

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЪЗМОЖНОСТИТЕ ЗА РЕАЛИЗАЦИЯ НА ФИНИТНО УПРАВЛЕНИЕ ПРИ ПОЗИЦИОНИРАНЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ВАГОНЕТКИ

Людмил Попов, Васил Димитров
lucy6@abv.bg, vdimitroff@abv.bg

**Висше транспортно училище “Тодор Каблешков”
1574 София, ул. „Гео Милев“ № 158
БЪЛГАРИЯ**

Ключови думи: позиционни системи, вагонетки, маса, сила на съпротивление

Резюме: В съвременните системи за управление на различни електрически транспортни средства често се налага точно позициониране. Съществено значение тогава играе определянето на скоростта при позициониране, която зависи от редица случайни фактори. Оптимизацията на процесите води до значително повишаване на производителността и енергийната ефективност на транспортните средства.

Съществуват тежки транспортни средства с нерегулируемо електро-задвижване, които събират товар от различни източници и го доставят на определено място. Такъв е например т. нар. шихтовоз (електрическа вагонетка), който поема различни материали (руда, шихта, добавки и т.н.) и трябва да ги достави в отвора на доменната пещ за получаване на чугун. Точността на позициониране е важно условие в такива случаи, но зависи от редица смущаващи въздействия. При индиректната идентификация на смущенията се вземат под внимание промените на контролирани параметри в резултат от появата на смущение, като обикновено се използват величини, лесни за измерване с помощта на датчици – ток, напрежение, преместване, скорост и др. При позиционни системи появата на смущения влияе главно върху точността на позиционирането. В тази връзка целите на доклада се свеждат до извеждане на зависимости, даващи възможност за изчисляване на параметрите на обекта - масата на вагонетката и съпротивлението ѝ при движение. Разработена е методика за провеждане на експеримент и оценка на точността.

ВЪВЕДЕНИЕ

Задача на финитното управление е осигуряването на определени начални и крайни условия при протичането на контролирания процес – целта е привеждане на обекта до зададено крайно състояние в зададен момент от време или привеждане на обекта от зададено начално в зададено крайно състояние за ограничено време.

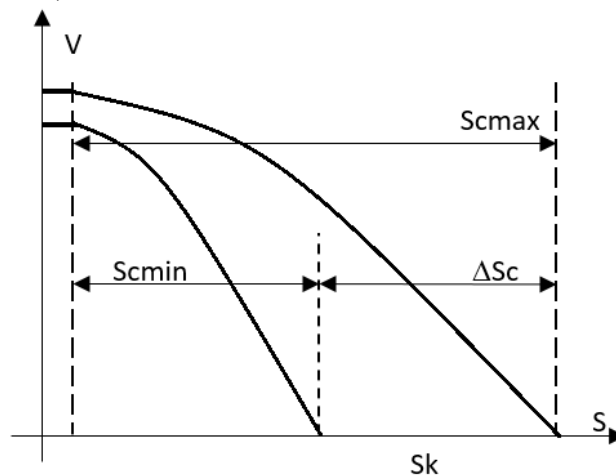
Финитно управление е наложително да се прилага при позициониране на транспортни средства. Оптимизацията на процесите при спиране и позициониране води до значително повишаване на производителността и енергийната им ефективност [3, 4].

ОБЩИ СВЕДЕНИЯ ЗА ПОЗИЦИОННИТЕ СИСТЕМИ

В различните производствени отрасли качеството на обработваната продукция се определя от позиционни системи. В зависимост от зададената скорост на движение, обектът, който трябва да бъде позициониран, изминава по-голям или по-малък път при различен товар, т.е. получава се грешка при спиране ΔS_c . Тя се дефинира като разлика между максималния (S_{cmax}) и минималния (S_{cmin}) спирачен път [1]:

$$(1) \quad \Delta S_c = S_{cmax} - S_{cmin}$$

Спираният път е разстоянието, изминато от работния орган на механизма, от зададената точка S_0 на задействане на пътния апарат, даващ команда за спиране, до точката на окончателно спиране, която се намира в зона с ширина ΔS_c около точката на предназначение S_k (фиг.1).



Фиг. 1. Максимален и минимален спирачен път

ПОСТАНОВКА НА ЗАДАЧАТА

В минните и добивните предприятия от ключово значение за целия работен процес е ефективният и качествено организиран транспорт. В зависимост от производствения процес, в едно минно или добивно предприятие могат да се използват товароподемни кранове, релсови пътища с вагонетки с електрическа или друга тяга, безрелсови транспортни средства (електрокари, колички и др.); машини за висещ транспорт (еднорелсови висещи линии, въжени линии), машини за непрекъснат транспорт с гъвкави теглителни органи (лентови транспортъори, елеватори и др.), машини за непрекъснат транспорт без гъвкави теглителни органи (винтови, инерционни и гравитационни транспортъори), пневматични транспортни машини, хидравличен транспорт и т. н. [5]. В случай на използване на релсови пътища с вагонетки, при процеса на товарене и разтоварване трябва да се контролира положението на вагонетката спрямо отвора за насипване на материала, степента ѝ на запълване, положението ѝ спрямо отвора за разтоварване и др.

Действителният спирачен път на вагонетката зависи основно от скоростта (от която започва спирането) и от съпротивителния момент на товара [1]. Точността на позициониране зависи от два типа смущаващи въздействия: главни и случайни.

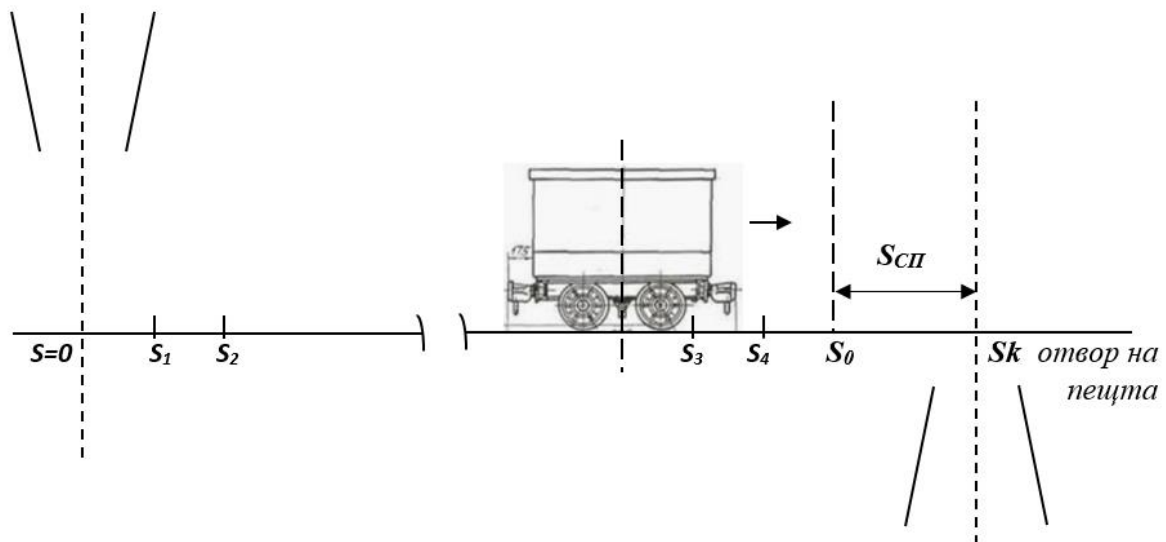
Главни смущения са най-вече измененията в масата на товара. Като следствие на тяхното влияние е отклонението от зададената скорост на транспортното средство.

Случайните смущаващи въздействия могат да бъдат колебанията на напрежението и честотата в захранващата мрежа, на околната температура, изменението на триещия момент вследствие състоянието на релсите и др. С цел

опростяване на схемните решения или при трудности в отчитането на някои въздействия, при проектирането се вземат техните гранични стойности [1, 3, 4].

В доклада се разглежда самоходна релсова електрическа вагонетка без възможност за регулиране на скоростта на движение, предназначена за пренасяне на различни съставки на шихтата от съответните зарядни позиции до пункта за разтоварване (отвора на дъговата пещ). Необходимо е извеждане на зависимости, даващи възможност за изчисляване на параметри на този обект, а именно – на масата на вагонетката и на съпротивлението при движението ѝ. Задвижването е с еднофазен асинхронен двигател [8], като за целите на провежданите експерименти към захранващите релси е свързан измервателен уред (ИУ) с възможност за връзка с компютър или PLC.

Независимо от сравнително невисоките на пръв поглед изисквания по отношение на точността на позициониране, редица съображения, свързани с производителността и плавната работа на транспортното средство, налагат осигуряването на мерки за точното му спиране (фиг. 2). За целта са избрани хоризонтални участъци от пътя (т. S_1, S_2, S_3, S_4 и S_0), в които са монтирани сензори за позиция [6, 7], свързани към управляващото устройство (компютър или PLC).



Фиг. 2. Схема на пътя на вагонетката от точката на товарене до точката на разтоварване

Тази задача се усложнява от различната маса на обекта (т.е. от изменението на механичната му инерция) и от съществуващата различна стойност на съпротивителната сила при движението му в различните случаи на зареждане. Тогава ще се променят параметрите в уравнението на движение на вагонетката [2]:

$$(2) \quad F_T - F_C = m \cdot a ,$$

където F_T и F_C са съответно тяговата и съпротивителната сили при движението; m и a са съответно масата и ускорението на вагонетката.

АЛГОРИТЪМ НА ИДЕНТИФИКАЦИЯ НА ПАРАМЕТРИТЕ

Неизвестните параметри на линейно движещия се електромеханичен обект (за всяка конкретна вагонетка) се идентифицират по следния алгоритъм:

В т. $S_1 - S_4$ се взема информация от ИУ за електрическата мощност P на задвижването на вагонетката.

В началото след потеглянето на вагонетката ($S=0$) се измерват времената за достигане до точка S_1 и след това до точка S_2 . Това е случай на ускорително потегляне,

т.е. $a \neq const$ и $F_C = const$. След като е известен пътят до S_1 и S_2 и са измерени времената за достигане, могат да се определят ускоренията:

$$(3) \quad a_1 = \frac{S_1}{t_1^2}; a_2 = \frac{S_2 - S_1}{t_2^2}$$

Следователно за точки S_1 и S_2 са известни P_1 и P_2 (и кпд η), както и a_1 и a_2 . За тези две точки уравнението на движение има следният вид:

$$(4) \quad F_{T1} = F_C + ma_1 = \frac{\eta P_1}{m};$$

$$F_{T2} = F_C + ma_2 = \frac{\eta P_2}{m}.$$

Изваждането на двете уравнения (4) дава:

$$(5) \quad m = \frac{F_{T1} - F_{T2}}{a_1 - a_2} = \eta \cdot \frac{P_1 - P_2}{m(a_1 - a_2)} \Rightarrow m = \sqrt{\eta \cdot \frac{P_1 - P_2}{a_1 - a_2}},$$

а събирането им с отчитане на (5):

$$(6) \quad F_C = \frac{F_{T2}a_1 - F_{T1}a_2}{a_1 - a_2} = \eta \cdot \frac{P_2a_1 - P_1a_2}{m \cdot (a_1 - a_2)}.$$

При движение в установен режим (точки S_3 и S_4) се измерва времето за движение между тях – t . Оттук се намира скоростта V – това е началната скорост, от която започва процесът на спиране $V_{нач.}$:

$$(7) \quad V = \frac{S_4 - S_3}{t} \approx V_{нач}$$

Тук движението е равномерно и следователно ускорението $a = 0$. Тогава теглителната сила е равна на съпротивителната сила: $F_T = F_C$. В този момент еднофазният асинхронен двигател на задвижването работи на естествената си характеристика [8], т.е. мощността е приблизително равна на номиналната $P \approx P_H$. Точната стойност се измерва от ИУ. Теглителната сила може да се определи контролно в случая като отношение на мощността към масата на вагонетката по (4).

След определянето на контролираните величини става възможно да се изчисли необходимото за конкретния случай спиращо усилие по уравнението [2]:

$$(8) \quad F_{СП} = m \cdot a_{СП} - F_C$$

В това уравнение m и F_C вече са определени от идентификационната процедура съгласно изрази (5) и (6). Що се отнася до необходимото ускорение при спиране $a_{СП}$, същото може да се определи от изходната постановка, че спиращият процес ще бъде с постоянно ускорение (фиг. 3). Трябва да се има предвид, че в точка S_0 на задействане на пътния апарат се изключва тяговото задвижване и се задейства механична спиращка с възможност за регулиране на спиращата сила, която се поддържа постоянна през целия спиращ процес. От фиг. 3 следва:

$$(9) \quad a_{СП} = \frac{V_{нач}}{t_{СП}},$$

където $t_{СП}$ е времето на спиращия процес. Доколкото същият е с постоянно отрицателно ускорение, следват очевидните връзки:

$$(10) \quad S_{СП} = V_{СП\text{ ср.}} \cdot t_{СП}, \text{ но}$$

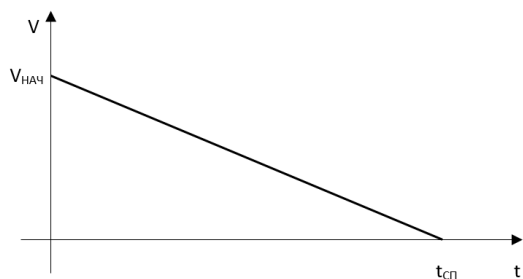
$$(11) \quad V_{СП\text{ ср.}} = \frac{V_{нач}}{2}$$

Следователно

$$(12) \quad t_{СП} = \frac{2S_{СП}}{V_{нач}}, \text{ и}$$

$$(13) \quad a_{СП} = \frac{V_{нач}^2}{2S_{СП}};$$

където $S_{СП}$ е предварително известният и задаван чрез пътния датчик фиксиран спиращ път, $V_{нач}$ е изчислено по израза (7).



Фиг.3. Спирачен процес с постоянно ускорение

Заместването на (13) в (8) дава :

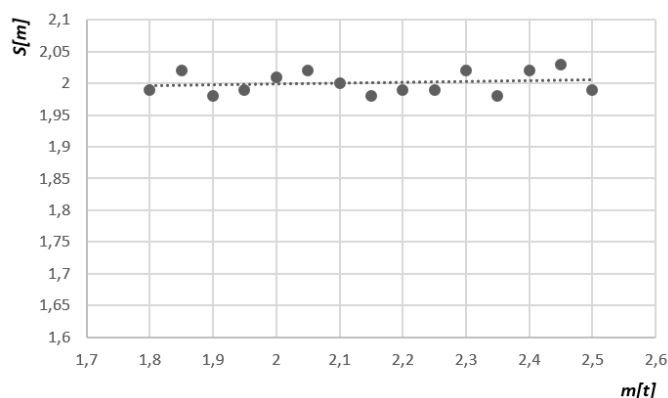
$$(14) \quad F_{СП} = m \frac{V_{НАЧ}^2}{2.S_{СП}} - F_C .$$

Еднозначно определеното от фиксирания спиращен път време на процеса на спиране регламентира управлението в случая като финитно.

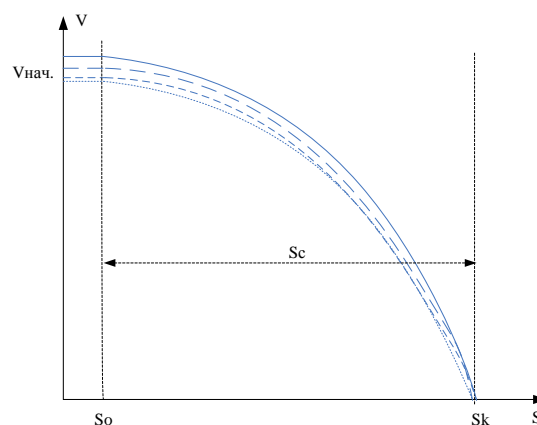
Към датчика в точка S_0 е монтиран предавател, който от една страна подава сигнал за изключване на тяговото задвижване и за задействане на спиращката, а от друга – задава стойността на спиращната сила. Сигналите се прочитат от приемник, намиращ се във вагонетката, в резултат на което се задейства процесът на точно спиране със съответната спираща сила $F_{СП}$.

СИМУЛАЦИЯ НА МОДЕЛА

Реализиран беше компютърен симулационен модел на така синтезираната система за финитно управление, като масата на шихтовоза беше варирана в широки граници – от 1,8 до 2,5 t (фиг. 4-а), поради което спиращият процес започва от различна скорост $V_{нач}$. (фиг. 4-б). Независимо от това грешката при спиране във всички случаи беше в границите 10 – 20 см, като необходимото спиращо усилие варираше съответно от 1,65 до 2,3 kN.



Фиг.4-а. Спирачен процес в зависимост от съпротивителния момент на товара



Фиг.4-б. Спирачен процес в зависимост от началната скорост

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В доклада е разработена методика за идентификация на масата m и силата на съпротивление F_C на тежка транспортна вагонетка с цел реализация на финитно управление. По така определените стойности на масата и съпротивителната сила може да се планира спиращия процес, като по този начин се гарантира спиращен път, довеждащ количката до точното място на спиране.

Посочените процедури дават възможност обектът (тежка транспортна вагонетка) и неговото управление да бъдат моделирани с висока точност на базата на разработените методи за оперативна идентификация за решаване на различни класове

оптимизационни задачи. Методиката може да се използва при реализация на финитно управление на различни транспортни средства без възможност за регулиране на скоростта на движение.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Йорданов С., Автоматизация на производствените механизми, Техника, София, 2003
- [2] Българанов Л., Електрически транспорт, София, 2009
- [3] Димитрова Е., Управление и контрол на пространствено разсредоточени обекти в транспорта и енергетиката, Монография, Годишник на ВТУ „Тодор Каблешков”, 2016
- [4] Стефанов С., Е. Димитрова, Особенности на транспортните позициониращи системи в режим на реално време, Н.сп., „Механика, Транспорт, Комуникации“, т.16, бр.3/2, 2018
- [5] Транспортни системи за мини, сп. Инженеринг ревю, брой 3, 2011
- [6] Leontiev V., M. Bichurin, R. Petrov, N. Kolesnikov, S. Bozhkov, I. Milenov, and coll. Researching the characteristics of the magnetoelectric position sensor for automotive application., XXth Int. Symp. SIELA 2018, Proceedings, 2018
- [7] Тодоров Ю., Р. Вълков, Модерни методи и средства за извършване на комплексни измервания на железния път и съоръженията, Н. сп. „Механика, Транспорт, Комуникации“, т.14, бр.3/3, ст.1346, 2016
- [8] Еднофазни асинхронни двигатели, Каталог, ММotors JSC, 2016

STUDY OF THE POSSIBILITIES FOR THE IMPLEMENTATION OF FINIT CONTROL IN POSITIONING OF ELECTRIC WAGONETS

Lyudmil Popov, Vasil Dimitrov
lucy6@abv.bg, vdimitroff@abv.bg

Todor Kableshkov University of Transport – Sofia
158 Geo Milev Str., Sofia 1574,
BULGARIA

Key words: *positioning systems, wagonets, mass, resistance force*

Abstract: *In contemporary systems for control on various electric vehicles, precise positioning is often required. Then an important role plays the determination of the positioning speed, which depends on a number of random factors. Optimization of the processes leads to a significant increase in the productivity and energy efficiency of the transport vehicles.*

There are heavy electrical-driven vehicles (with non-regulatable drive) that collect loads from different sources and deliver them to a specific location. These are the so-called “wagonets” that takes up materials (ore, batch, additives, etc.) and has to deliver them to the blast furnace bore to produce cast iron. The accuracy of positioning is an important condition in such cases, but it depends on a number of disturbing impacts. During the indirect identification of disturbances, the changes in controlled parameters as a result of the occurrence of a disturbance are taken into account. Parameters that can be easily measured using sensors are usually used – current, voltage, displacement, velocity, etc.

In positioning systems, the occurrence of disturbances mainly affects the accuracy of positioning. In this aspect, the aim of the paper is to deduce dependencies that allow for the calculation of object parameters, namely the mass of the wagonet and its movement resistance. A methodology of tests and assessing accuracy is also developed.