

Възможности за компютърно изследване на динамичните процеси в истабионарни режими на работа при релсово-колесните транспортни машини

Цветан Дамянов

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

РЕЗЮМЕ. Обект на изследване в работата е многомасова еласто-демпферирана система, каквато представлява математичният моделът на релсово-колесните влакове. Като инструмент за извършване на примерното симулационно изследване е използван специализираният блоков симулатор ITI-Sim 2.2. Резултатите могат да бъдат използвани за решаване на правата и обратна задача при параметриране на пусковите и спирачни режими на рудничните и промишлени влакове.

OPPORTUNITIES FOR COMPUTER MODELING OF DYNAMIC PROCESSES IN ISTATIONARY MODE OF OPERATION FOR RAIL-TRACK MACHINES

ABSTRACT. The operation of multi-mass elastic-damper system, which in fact represents the mathematical model of rail-track trains, is a subject of the present study. A specialized block simulator ITI-Sim 2.2 is applied as an instrument for the simulation modeling. Results may be applied for solving the direct and inverse problem for the parameters of starting and stopping regimes of trains in mining and industry.

Въведение

Обект на изследване в работата е многомасова механична система, каквато представляват на практика релсово-колесните влакове. В минната практика се експлоатират много транспортни системи от този вид, както в подземните, така и в откритите минни предприятия. Тъй като допълнителното силово натоварване в преходните процеси при потегляне (ускоряване) и спиране на подвижния състав е съизмеримо със статичните товари, изучаването на тези процеси чрез използване на инженерни компютърни програми е много перспективно по следните причини:

- може да се ускори процесът на аналитично изследване и да се решават с числени методи сложни и многовариантни задачи;

- могат да се използват инженерни CAD програми за изометрично моделиране от високо ниво и интегрирани с тях други програми за статичен структурен анализ на базата на метода на крайните елементи. По този начин могат да се моделират и изследват симулационно модели на големи и сложни машини;

- чрез софтуерни продукти, базирани на блоковото моделно симулационно изследване, като Simulink от Matlab или много мощната, силно специализирана и с много богата библиотека от инженерни данни, каквато е програмата ITI – Sim 2.2, могат да се определят кинематичните и силови параметри в истабионарни режими на много сложни машинни агрегати;

Тук ще бъдат илюстрирани възможностите на учебната версия на програмата ITI – Sim 2.2. с нейния базов модул и инструменталния блок "Механика" за изследване параметрите на динамичните процеси при пускане в движение на многомасова система, каквато представлява един примерен рудничен влаков състав при следните изходни данни:

- локомотив - 1бр., ЛКР 10 - $m_n = 10 \text{ т}$
- вагони - 2 бр., ВНР 2,8 - $m_v = 4 \text{ т}$
- средна динамична сила -

$$F_{\text{дин.ср.}} = F_T^l - W_{\text{вл}}^c = 1000 \text{ N}$$

— коефициент на еластичност на буферите -

$$C_b = 1.10^5 \text{ N / m}$$

— коефициент на демпфериране -

$$K_b = 1.10^5 \text{ N.s / m}$$

При тези изходни данни ще бъде извършено примерно симулационно изследване на истабионарен пусков режим на работа (потегляне) на тази тримасова механична система в среда на ITI – Sim според изложената по-долу последователност.

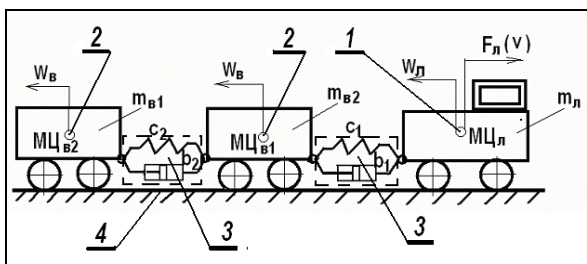
Особености на структурата и параметриране на системата

Структурно-функционалната схема на системата е показана на Фиг.1, а нейните елементи са означени както следва:

Като механична система това е отворена кинематична верига от дискретни маси 1 и 2, свързани с еластично-демпфериращи връзки - буферно-прикачните устройства - 3. Позиция 4 представя линеен участък от релсовия път.

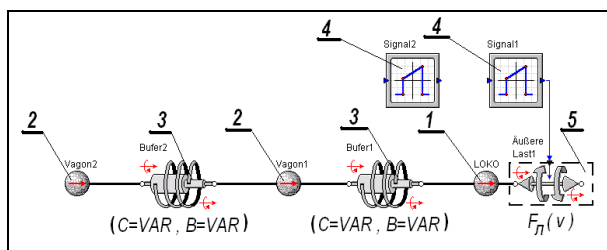
Силовото натоварване от статичните съпротивления при движение на вагоните W_v и на локомотива W_n е разпределено между отделните елементи (вагоните и локомотива) в технич масови центри МЦ, а движещата (теглителна) сила $F_n(v)$ се създава в случая само от локомотива.

При изследване на тежки промишлени влакови композиции съставени и от самоходни вагони, теглителната сила може да бъде разпределена и приложена и към дискретните маси на вагоните.



Фиг. 1.
1-локомотив, 2-вагони, 3- буферно прикачни устройства, 4- релсов път

На фиг. 2 е показана символно чрез инструментите на програмата ITI-Sim 2.2 структурата на системата както следва:



Фиг. 2.
1-блок-локомотив, 2-блок-вагони, 3-буферен блок, 4-сигнал-генераторни блокове, 4-блок-силово натоварване

Както се вижда от фиг. 2.1., симулационният модел на системата съдържа освен възлите, които представляват кинематичната верига (масови, еластични, демпфериращи и силови), допълнително и немеханично генерирани блокове, които са необходими за дефиниране на разнообразни задаващи функции на входящата величина, в случая – на теглителната сила.

Методика

Известно е от теорията за движение на влака, че оптимизирането на пусковия процес е от голямо значение за технико-експлоатационните параметри на транспортната машина (влак). Установено е и доказано е също, че равноускорителния режим на потегляне е напълно задоволителен от гледна точка на токово и механично натоварване на системата на задвижване. Такъв пусков режим се постига теоретично чрез поддържане на постоянна теглителна сила, а от там и на постоянно ускорение. Известно е още, че всички моментни промени в големината на ускорението при потегляне ще предизвикат и пропорционални изменения в динамичните сили, които натоварват системата.

Водещата цел в това примерна изследване на описания обект е именно функцията на ускорението. Съществената част от изследователската методика представлява провеждане на серия от симулационни пускови процеси с различна по вид функция на теглителната сила, както е описано по-горе. По този начин са осъществени пет серии на симулация на системата като за всички се регистрират функциите на скоростта $V(t)$ и на ускорението $j(t)$ за локомотива и за един или повече вагони.

Методиката на научното изследване е изцяло в съответствие с набелязаните по – горе предпоставки, цели и начини за осъществяването им.

Уравнението, което описва движението на системата, представено в матрична форма, има вида

$$M \cdot \ddot{\vec{x}} + B \cdot \dot{\vec{x}} + C \cdot \vec{x} = \vec{F}(t) \quad (1.1)$$

където $\vec{x} = [x_1(t) \ x_2(t) \ x_3(t)]^T$ - е вектора на обобщените координати

M , B и C са съответно матрицата на масите, демпферирането и коравината, т.е.:

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} b_1+b_2 & -b_2 & 0 \\ -b_2 & b_2+b_3 & -b_3 \\ 0 & -b_3 & b_3 \end{bmatrix} \quad (1.2)$$

$$C = \begin{bmatrix} c_1+c_2 & -c_2 & 0 \\ -c_2 & c_2+c_3 & -c_3 \\ 0 & -c_3 & c_3 \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

Векторът $\vec{F}(t)$ е динамичната сила, която в този числен пример е постоянна, тъй като са приети опростяващите допускания, че системата за управление може да формира такава функция на изменение на двигателния момент през пусковия период, която ще осигури равноускорителен или друг по-благоприятен пусков процес. Една от възможностите за решаване на тази задача е използването на SIMULINK от MATLAB. Другата – е численото интегриране да се извърши с инструментите на ITI-Sim 2.2, както това е направено в следващата част от работата.

На фиг. 2, се вижда, че симулационният модел на системата съдържа освен възлите, които представляват кинематичната верига (масови, еластични, демпфериращи и силови), но и немеханичните генераторни блокове, които са необходими за дефиниране на разнообразни задаващи функции на входящата величина, в случая – на теглителната сила.

Параметрирането на модела е извършено в съответствие с методиката за изпитване и се състои от два етапа:

I етап

– Задаване на действителната маса според началните условия на всеки масов възел от структурната блок-схема (вагони или локомотив), както и маркиране на опцията за протоколиране на кинематичните величини (преместване, скорост и ускорение на масовия център). По този начин се осигурява възможност за отчитане на моментните стойности на тези величина във всеки момент от времето за симулация.

– Задаване на параметрите на еласто-демпфериращите свързващи блокове (буфери) в системата, както и на същата опция за протоколиране на резултатите.

– Задаване на големината и посоката на динамичната компонента на двигателната (теглителната) сила на локомотива.

II етап

– Уточняване на вида на независимата променлива кинематична величина (сила, скорост, ускорение или преместване), както и на нейната функция от времето (конс-

танта, полиномна, периодична, експоненциална или импулсна).

— Избор на директно програмно задаване през съответния възел от структурната схема или косвено формиране на задаващата функция посредством сигнал-генераторен блок.

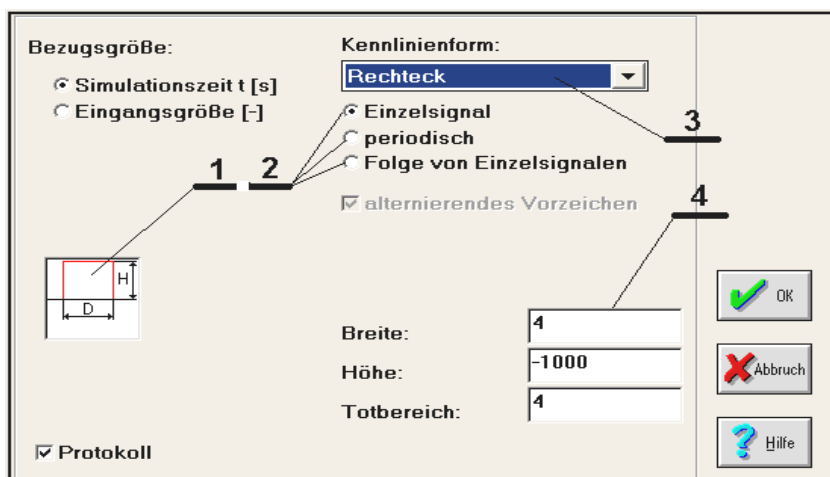
След преценка на целите на този пример за приложение на програмата ITI – Sim 2.2 в областта на рудничните релсово-колесни транспортни машини, беше възприета методиката за симулиране на динамичен преходен процес при потегляне и ускоряване на описаната примерна влакова композиция, състояща се от един локомотив ($M_L = 10000\text{kg}$) и два вагона ВНР 2,8 ($M_B^T = 4000\text{kg}$) със зададена импулсна форма на динамичната компонента на теглителната сила.

Резултати и анализ на резултатите от изследването

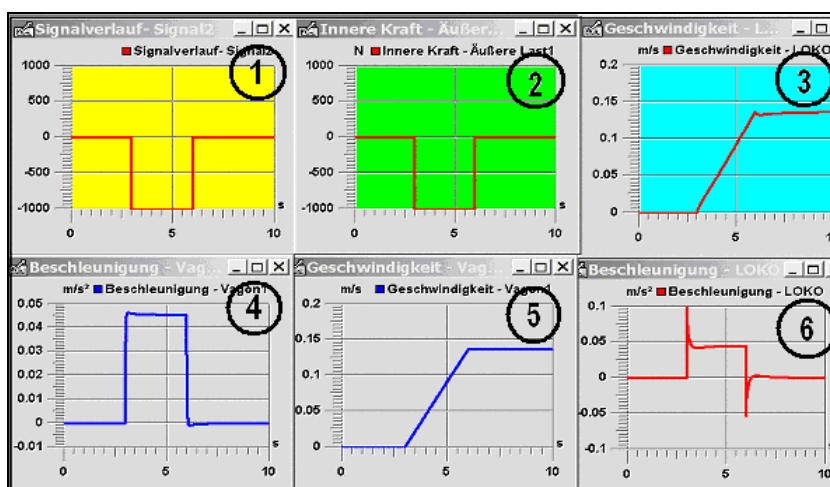
Всички резултати са систематизирани и представени в графичен вид на фиг. 3 до фиг. 14 и могат да бъдат разделени в същите групи както при параметрирането, според

вида на функцията $F_{\text{ДИН}}^D = f(t)$. Тези предпоставки отговарят на следните реални за практиката случаи на пускане при потегляне на рудничните електролокомотиви с постоянна големина на теглителната сила:

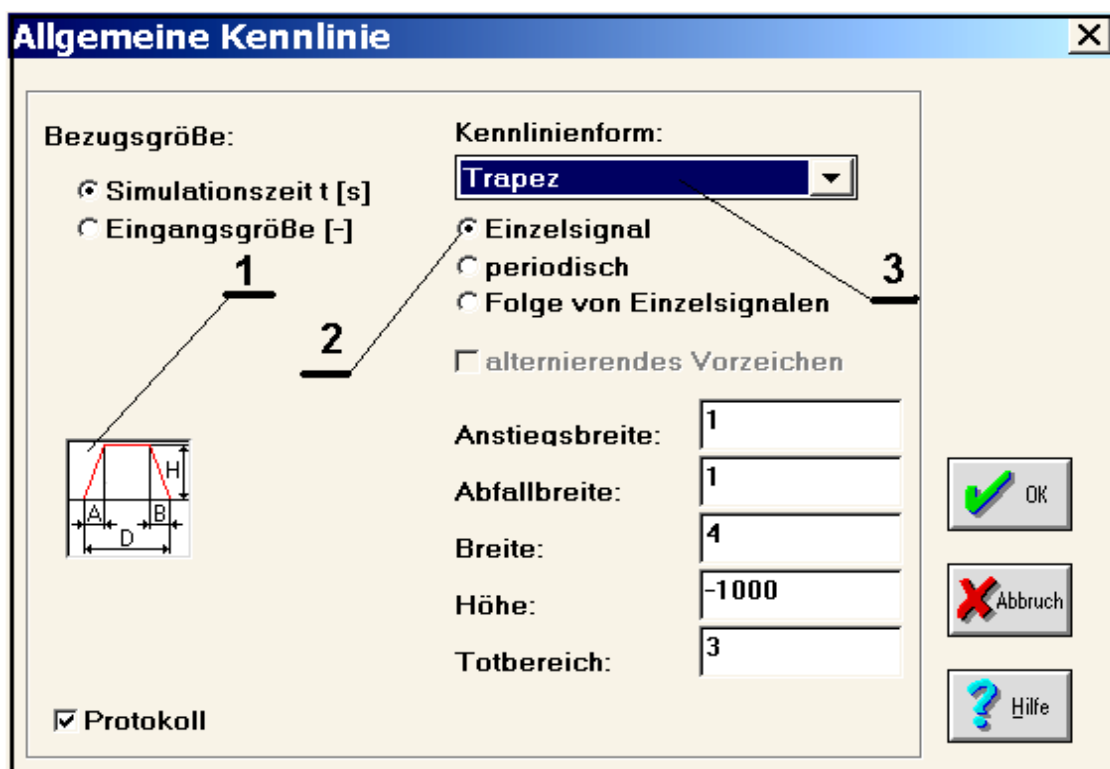
1. **Правоъгълен** импулс на $F_{\text{ДИН}}^D = f(t)$ и амплитуда (-1000N при действие на опън) и ширина $t_{\text{И}} = 6\text{s}$ - виж фиг. 3 и фиг. 4, позиция 1 и 2.
2. **Трапецовиден** импулс със същата амплитуда и ширина $t_{\text{И}} = (3 \times 2)\text{s}$ - виж. фиг. 5 и. фиг. 6, позиция 1 и 2.
3. **Синусов** импулс с амплитуда (-1000N) и ширина $t_{\text{И}} = 4\text{s}$ - виж фиг. 7 и фиг. 8, позиция 1 и
4. **Гаусов** импулс със същата амплитуда и ширина $t_{\text{И}} = 4\text{s}$ - виж. фиг. 2.9 и фиг. 2.10, позиции 1 и 2.
5. **Сплайн** – правоъгълен или с друга форма, която се задава в табличен вид чрез стойностите на характерни точки – същата амплитуда и $t_{\text{И}} = 2\text{s}$ - виж фиг. 11, 12, 13 и 14.



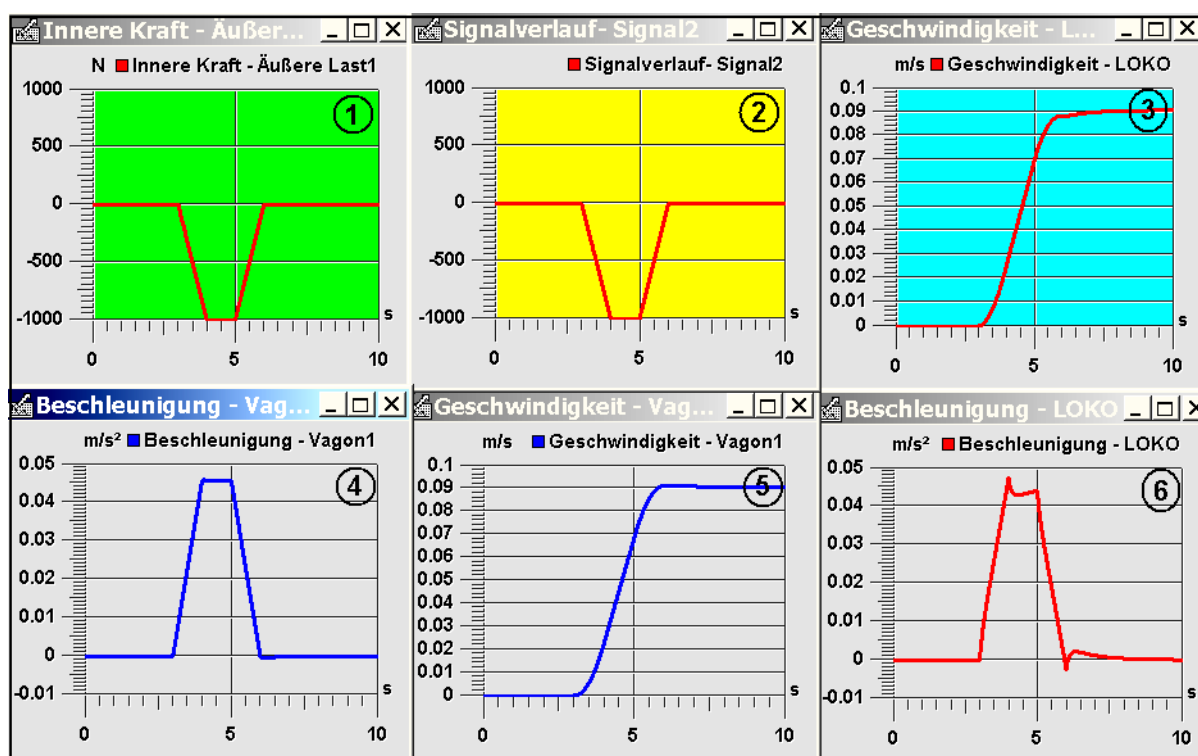
Фиг. 3.



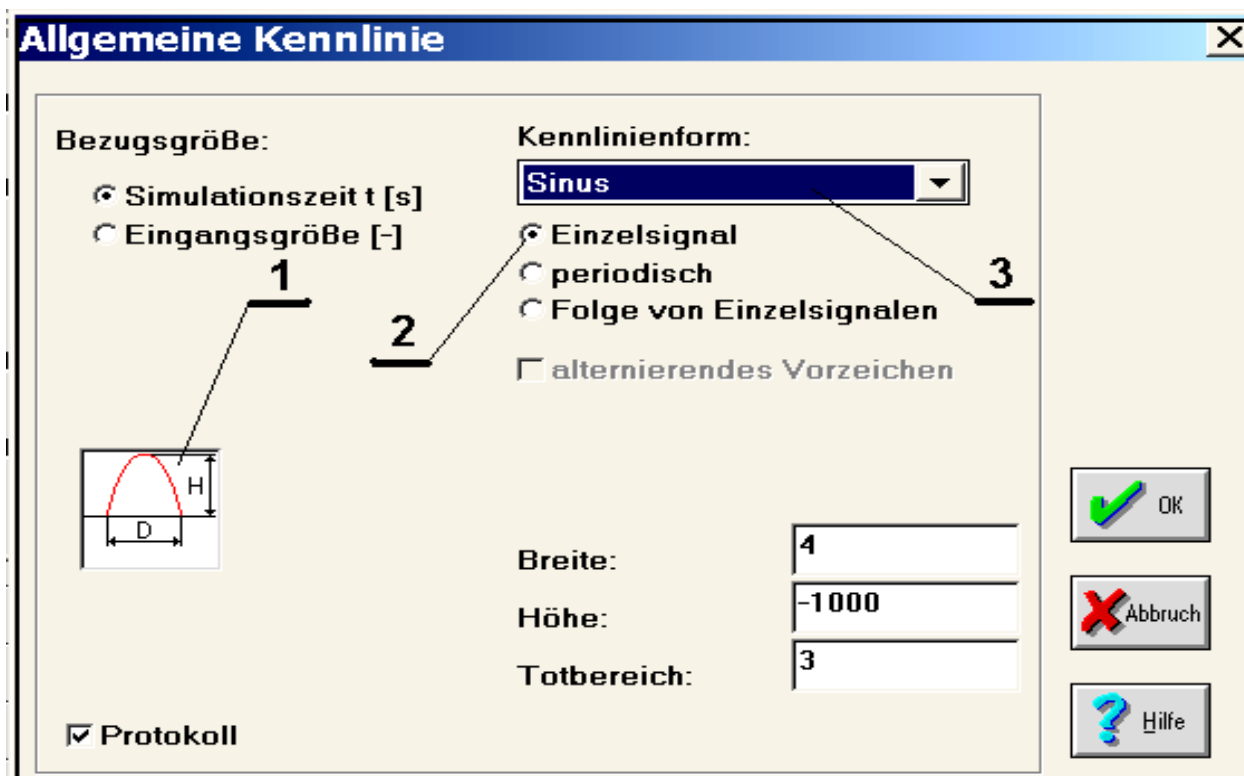
Фиг.4.



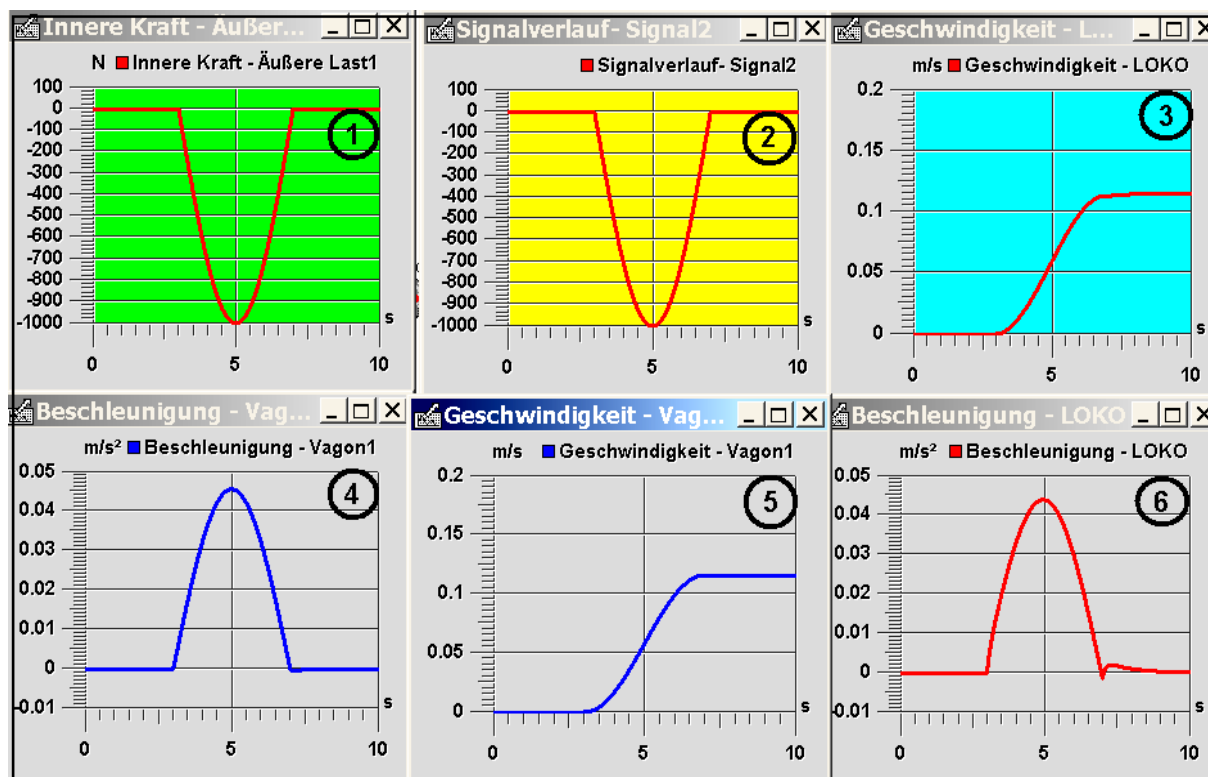
Фиг. 5.



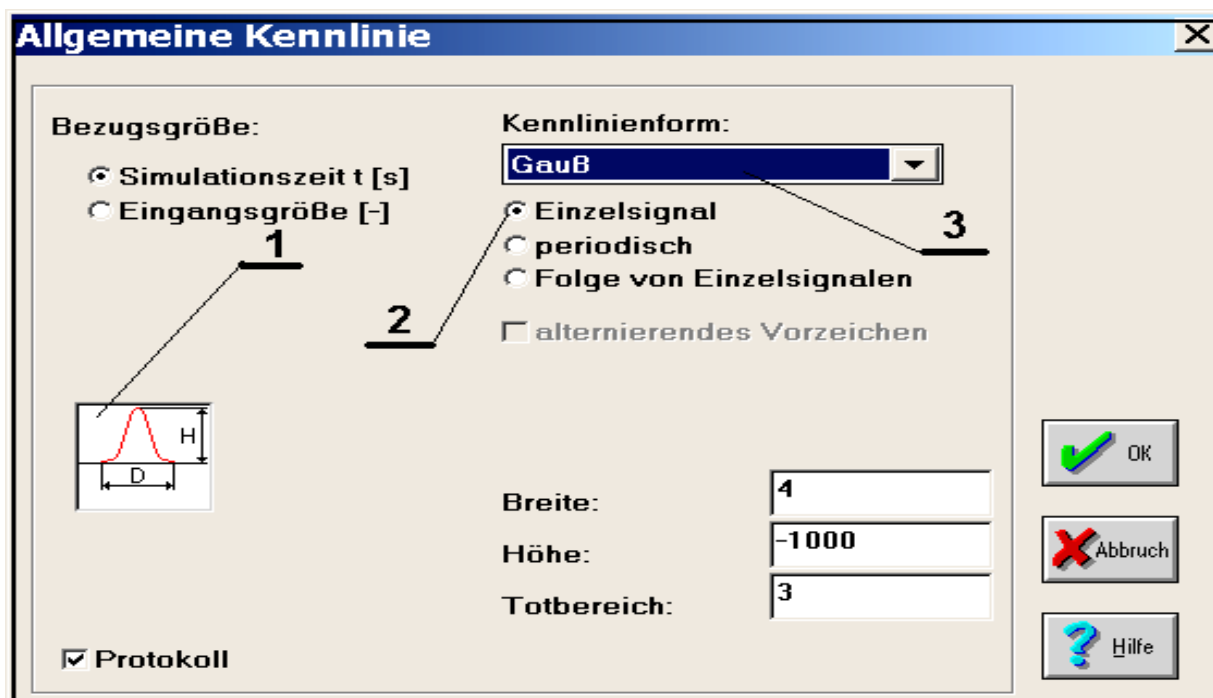
Фиг. 6.



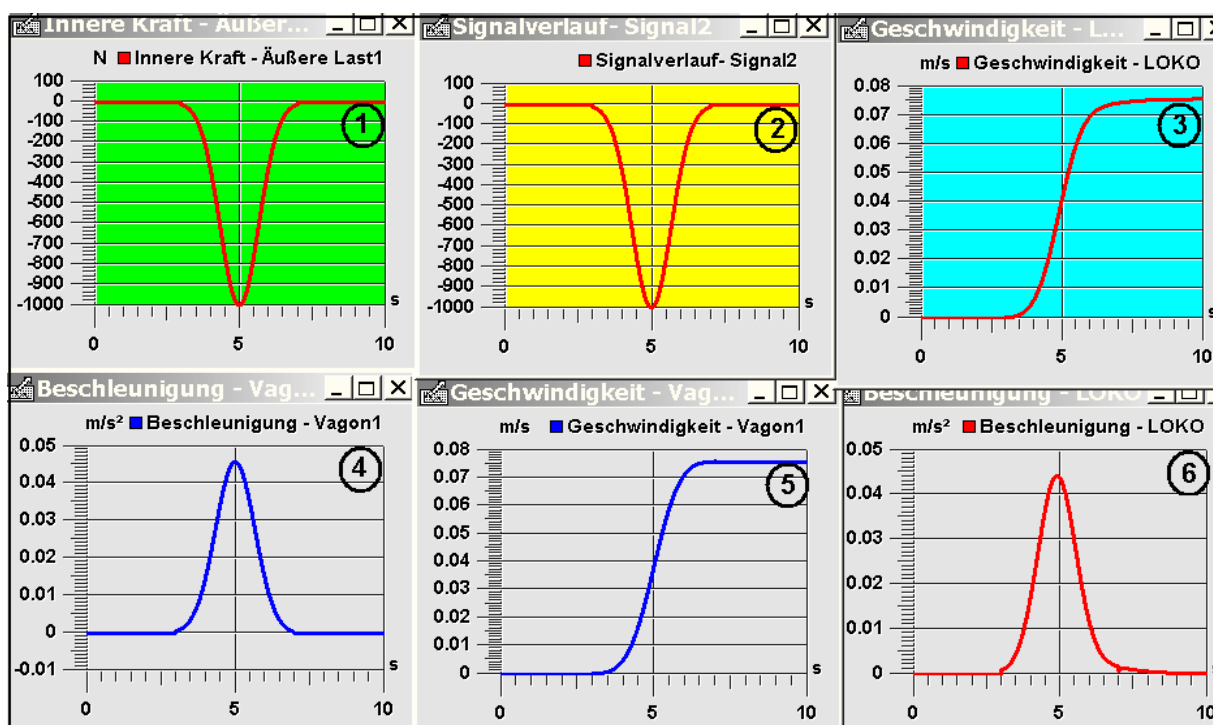
Фиг. 7.



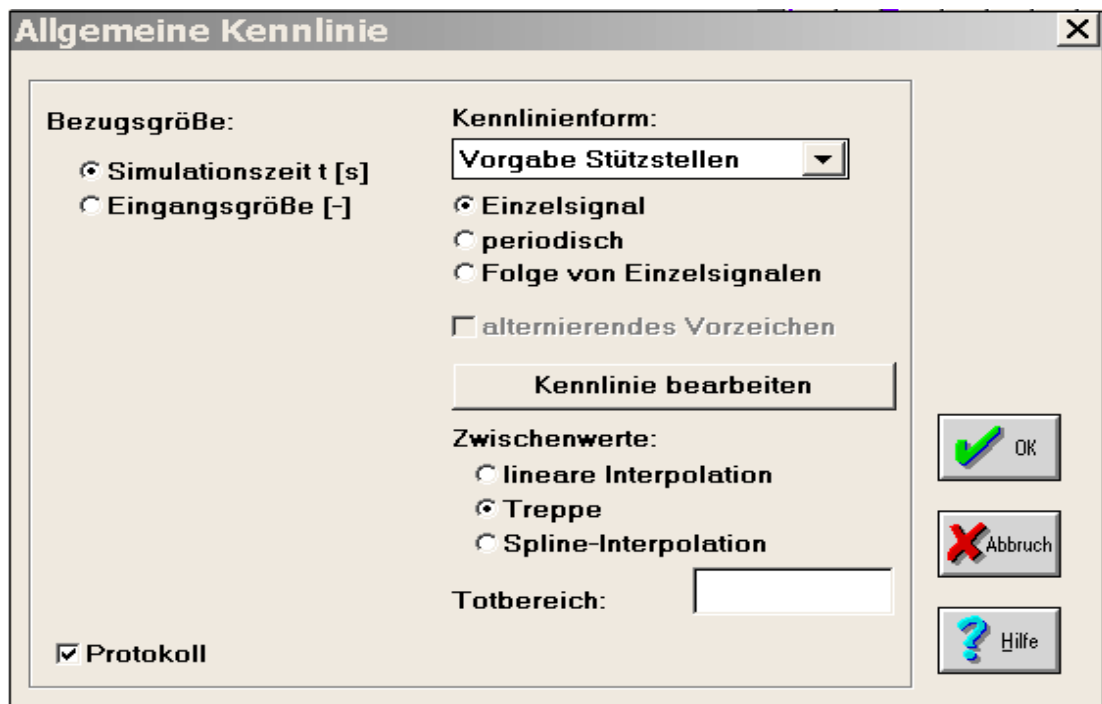
Фиг. 8.



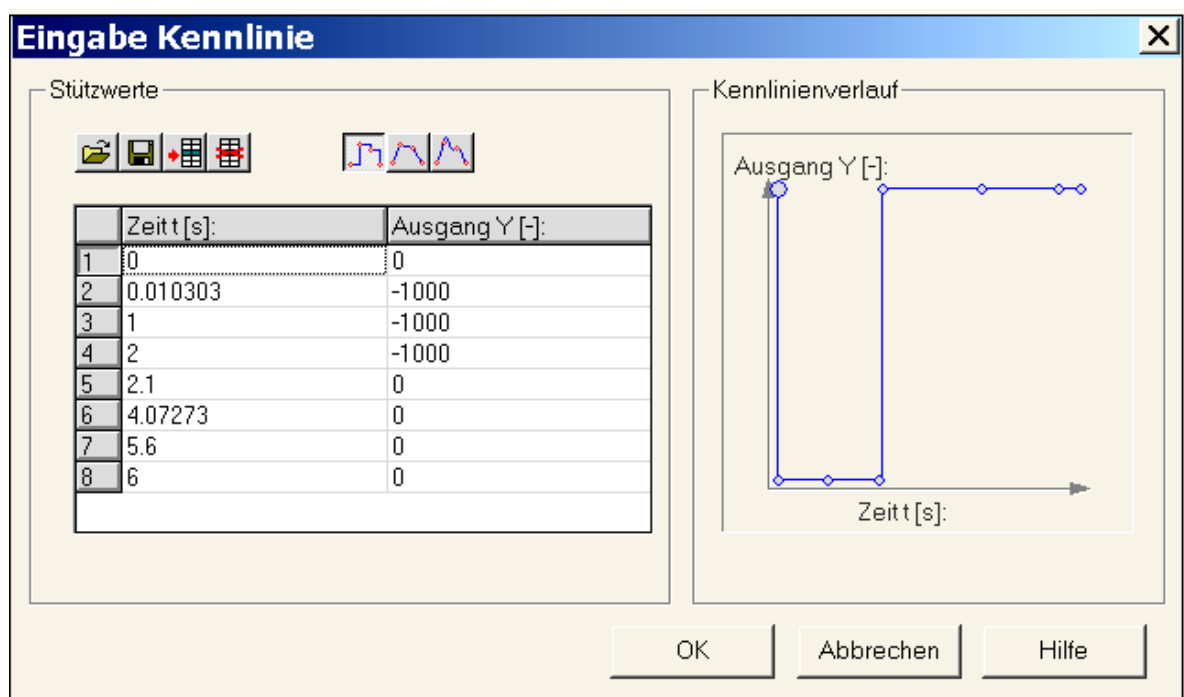
Фиг. 9.



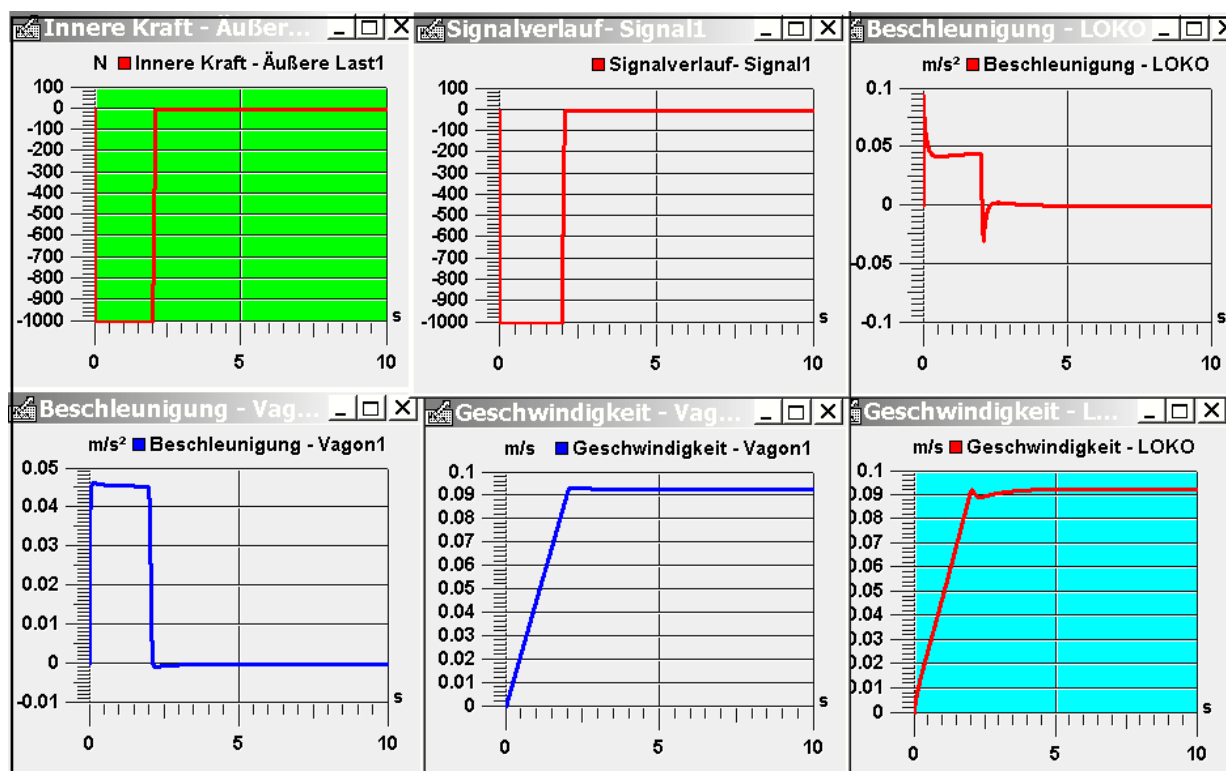
Фиг. 10.



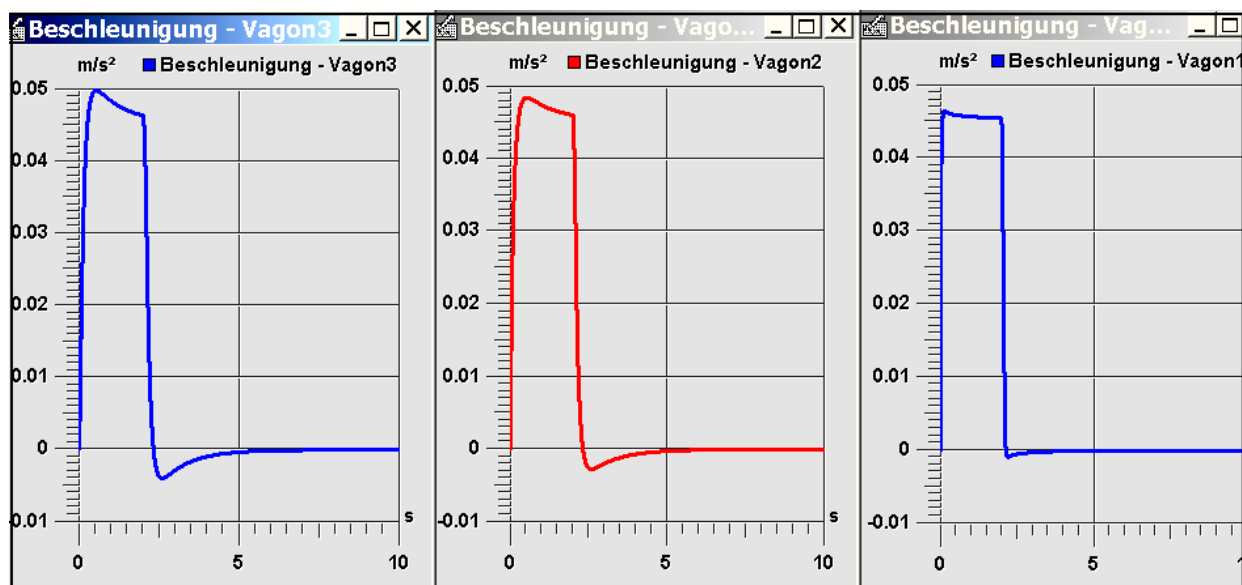
Фиг. 11.



Фиг. 12.



Фиг. 13.



Фиг. 14.

Още в първата серия на експерименталните изследвания беше установено несъответствие между очакваната теоретична и получената функция на ускорението на локомотива – фиг. 3, позиция 6. Отнася се до пиковите отклонения на кривата на ускорението на локомотива, които имат значителна (почти 100 %) амплитуда спрямо установената стойност. Тъй като изследването е извършено върху примерен модел на механична система със значително по-голяма еластичност на прикачните устройства от тази каквато имат в действителност, може да се направи извод, че за практическите условия на работа, това деформиране на кривата $J^n = f(t)$ е несъществено.

От гледна точка на детайлното изследване на преходните процеси, с цел подобряване на управляващата функция на системата за управление и оптимизиране параметрите на пусковите режими, посочените неблагоприятни особености на функцията $J^n = f(t)$ са значими.

В това примерно изследване е показано как с вариране на формата на управляващата функция, която се генерира от сигнал-генераторния блок може да се повлияе положително върху рязкостта на пусковия процес (виж фиг. 4, поз. 3 и фиг. 10, поз. 3 и поз. 6).

Заклучение

В резултат на извършеното компютърно моделно изследване на динамичните процеси при руднични влакови състави с методите на симулацията и инструментите на програмата ITI-Sim 2.2, може да се направи следното обобщение:

1. Създадена е методика за изследване на много-масови механични системи в стационарни режими чрез компютърна симулация на релсово-колесни минни транспортни машини.

2. Практическото приложение на този метод за решаване за решаване на конкретни задачи от областта на оптимизирането на механични преходни процеси, чрез намаляване на тяхната динамика, може да има значителен технико-експлоатационен и икономически резултат.

Литература

Иванов А. *Моделиране на динамични задачи*, София, АтеНово 2001.
Минков П. *Електрическа тяга*, София, 1992.