

ПРОГРАМА ЗА ТЯГОВИ ИЗЧИСЛЕНИЯ

Тодор Йонов, Васил Динев
todyon@tu-sofia.bg

**ТУ – „София“, Електротехнически факултет, катедра ЕСЕОЕТ
София п.к 1156, бул. Кл. Охридски №8
БЪЛГАРИЯ**

Ключови думи: тягови изчисления, криви на движение, уравнение на движение

Резюме: В настоящата статия са представени резултати от съставена програма за тягови изчисления с помощта на персонален компютър с цел получаване на характеристиките ток на транспортно средство, скорост и време в зависимост от пътя. При елиминиране на пътя се изчисляват допълнително и характеристиките ток на един тягов двигател, ток на теглителното транспортно средство и разхода на енергия за изминаване на даденият участък в зависимост от времепътването. С помощта на тяговите изчисления се решават редица задачи свързани, както с началното проектиране на участъци в електрическият транспорт, така и с понататъшната им експлоатация. В последната те са необходими при проверки дали е възможно увеличаването на пропускателната способност на участъците и увеличението на средната скорост. В учебният процес, за който основно е предназначена дадената програма, ще служи за онагледяване на резултатите от изчисленията, както и за задаване на различни промени на изходните данни – основно наклони на пътя с цел проследяване на нивото на средната скорост, прегряването на тяговите и разхода на енергия за изминаване на участъка. В рамките на програмирането са разгледани методите за решаване на уравнението на движение чрез полиномна апроксимация съгласно методите на Ойлер и Рунге-Кута. Апроксимирани са характеристиките: съпротивление на движение, теглителен, спирачен и режим на свободно движение, ограниченията по сцепление и максимална скорост. Трябва да се отбележи, че без да претендира за голяма точност на резултатите и въпреки, че основното и предназначение е да бъде ползвана в учебният процес, програмата дава в голяма степен реален поглед за промените на получените изходни величини при промяна на изходните данни.

Въведение.

Тяговите изчисления обхващат решаването на уравнението за движение на електрически подвижен състав при различни режими на движение. С помощта на уравнението за движение се решават задачите: избор на параметрите на теглителния състав при дадена маса на състава, профил на пътя и скорост на движение. Определяне на режима на работа на транспортното средство при дадена маса на състава и профил на пътя. Допълнително се определят разхода на енергия и загряване на тяговите двигатели. При изчисления за съществуващи участъци се определят възможните

изменения на параметрите с цел повишаване на пропускателната способност на даден участък и намаляване на разхода на енергия. Допълнително могат да се търсят най-характерните показатели за движението на съставите при конкретни експлоатационни условия, както и изследване на режимите на движение с практическа или научноизследователска цел. Основните криви на движение включват зависимостите $v(s)$, $v(t)$ и $t(s)$. От тези криви, с помощта на електротяговите характеристики на двигателя, може да се построят зависимостите $I(s)$ и $I(t)$, с които да се определят загряването на двигателя, разхода на енергия, натоварването на електрооборудованите съоръжения и др. Необходимо е да се работи с определена точност на различните основни и спомагателни величини: дължини на елементи от профила на пътя – до 1 m; наклони – до 0,1 ‰; сили – до 500 N; ток – до 5 A; скорост – до 0,1 km/h; температура на нагряване – до 0,01 °C.

Тук са дадени резултати от изчисление с помощта на програма за тягови изчисления на железопътен състав разработена за персонален компютър. Трябва да се има в предвид, че за да се направи точна компютърна програма за тягови изчисления са необходими прецизни данни за характеристиките /теглителни, спирачни, съпротивление на движение и т.н./ на теглителния състав. Във фирмената документация обикновено такива данни няма. За направата на програмата са ползвани приблизителни данни от [1]

От написаното до тук следва, че съставената програма е по-скоро методическа, във връзка с учебния процес. Получените резултати от съставената програма са приблизителни и могат да се ползват предимно в учебния процес. В практиката, без да претендират за точност, те дават, един „поглед“ за това какви са връзките между механичните и електрическите величини.

1. Алгоритъм. Методи за числено решение на задачата.

Софтуерният алгоритъм е от особена важност за провеждането на тяговите изчисления, тъй като от него зависят точността, бързината и грешката при пресмятанията, както и достоверността на получените резултати. Той се състои в числено интегриране на уравнението за движение на ЕТС [2]:

$$(1.1) \quad f_p = \frac{1}{\xi} \frac{dV}{dt} = \frac{1}{\xi} \frac{V dV}{dS}, \text{ N/kN}$$

Където $f_p = f - w - b$ е относителната равнодействаща сила, N/kN

f - относителната теглителна сила, N/kN

w - относителната сила на съпротивление на движение, N/kN

b - относителната спирачна сила N/kN,

$\xi = \frac{g}{1000(1+\gamma)}$ е относителното ускорение на състава,

g - земното ускорение,

γ -инерционният коефициент на въртящите се маси.

От уравнения (1.1) се съставя системата

$$(1.2) \quad \begin{cases} \frac{dV}{dt} = \xi f_p \\ \frac{dS}{dt} = V \end{cases}$$

Съгласно (1.2) се съставя алгоритъмът, представен на фиг. 1.1.

Задачата се свежда до решаване на обикновени диференциални уравнения от типа $y' = f(x, y)$. Съставянето на алгоритъма се базира на *теоремата за съществуване и единственост на решението на диференциалното уравнение*. Основна идея е

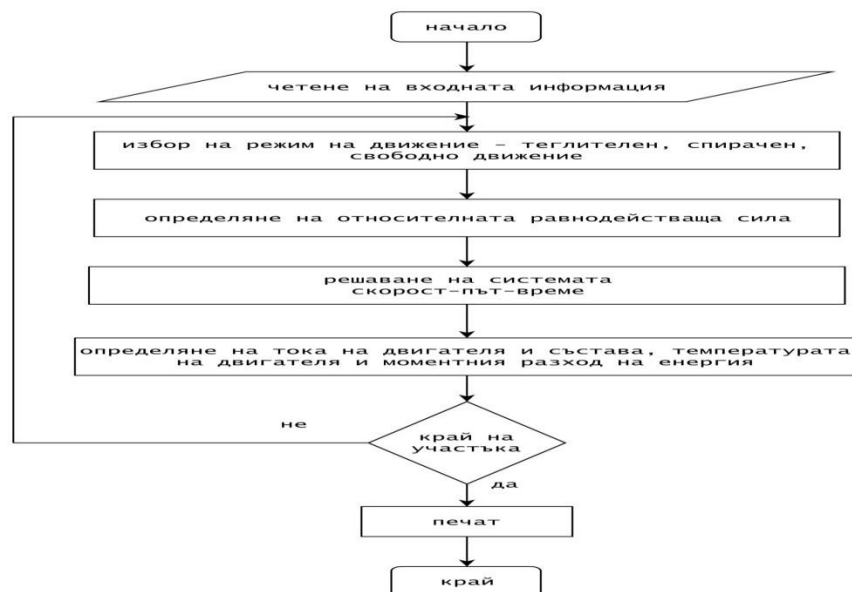
предположението, че в достатъчно малък интервал, дадена непрекъсната функция може да се приближи с линейна [3].

Методът на Ойлер е метод от първи ред. Той се изразява в приближено изчисление на следващата точка, въз основа на получената скорост на изменение на функцията в текущата точка. Свежда се до построяване на начупена линия, която се разглежда като приближено изображение на търсената интегрална крива. Този метод показва задоволителни резултати при работа с малка стъпка на интегрирането. При достатъчно малки интервали на изменение на скоростта може да се приеме, че силата има постоянна средна стойност в дадения интервал. Така горната система приема вида:

$$(1.3) \begin{cases} V_{n+1} = V_n + \Delta t \bar{f}_p \\ s_{n+1} = s_n + \Delta t \bar{V} \end{cases} .$$

Точността на получените резултати е толкова по-голяма, колкото са по-малки приетите интервали за изменение времето. Така при малка стъпка времето на изчисление се увеличава.

Методите на Рунге-Кута, представляват фамилия от числени методи, при която методът на Ойлер е идентичен с този на Рунге-Кута от първи ред. Методите от по-висок ред се състоят от няколко етапа на изчисление на наклона на функцията между текуща и следваща времева стойност. Тя се определя, като усреднена стойност чрез приближено пресмятане в ред на Тейлър. Най-известният РК метод е РК4 – метод на Рунге-Кута от 4-ти ред. Той предлага добър баланс между точност и бързина на изчислението. Методите на Рунге-Кута от по-висок от 4-ти ред стават относително по-сложни за изчисление [3].



фиг. 1.1

2. Изходни данни

Изходните данни за програмата са - относителните равнодействащи /теглителна, съпротивление на движение и спирачна/ сили,. Характеристиките ток /на ТД и състава/, във функция на скоростта. Характеристиката прегряване на ТД във функция на тока. Типът на спирачната система. Приблизителното тегло на състава. Наклоните, кривите и дължините на съответните участъци.

3. Моделиране на силите на движение

При режимите на движение, транспортното средство се ограничава от редица показатели. Основните от тях са ограничение по сцепление, по ток, по максимална скорост, по максимално пусково и спирачно ускорение и други. Пусковите ускорения при ЕТС се ограничават от редица фактори – мощност на тяговите двигатели, условия по сцепление, физиологически въздействия върху пътуващите и др. Ограничението по мощност води до създаване на определена максимална теглителна сила \hat{F} , на която съответства равнодействаща ускоряваща сила $F_p = \hat{F} - W$. Максималното ускорение, което може да реализира съставът ще бъде

$$(3.1) \quad \left(\frac{d\hat{V}}{dt}\right)_p = \frac{\hat{F}-W}{m_G} = \frac{g}{1+\gamma} \frac{\hat{F}-W}{1000G} = \xi(\hat{f} - w)$$

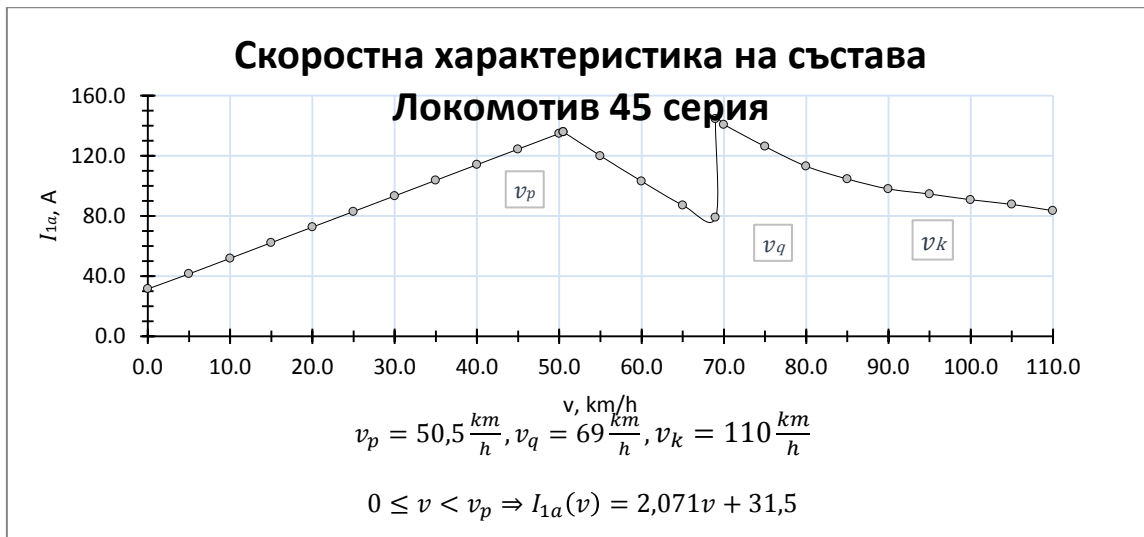
От друга страна е известно, че максималната теглителна сила зависи от условията на сцепление и за нормалното протичане на процеса е необходимо да се спази условието

$$(3.2) \quad \hat{F} \leq F_{\text{сц}} = P_{\text{сц}} \Psi$$

След заместване на (3.2) в (3.1) за максималното допустимо ускорение по сцепление се получава

$$(3.3) \quad \left(\frac{d\hat{V}}{dt}\right)_p = \frac{g}{1+\gamma} \frac{1000P_{\text{сц}} \Psi - W}{1000G} = \xi \left(\frac{1000P_{\text{сц}} \Psi}{G} - w \right)$$

За построяването на теглителната характеристика получените ограничения по ток и сцепление играят много важна роля, тъй като заедно представляват една от кривите, описваща механичната характеристика. Зависимостта между силата и скоростта обикновено се дава не аналитично, а графично [1], тъй като кривите за различните режими имат нелинеен характер. Този метод не гарантира голяма степен на точност, но тя е достатъчна за целите на изследването. Именно поради този факт *степенният показател* на получените полиноми се избира да бъде *равен на 3*. Получените изрази се залагат в паметта на програмата. На фиг. 3.1 е дадена характеристиката на локомотив 45 серия. Получените полиномни изрази се залагат в паметта и алгоритъма на програмата.



Фиг.3.1.

Спирането е процес, основната задача на който е да се намали скоростта на движение до нула или до стойност под ограничението по скорост за даденият участък. Осъществяването на спирачния режим се основава на превръщането силите на триене в спирачните механични устройства в спирачна сила. Полиномите са съставени по същият алгоритъм както при теглителните сили. Аналогично са съставени полиномни

интерполации на зависимостта съпротивление на движение и прегряване на тяговите двигатели и разхода на енергия. Използвани са зависимостите дадени в [1,2]. Когато се правят тягови изчисления трябва да се има в пред вид и ограничението по скорост в зависимост от наклоните на пътя. Аналогично са получени и другите необходими характеристики.

4. Симулация

За примерно изчисление е избрана симулацията на движение на ж.п. състав при тегло на състава 920 тона и 23 км разстояние, макс. наклон 13%. Резултатите са показани на фиг. 4.1-4.4.



5. Резултати и изводи.

Времето за изминаване на 23,67 км е около 25 минути или средна скорост 57.13 км/ч, максимална скорост 88 км/ч. Разход на енергия 35,75 Wh/t.km. Прегряването на ТД достига 100 °С. При очаквана лятна температура например 35 °С, температурата на двигателя ще бъде 135 °С, а температурният резерв - 45 °С.

Тези резултати са близки до реалните, което показва, че макар и без да предявява претенции за точност, програмата може да се ползва като методическа, за онагледяване на резултатите в рамките на обучението по дисциплината „Електрически транспорт“, както и при приблизителни инженерни изчисления.

Литература:

[1] Любомир Б. Българанов, Тодор И. Йонов. Ръководство за проектиране по електрически транспорт, София, 2010г.

[2] Пеню Т. Минков. Електрическа тяга, София, 1988г.

[3] Димова Ст., Т. Черногорова, А. Йотова. Числени методи за диференциални уравнения, Университетско издателство „Св. Климент Охридски“, 2012г.

PROGRAM FOR CURRENT CALCULATIONS

Todor Yonov, Vasil Dinev
todyon@tu-sofia.bg

*Technical University of Sofia, Faculty of Electrical Engineering, Department ECEOET
Sofia pk 1156, Kl. Ohridski №8
BULGARIA*

Key words: *traction calculations, motion curves, motion equation*

Abstract: *This article presents the results of a computerized tracing program using a personal computer in order to obtain the transport current, speed and time characteristics depending on the road. When eliminating the road, the characteristics of the traction motor current, trailer current and the energy consumption of a given stretch depend on the travel time. With the help of the traction calculations, a number of tasks are solved, both with the initial design of sections in electric transport and with their further operation. In the latter, it is necessary to check whether it is possible to increase the bandwidth of the sections and increase the average speed. In the learning process for which it is primarily intended, the program will serve to illustrate the results of the calculations as well as to set different variations of the output data - mainly road inclines to track the average speed, overheating of traction and consumption of energy to pass the section. Within the programming, the methods for solving the motion equation by polynomial approximation according to the Euler and Runge-Kuta methods are considered. The characteristics are resilient: motion resistance, traction, braking and free movement, grip limits and maximum speed. It should be noted that without claiming high accuracy of the results and although the main purpose is to be used in the learning process, the program gives to a great extent a real view of the changes of the obtained output quantities when changing the output data.*