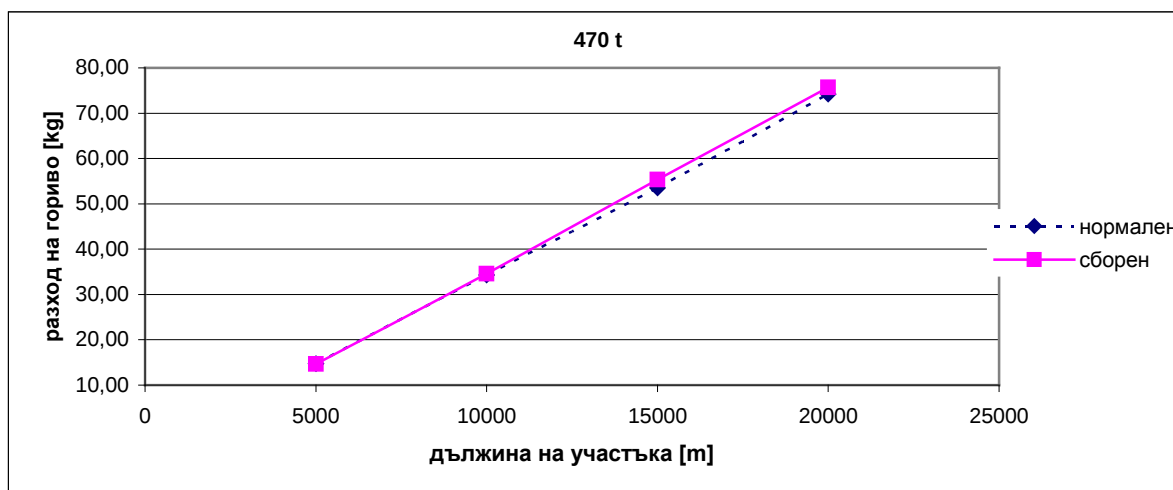
Фиг.1.Фазови траектории на влак с маса 470 t на участък с дължина 5000 m и наклон 0%.

Сравняването на получените резултати за разхода на гориво G_H и G_C позволява оценяване на целесъобразността на разглеждания оптимизационен метод.



Фиг.2.Фазови траектории на влак с маса 470 t, участък с дължина 20000 m и наклон 0%.

Известно е, а и логиката подсказва, че при увеличаване на масата на състава нараства и разхода на енергоресурс. На фиг. 3 е показано изменението на разхода на гориво при влак с маса 470 t. Повишения разход на гориво в условно приетия участък „сборен“ означава, че корекцията за масата на влака е положителна, т.е. първоначално заложената маса е била по-ниска от действителната.



Фиг.3. Разход на гориво на локомотива на влак с маса 470 t, дължини на участъците 5000, 10000, 15000 и 20000 m и наклон 0‰.

В действителност изменението на масата на пътническите влакове е разнопосочно в зависимост от пътничкопотока.

5. Изводи:

1. Проведеното изследване доказва приложението на алгоритъма за управление на влака, с възможност за автоматична корекция на масата в началото на всеки участък.
2. Влиянието на грешките за параметъра маса върху разхода на гориво за един локомотив е незначително.
3. Значителни икономии на енергоресурс може да се очакват от внедряването на този алгоритъм за управление при наличието влакови маршрути с достатъчен брой участъци.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Кръстев О., Сnižаване на разхода на енергоресурс за тягови нужди чрез оптимално разпределение на заложения в графика за движение на влаковете ресурс от време, Дисертация за получаване на образователна и научна степен Доктор, ТУ-София, 2001.
- [2] Стоянов, Д., О. Кръстев, Б. Дамянов. Пакет симулационни програми за изследване на влиянието на алгоритмите на управление на локомотива върху разхода на енергийния и времеви ресурс. Пета научно-техническа конференция с международно участие "Транспорт, екология - устойчиво развитие ЕКО ВАРНА '99", Сборник доклади, В.,1999.
- [3] Стоянов В., О. Кръстев, Д. Велкова, „Повишаване на точността при използване на GPS за подвижен железопътен състав”, сп. Механика, транспорт, комуникации, том 10, бр.№3/2, 2012, BG-2.48 ÷BG-2.54