



---

## ОБНОВЯВАНЕ НА МЕХАНИЗМИ ЗА ПЪТУВАНЕ НА ТОВАРОПОДЕМНИ КРАНОВЕ В СЪОТВЕТСТВИЕ С НОВИТЕ ЕВРОПЕЙСКИ СТАНДАРТИ

Калин Радлов<sup>1</sup>, Драгомир Вражилски<sup>1</sup>, Лъчезар Лазов<sup>2</sup>, Красимир Кръстанов<sup>3</sup>  
[radlov\\_fce@uacg.bg](mailto:radlov_fce@uacg.bg), [vrajilski\\_fce@uacg.bg](mailto:vrajilski_fce@uacg.bg), [llazov@tu-sofia.bg](mailto:llazov@tu-sofia.bg), [kkrastanov@vtu.bg](mailto:kkrastanov@vtu.bg)

<sup>1</sup>УАСГ – София 1164, бул. Христо Смирненски № 1,

<sup>2</sup>ТУ – София 1000, бул. „Кл. Охридски“ №8

<sup>3</sup>ВТУ-Тодор Каблешков, София 1574, ул. Гео Милев №158  
БЪЛГАРИЯ

**Ключови думи:** механизъм за пътуване, товароподемен кран, електрическо оборудване, обновяване

**Резюме:** Настоящата разработка разглежда основни въпроси възникващи в процеса на обновяване на механизмите за придвижване, разположени върху пътуващия обект, при товароподемни кранове. Разгледани са част от важните изисквания, които трябва да бъдат спазени при вземане на целесъобразни решения, относно подбора на нови електродвигатели за оборудване на механизмите за пътуване на крановете в съответствие с новите европейски стандарти. Представени са основните теоретични предпоставки за изчисляването на необходимата статична мощност, динамична мощност и обща мощност, както също и препоръките на някои от производителите на товароподемни кранове, относно направата на проверочно изчисляване на необходимата приведена мощност за избраните електродвигатели. Описани са основните технически параметри и критерии за извършване на оценката на съответствието на избраното ново оборудване за механизмите за пътуване в съответствие със съвременните изисквания, а именно: критерии за проверка по необходим номинален въртящ момент на електродвигателя, критерии за проверка по необходим среднопусков въртящ момент на електродвигателя и проверка по необходим спирачен момент на механизма за пътуване, която се извършва съгласно два критерия: критерии за осигуряване на плавно спиране и критерии за осигуряване на необходимия момент за задържане на спирачката. При проверките по необходим номинален въртящ момент на електродвигателя са разгледани също и зависимостите за изчисляване на реално реализирания номинален въртящ момент на вала на избрания нов електродвигател, необходимия статичен момент на вала на двигателя при потегляне на механизма за пътуване, необходимия статичен момент на вала на двигателя при спиране на механизма за пътуване и необходимия общ момент (статичен+динамичен) на вала на двигателя при потегляне. Накрая е направено заключение, което обобщава по-важните моменти от извършената работа в настоящата разработка.

## 1. ВЪВЕДЕНИЕ

Товароподемните кранове се едни от най-често използваните средства за механизация на товаро-разтоварните и монтажните работи в производствените цехове и предприятия, както и във всички видове строителство. Напоследък все повече нарастват изискванията, от гледна точка на подбор на високоефективно и икономично електрическо оборудване, при извършване на процеси по обновяване и модернизация на крановете, както и се засилват нормативните изисквания за строго съблюдаване на предписанията в новите Европейски стандарти.

Правилният подбор на ново електрическо оборудване с адекватни, на съвременното развитие на краностроителната индустрия, технико-икономически показатели за съществуващите кранове, оказва силно влияние не само върху размера на необходимите разходи за модернизацията на крана, но и върху последващите експлоатационни разходи за използването, поддръжката и ремонта на крана.

## 2. ПРОВЕРКА НА ИЗБРАНИЯ ДВИГАТЕЛ ПО НЕОБХОДИМА МОЩНОСТ

Обновяването на електродвигателите на товароподемни кранове служещи за придвижване на пътуващите обекти върху които са разположени механизмите обикновено не е свързано с промяна на кинематичната схема на механизма, което налага ограничения върху избора с цел запазване на някои кинематични и конструктивни параметри на двигателя или в случай на тяхната промяна, ако това е възможно се налагат допълнителни изисквания към електрическата система за захранване които усложняват допълнително поставената задача. Най-често такива ограничения се поставят върху броя чифтове полюси и върху габаритните размери на корпуса на електродвигателя. Тези ограничения предпоставят основната изчислителна проверка на избрания електродвигател да е проверката за развиваната от двигателя еквивалентна мощност.

Проверката на мощността на избрания двигател за механизма за пътуване обикновено се извършва въз основа на общата мощност (статична и динамична). В по-редки случаи (когато динамичната мощност има незначително малки стойности) се допуска да се извършва проверка само по статична мощност.

### 2.1. Изчисляване на необходимата статична мощност

Необходимата статична мощност се изчислява по установената зависимост:

$$P_{ST} = \frac{(W_{II} + W_H + W_W) v_{п\ddot{u}T}}{1000 \cdot \eta_{п\ddot{u}T}}, [kW]$$

Където  $\eta_{п\ddot{u}T}$  е общ КПД на трансмисията на новия (обновения) механизъм за пътуване;

$v_{п\ddot{u}T}, [m/s]$  – номиналната скорост на пътуване на крана/количката;

$W_H, [kN]$  – съпротивление от наклон, което се изчислява по зависимостта:

$$W_H = \beta \cdot g \cdot (m_{II} + m_T), [kN]$$

където  $\beta$  е допустим наклон на релсовия път в  $\beta[rad]$ ; Обикновено се приема допустим наклон:  $\beta = 0.005[rad]$  - за кулокранове;  $\beta = 0.003[rad]$  - за козлови и пристанищни кранове;  $\beta = 0.001[rad]$  - за релсов път на мостов кран, който е положен върху стоманени или стоманобетонни греди;  $\beta = 0.002[rad]$  - за релсов път на кранова количка;  $\beta = 0.001[rad]$  - за телфери; [1];

$W_{\Pi}, [kN]$  - съпротивление на пътуване, което се изчислява по зависимостта:

$$W_{\Pi} = w.g.(m_{\Pi} + m_T), [kN]$$

където  $m_{\Pi} [kg]$  е собствена маса на пътуващия обект (включва масата на моста и масата на крановата количка);

$m_T [kg]$  – маса на товара;

$w$  - специфично съпротивление при пътуване, което може да се приеме приблизително равно на тангенсът от ъгъла на триене при търкаляне, който при товароподемните кранове е в границите  $1,2^{\circ} \div 0,6^{\circ}$  в зависимост от диаметъра на ходовите колела, като по-големите стойности на ъгъла на триене се отнасят за ходовите колела с по-малки диаметри;

$W_w, [kN]$  - съпротивление, дължащо се на силата на вятъра, при установено движение на крана (за кранове работещи на открито), което се определя съгласно стандарт БДС EN 13001-2 [2].

## 2.2. Изчисляване на необходимата динамична мощност

Необходимата динамична мощност на механизма за пътуване се изчислява съгласно зависимостта:

$$P_{DYN} = \frac{(m_T + m_{\Pi}) \cdot [a] \cdot v_{\Pi BT}}{1000}, [kW]$$

Където  $[a]$  – максималното допустимо закъснение/ускорение на крана. То може да бъде определено съгласно нормативните изисквания и стандарти, или по проектни данни, като за изчисленията на необходимата динамична мощност трябва да се ползва най-неблагоприятната (най-високата) стойност;

В някои случаи при които обновяването на механизма не е свързано с модернизация и не се променя електрическата схема на захранване на двигателя към динамичната мощност за ускоряване на крана трябва да се прибави и динамичната мощност от масовите инерционни моменти на конструктивни елементи присъединени към кинематичната верига на механизма за пътуване с цел да се разреши проблема с вискоите стойности на динамичните параметри на процеса на спиране и довеждането им до стойности допустими от нормативните документи.

## 2.3. Изчисляване на необходимата обща мощност

Препоръките на някои от производителите на товароподемни кранове са за избраните електродвигателите да се направи проверочно изчисляване на необходимата приведена мощност и обща мощност  $P_{OB}, [kW]$  по формулата:

$$P_{ДВ} \geq \max \left\{ P_{OB} = \frac{1.2 * P_{DYN} + P_{ST}}{1.6}, [kW] ; P_{ST} \right\}$$

В по-редки случаи, предимно в случаите на кратковременна работа на механизмите, е необходимо проверката да се извърши по приблизителни (ориентировъчни) пресмятания, като се използва съкратената формула:

$$P_{ДВ} \geq P_{OB} = P_{DYN} + P_{ST}, [kW]$$

Изчислената по-горе мощност представлява сумарната (обща) мощност за целия кран. За получаване на необходимата мощност на един механизъм за пътуване  $P_{OB.1}$ , е нужно получената стойност да се раздели на броят на механизмите за пътуване, с които е оборудван крана ( $n$ ) т.е.:

$$P_{OB.1} = \frac{P_{OB}}{n}, [W]$$

Ако в процеса на модернизация съществуват няколко възможности за избор на електродвигател от различни производители крайният подбор на конкретен модел двигател може да се направи като необходимата мощност за новия двигател трябва да се намира в интервала  $P_{НЕОБХ} = (0.8 \div 1.1) \cdot P_{OB.1} [W]$ :

Накрая се извършва проверката:

$P_{НОМ}' > P_{НЕОБХ} [kW]$ , където  $P_{НОМ}' [kW]$  е приведената мощност на избрания електродвигател за механизма за пътуване за режим на работа на електродвигателя S3;

В редки случаи е по-удачно (по-подходящо) избора на двигателя да стане не по пълната (общата) мощност, а само по статична мощност. Това обаче важи само за специалните случаи, при които са налице сравнително малки проектни скорости на движение и относително по-голямо време на придвижване на крана/количката. Тогава може да се приеме, че режима на работа на електродвигателя от механизма за пътуване е S1.

### **3. ПРОВЕРКА ПО НЕОБХОДИМ НОМИНАЛЕН ВЪРТЯЩ МОМЕНТ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ**

#### **3.1. Изчисляване на реално реализирания номинален въртящ момент на вала на избрания нов електродвигател**

При работа на механизма развиваният номинален въртящ момент на вала на избрания нов електродвигател се изчислява по зависимостта:

$$M_{НОМ.ДВ} = \frac{9550 \cdot P_{НОМ}'}{n_{ДВ}} [N.m]$$

където  $n_{ДВ} [min^{-1}]$  е номинална честота на въртене на електродвигателя;

$P_{НОМ}'$  – приведената мощност на електродвигателя към конкретните условия на работа определящи режима на работа на механизма;

#### **3.2. Изчисляване на необходимия статичен момент на вала на задвижващия двигател при потегляне на механизма за пътуване**

Статичният момент на вала на задвижващия електродвигател при потегляне се изчислява по зависимостта:

$$M_{СТ.ПОТ} = \frac{(W_{II} + W_H + W_W) * D}{2 * i_{PI} * \eta_{ПЪТ}}, [N.m]$$

където  $D, [m]$  е диаметърът на ходовото колело;

$i_{PI} [l]$  – предавателно число на редуктора на обновявания механизъм за пътуване;

Изчисленият по горната формула статичен момент представлява статичният момент за целия кран. За получаване на статичния момент при потегляне на един механизъм за пътуване  $M_{СТ.ПОТ.1}$ , е нужно получената стойност да се раздели на броят на механизмите за пътуване, с които е оборудван крана ( $n$ ) т.е.:

$$M_{CT.ПOT.1} = \frac{M_{CT.ПOT}}{n}, [N.m]$$

### 3.3. Изчисляване на необходимия статичен момент на вала на задвижващия двигател при спиране на механизма за пътуване

Статичният момент на вала на задвижващия двигател при спиране на механизма за пътуване се изчислява по зависимостта:

$$M_{CT.СП}' = \frac{\sum W * D * \eta_{ПЪТ}}{2 * i_{PI}}, [N.m]$$

И съответно за получаване на статичния момент при спиране на един механизъм за пътуване:

$$M_{CT.СП.1}' = \frac{M_{CT.СП}'}{n}, [N.m]$$

### 3.4. Изчисляване на необходимия общ момент (статичен+динамичен) на вала на задвижващия двигател при потегляне

В крайна сметка меродавен критерии за крайната оценка на номиналния въртящ момент, в повечето случаи, се оказва именно общия момент (статичен+динамичен) на вала на задвижващия двигател при потегляне, който се изчислява съгласно зависимостта, указана в БДС EN 13135 [3].

$$M_{НЕОБХ} = \frac{60 * (\sum W + k_{acc} * [a] * (m + m_L)) * v_{ПЪТ}}{2 * \pi * n_{ДВ} * \eta_{ПЪТ}}$$

където  $[a]$ ,  $m/s^2$  е максималното допустимо ускорение при пускане;

$k_{acc}$  - коефициент зависещ от работният цикъл, обикновено  $k_{acc} = 0,5 \div 1,0$ ;

$\sum W$  – обща сума от всички съпротивления върху механизма на пътуване;

$m_L, [kg]$  – маса на полезния товар (окачения товар);

$m, [kg]$  – еквивалентна маса на всички части на крана, които са приведени в движение (с изключение на окачения товар), която се изчислява по зависимостта:

$$m = m_0 + m_{ROT} * \eta_{ПЪТ}$$

$m_0 [kg]$  – маса на всички пътуващи обекти (с изключение на товара), които се движат/пътуват по същия начин (и със същата скорост), както товара;

$m_{ROT} [kg]$  – еквивалентна маса на всички въртящи се части, приведена към транслационно движение, която се изчислява по зависимостта.;

$$m_{ROT} = \frac{1}{91,2} * \sum \left( J_i * \frac{n_i^2}{v_{ПЪТ}^2} \right)$$

Където  $J_i [kg.m^2]$  – масов инерционен момент на „i-тата“ въртяща се маса;

$n_i [об / min]$  – обороти на въртене на „i-тата“ въртяща се маса.

И съответно за получаване на необходимия общ момент (статичен+динамичен) при пускане на един механизъм за пътуване:

$$M_{НЕОБХ.1} = \frac{M_{НЕОБХ}}{n}, [N.m]$$

Накрая се извършва проверката за достатъчност на номиналния въртящ момент на избрания нов електродвигател:

$$M_{НОМ.ДВ} \geq k_H \cdot M_{НЕОБХ.1}$$

Където  $k_H$  [1] е коефициент на сигурност. Съгласно БДС EN 13135 [3], за всички видове системи за хоризонтални движения, може да се приеме  $k_H = 1,1$ .

#### 4. ПРОВЕРКА ПО НЕОБХОДИМ СРЕДНОПУСКОВ ВЪРТЯЩ МОМЕНТ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Проверката за достатъчност на среднопусковия момент на избрания електродвигател, в общия случай се явява необходимото условие, за да може механизмът да потегли/статрира нормално за извършване на своята работа.

Необходимият среднопусков момент  $M_{СР.П}$  [N.m] на електродвигателя се изчислява по зависимостта:

$$M_{СР.П} = M_{СТ.ПОТ} + J_{П} \cdot \frac{\omega}{t_{П}}$$

Където  $t_{П}$  [сек] е времето за пускане на механизма за пътуване;

$M_{СТ.ПОТ}$  – статичен момент при потегляне (изчислен по формулата по-горе);

$J_{П}$  [kg.m<sup>2</sup>] – приведеният към вала на двигателя масов инерционен момент на механизма за пътуване при потегляне, който се изчислява по формулата:

$$J_{П} = \delta \cdot (J_{Р} + J_{С}) + J_{М} + \frac{m_{П} \cdot v_{ПЪТ}^2}{\omega^2 \cdot \eta_{ПЪТ}};$$

Където  $J_{Р}$  [kg.m<sup>2</sup>] е масов инерционен момент на ротора на двигателя;

$J_{С}$  [kg.m<sup>2</sup>] – масов инерционен момент на съединителя между двигателя и редуктора;

$J_{М}$  [kg.m<sup>2</sup>] – масов инерционен момент на маховика добавен в случаите когато трябва да се коригира динамиката на механизма;

$\delta$  – коефициент, който отчита масовите инерционни моменти на всички останали въртящи се части на механизма без този на специално добавен маховик, когато той е необходим. Обикновено се приема:  $\delta = 1,05 \div 1,25$

$m_{П}$  [kg] – масата на всички пътуващи обекти (кран+товар);

$\omega$  [rad/sec] – номиналната ъглова скорост на въртене на ротора на двигателя;

И съответно за получаване на необходимия среднопусков момент на електродвигателя на един механизъм за пътуване:

$$M_{СР.П.1} = \frac{M_{СР.П}}{n}, [N.m]$$

Накрая се извършва проверката за достатъчност на среднопусковия момент на избрания двигател:

$$M_{ДВ.МІN} \geq k_H \cdot M_{СР.П.1}$$

Където  $M_{ДВ.МІN}$  [N.m] е минималният момент на електродвигателя по време на пускане (Pull-up Torque)

#### 5. ПРОВЕРКА ПО НЕОБХОДИМ СПИРАЧЕН МОМЕНТ НА МЕХАНИЗМА ЗА ПЪТУВАНЕ

Проверката може да се извършва по няколко критерия, в зависимост от конкретните поставени проектни цели.

**5.1. Първи критерии** - първият критерии, по който се проверява спирачката е спирането да бъде извършено достатъчно плавно (т.е. да не е прекалено къс спирачният път):

Изчислява се минималното допустимо време за спиране:

$$t_{СП, \min} = \frac{v_{ПЪТ}}{[a]}, [\text{sec}]$$

където  $[a]$ ,  $m/s^2$  е максималното допустимо закъснение при спиране;

Стойността на необходимия спирачен момент, прилаган за спиране на целия пътуващ обект (кран/количка)  $M_{СП} [N/m]$ , позволяващ реализиране на необходимото време за спиране – ( $t_{СП} [\text{sec}]$ ) трябва да бъде:

$$M_{СП} = M_{ДИН} - M_{СТ.СП} = \frac{J_{П}}{t_{СП}} \cdot \omega - M_{СТ.СП}$$

$$t_{СП} = \frac{J_{П} \cdot \omega}{M_{СП} + M_{СТ.СП}} \geq [t_{ДОП}]$$

където  $M_{СТ.СП}$  е необходимият статичен момент при спиране (изчислен по формулата по-горе);

$M_{ДИН}$  – динамичен момент при спиране;

$J_{П} [kg.m^2]$  – приведеният към вала на двигателя масов инерционен момент при спиране, който се изчислява по формулата:

$$J_{П} = \delta \cdot (J_{P} + J_{C}) + J_{M} + \frac{m_{П} \cdot v_{ПЪТ}^2}{\omega^2} \cdot \eta_{ПЪТ};$$

И съответно за получаване на необходимия спирачен момент на един механизъм за пътуване:

$$M_{СП,1} = \frac{M_{СП}}{n}, [N.m]$$

В случай, че бъде избрана спирачка реализираща по-висок спирачен момент от така изчисления, то това би означавало, че спирането ще бъде извършвано за по-малко време от необходимото (т.е. ще е налице по-рязко спиране). Същевременно е необходимо спирачният момент който резлизира спирачката при задържане да бъде по-голям от момента изчислен по втория критерий. Възможното решение в този случай с спирачния процес да се реализира само чрез честотния инвертор захранващ електродвигателя с трифазен ток с управляема честота, настроен за управление на спирачен процес с време не по-малко от допустимото, а спирачката да служи само за задържане на крана в статично положение и да се включва едва след като товароподемния кран е напълно спрял. Другото по неблагоприятно решение което може да се приложи при липса на друга алтернатива е в кинематичната схема на механизма да се добави маховик, чийто масов инерционен момент е изчислен така, че нормативно изискваният спирачния момент за задържане на товароподемния кран да не предизвиква по бързо спиране от нормативно позволеното. Този вариант при който  $J_{M} > 0$  е най-неефективен и трябва да се пристъпва към него само ако всички други технически решения при които  $J_{M} = 0$  са изчерпани.

**5.2. Втори критерии** – вторият критерии по-който трябва да се подбира спирачката на механизма за пътуване е този, който изисква да бъде осигурен необходимия момент за задържане на спирачката (т.е. след като механизма е вече спрял).

От гледна точка на възможността за задържане (спиране) на вала на двигателя в стандарта БДС EN 13135 [3] се изисква необходим механичен спирачен момент, при който крана може да бъде задържан при максимален вятър в случай на отпадане на електрическото захранване, без при това дължината на спирачния път да бъде по-

голяма от пътя за ускоряване на крана. Условието за подбор на спирачния момент в този случай може ориентировъчно да се приеме:

$$M_{ст.сп.2} \geq 1,25.M_{ном.дв}$$

Това е необходимият минимален момент упражняван върху спирачния барабан, който трябва да се създава от спирачката при състояние на покой (т.е. при спрял механизъм);

Избраният спирачен момент  $[M_{ст.сп}]$  трябва да бъде достатъчно висок, за да осигури достатъчна сигурност при спиране на механизмите на крана, както и да се избегнат прекалено големи закъснения при спирането. От друга страна избраният  $[M_{ст.сп}]$  не трябва да има прекалено висока стойност, тъй като тогава спирането ще стане прекалено "рязко" и ще има много високи ускорения при спиране (критерий 1 е нарушен). Общото правило е, че при избор на спирачки, които реално се използват за спиране (а не само за позициониране и задържане) трябва да се спазва изискването

$$[M_{сп}] \leq M_{сп.1} = [N.m]$$

$$[M_{сп}] \geq M_{ст.сп.2} = [N.m]$$

В случаите, когато избраната спирачка има прекалено голям  $[M_{сп}]$ , то в работния проект за модернизацията на крана се допуска да има предписание за регулиране на  $[M_{сп}]$ , така че реализираният спирачен момент да попада в изчисления интервал на регулиране.

## 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящата разработка са разгледани основните въпроси при извършване на процес на обновяване на електрооборудване на механизми за пътуване на товароподемни кранове. Разгледани са част от основните принципи и изисквания, които трябва да бъдат спазвани за направа на правилен подбор на ново електрическо оборудване за механизмите за пътуване на крановете в съответствие с новите европейски стандарти. Описани са основните технически параметри и критерии за извършване на проверочни изчисления за оценка на съответствието на новото оборудване с изискванията на стандартите.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1.] Коларов Ив., М.Проданов, П.Караиванов. Проектиране на товароподемни машини. С., „Техника“, 1986г
- [2.] БДС EN 13001-2: 2014 “Безопасност на кранове. Общо проектиране. Част 2: Натоварвания”
- [3.] БДС EN 13135:2014 - Кранове. Безопасност. Проектиране. Изисквания за обзавеждането



# MODERNIZATION OF CRANE TRAVELLING MECHANISMS ACCORDING TO MODERN EUROPEAN STANDARDS

**K. Radlov<sup>1</sup>, D.Vrajilski<sup>1</sup>, L. Lazov<sup>2</sup>, K. Krastanov<sup>3</sup>**

radlov\_fce@uacg.bg, vrazilski\_fce@uacg.bg, llazov@tu-sofia.bg, kkrastanov@vtu.bg

*University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy – Sofia 1164, 1 Hristo  
Smirnenski Blvd.,  
Technical University – Sofia 1000, 8 Kl. Ohridski Blvd.,  
Todor Kableshkov University of Transport Geo Milev str. 158, 1574 Sofia,  
BULGARIA*

**Key words:** *travelling mechanism, hoist crane, electrical equipment, modernization*

**Abstract:** *The present paper deals with some questions, and their answers, which very often are arising, when performing a modernization process of crane travelling mechanisms. There are reviewed the important requirements, which have to be observed by selection of new electrical motors of crane travelling mechanisms according to modern European standards. There are reviewed a couple of basic theoretical principles, including calculation of necessary static power, dynamic power and total power, as well as recommendations of crane manufacturers, concerning check calculations of necessary power for selected electrical motors. There are presented the basic technical parameters and criteria, which have to be used by evaluation of selected new electrical equipment of crane travelling mechanisms, according to modern requirements, including: check criteria for necessary rated torque of electrical motor, check criteria for necessary average starting torque of electrical motor, as well as check criteria for necessary brake torque, which is performed according to two criteria: criteria for smooth stopping and criteria for necessary brake holding torque. Check criteria for necessary rated torque of electrical motor includes also calculations of: real rated torque at the shaft of selected new electrical motor, necessary static torque at the shaft of electrical motor during starting of travelling mechanism, necessary static torque at the shaft of electrical motor during stopping of travelling mechanism, as well as necessary total torque (static+dynamic) at the shaft of electrical motor during starting of travelling mechanism. Finally, a conclusion is given, which summaries the most important questions of the present paper.*