Vibrovesera kustības vadības izpēte

Sandra Veinberga[1], Mārtiņš Greiškāns[2], Mārtiņš Irbe[3], Dmitrijs Ribaks[4]
[1–4]*Rīgas Tehniskā universitāte*

Kopsavilkums. **Tiek aplūkota vienas brīvības pakāpes vibrotrieciena vesera vertikāla kustība. Kā vadības ierosmes spēka izmaiņa pieņemta laika vai fāzu koordinātu funkcija. Izpētīti kustības stabilitātes jautājumi vibrotriecienu režīmos. Noskaidrotas adaptīvās vadības (fāzu koordinātu funkcijas) priekšrocības. Dotas rekomendācijas kustības vadības sintēzei reālā sistēmā ar divu sensoru palīdzību (t.i., ar koordinātas un ātrumu sensoru izmantošanu).**

Atslēgas vārdi: **adaptīvs ierosmes spēks, harmoniska ierosme, kustība fāzu plaknē, vibroveseris.**

I. IEVADS

Mūsdienās automatizācijas procesi ir neatņemama ražošanas sastāvdaļa. Automatizējot procesu, iespējams samazināt darbaspēka izmaksas, palielināt iekārtas darba produktivitāti un nodrošināt darba izpildes kvalitāti.

Darba mērķis ir izpētīt dažādas vibrovesera vadības ierosmes funkcijas un analizēt to darbības iespējas.

Vairumā vibrācijas mašīnu ir īpatnība – dinamisko kustību nenoteiktība no to ierosmes darbības struktūras. Tas nozīmē, ka objektu kustība ir atkarīga no sistēmas un ierosmes parametriem, piemēram, no pievienotās masas, atsperu stingumiem, pretestības spēkiem un ierosmes vadības likuma. Tāda veida iezīmes padara iekārtu jutīgu pret apkārtējās vides apstākļu izmaiņām, kā rezultātā var rasties normāla režīma traucējumi.

No citas puses, stacionāro kustību adaptīva vadība vibromašīnās padara tās piemērotas automatizētai regulēšanai. Pirmkārt, jo augstāks regulējamā objekta vadības līmenis, jo mazāka jauda vajadzīga to vadībai no viena režīma otrā. Otrkārt, vairumā gadījumu, izmantojot iekārtas dinamiskās īpatnības, var būtiski vienkāršot sistēmas automatizāciju.

II. VIBROVESERA SHĒMA UN KUSTĪBAS DIFERENCIĀLVIENĀDOJUMI

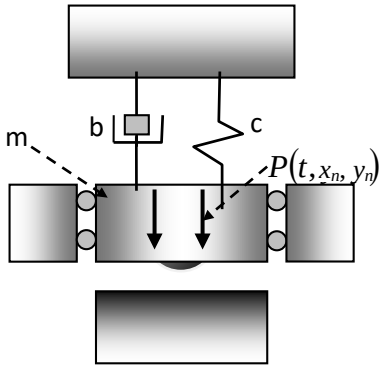
Šajā pētījumā tiek aplūkots vertikāls vibroveseris (sk. 1. att.), kurš sastāv no masas, kas iekārta atsperē un slāpētājā. Veseris ievietots gultņos, lai samazinātu berzi un paildzinātu iekārtas darbmūžu.

Vibrovesera kustības analīzei izmanto 2. Ņūtona likumu (1). Vibrovesera vertikālās kustības diferenciālvienādojums ir:

$$m\cdot\ddot{y} = -m\cdot g - c\cdot x_n - b\cdot v_n + P\left(t, x_n, v_n\right), \tag{1}$$

kur m – masa;

$x_n, v_n, \ddot{y}$ – pārvietojums, ātrums un paātrinājums;



1. att. Vertikāla vibrovesera shēma.

g – brīvās krišanas paātrinājums;

c – lineāras atsperes stingums;

b – pretestības spēka koeficients;

$P\left(t, x_n, v_n\right)$ – ierosmes spēks.

III. VIBROVESERA HARMONISKAS IEROSMES IZPĒTE

Harmoniskas ierosmes gadījumā spēks $P_0\left(t, x_n, v_n\right)$ ir šāds:

$$P = P_0\cdot\sin\left(\omega\cdot t\right), \tag{2}$$

kur P_0 – spēka amplitūda;

ϖ – leņķiskā frekvence;

t – laiks.

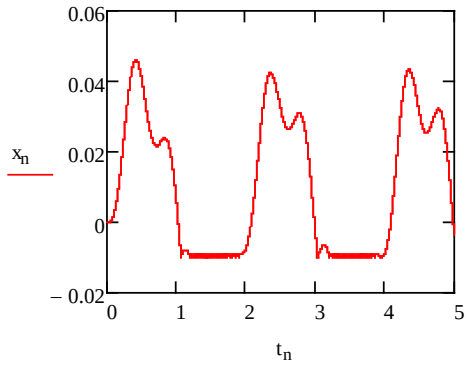
Šis gadījums ir plaši pazīstams un labi izpētīts, piemēram, darbos [1], [3], [5]–[7] u.c.

Kā piemērs kustības modelēšanai tālāk aplūkots gadījums ar parametriem (skat. 2.–4. att.):

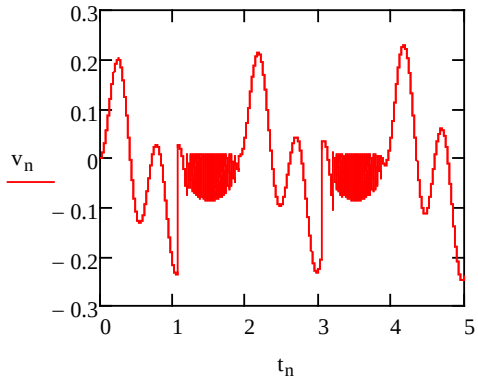
$$m := 2[kg];\quad c := \frac{m\cdot g}{0,07};\quad b := 0,1;\quad \varpi := \frac{2\cdot\pi}{1}[s^{-1}];$$

$$P_0 := 10[N].$$

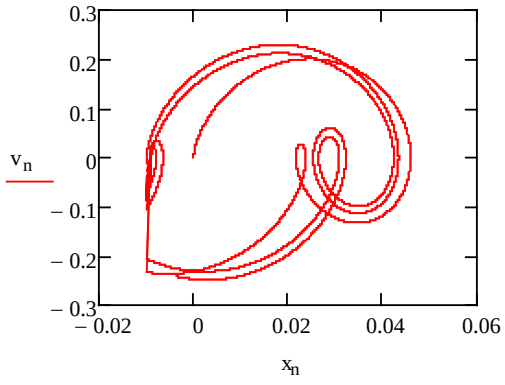
Kā jau zināms praksē, harmoniskas ierosmes gadījumā nav atgriezeniskās saites spēkam pret trieciena procesu, kad iespējama vesera pielipšana (2. att.). Palielinot frekvenci vairākas reizes, sākas bezpielipšanas kustība (5.–7. att.).



2. att. Vesera pārvietojums laikā. Grafikā redzams, ka masa pielīp pie pamata un kādu laiku nekustas. Tas nozīmē, ka šāda kustība ir neefektīva.



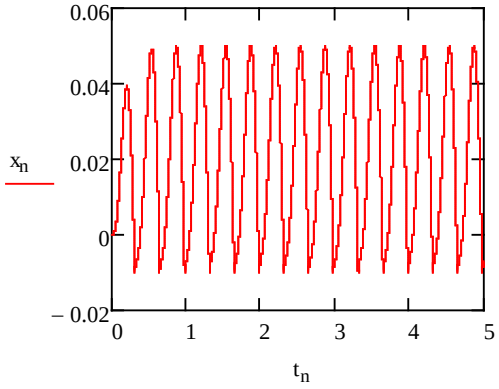
3. att. Vesera ātrums kā funkcija laikā.



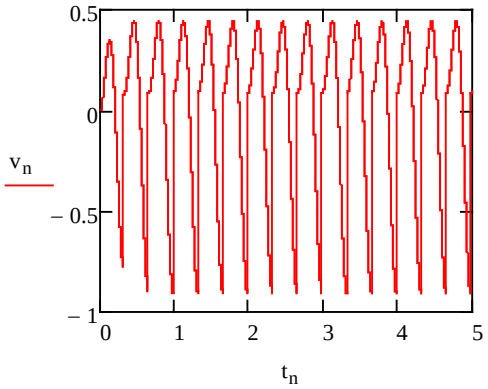
4. att. Kustība fāzu plaknē. Grafiks parāda, ka fāzu trajektorijas ir cilpu veidā. Tas atkārtoti norāda, ka kustības ierosme ir neefektīva.

Tālāk kustības modelēšanai aplūkots gadījums ar parametriem (skat. 5.–7. att.):

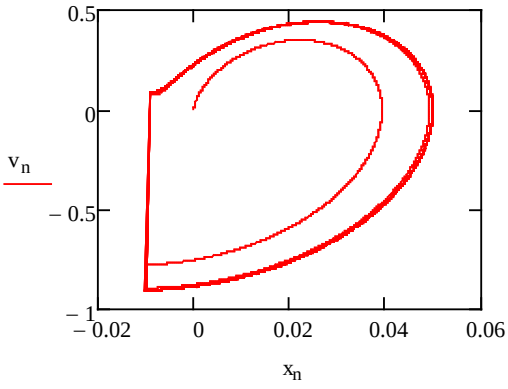
$$m := 2[kg]; \quad c := \frac{m \cdot g}{0,07}; \quad b := 0,1; \quad \varpi := \frac{2 \cdot \pi \cdot 0.3}{0.1}[s^{-1}];$$
$$P_0 := 10[N].$$



5. att. Vesera pārvietojums laikā bez apstāšanās.

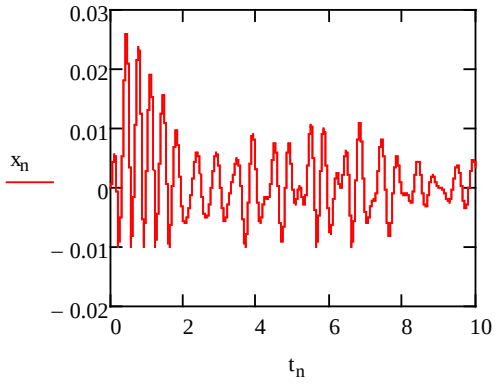


6. att. Vesera ātrums kā funkcija laikā.

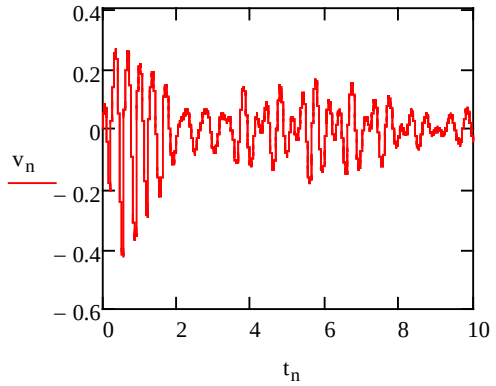


7. att. Kustība fāzu plaknē bez apstāšanās.

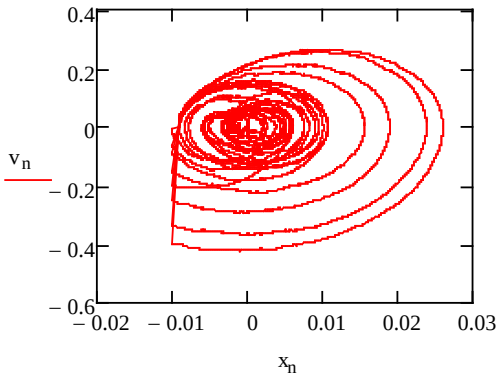
Analīze rāda, ka, ja mainās ierosinošā spēka frekvence ϖ, kustība atkal var kļūt neefektīva (8.–10. att.), respektīvi, mainās trieciena ātrums.



8. att. Vesera pārvietojums laikā.



9. att. Vesera ātrums kā funkcija laikā.



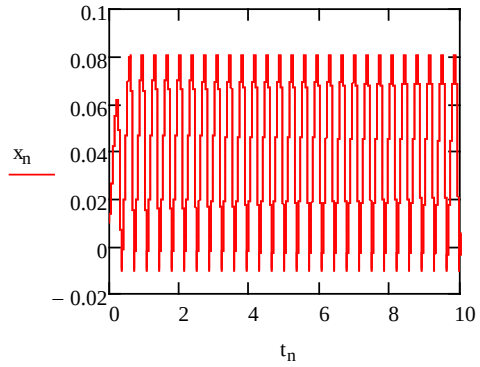
10. att. Kustība fāzu plaknē.

IV. VIBROVESERA ADAPTĪVAS IEROSMES IZPĒTE, JA PIELIETO TIKAI ĀTRUMA SENSORU

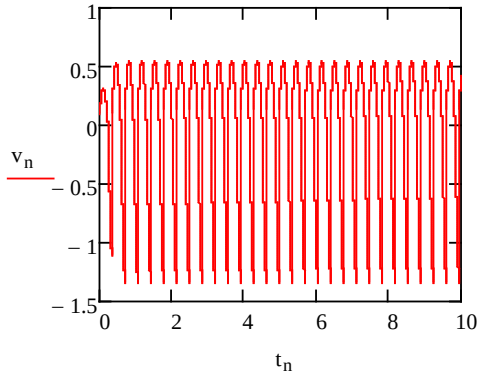
Adaptīvas ierosmes gadījumā spēks kā ātruma funkcija var būt pieņemts šāds:

$$P = P_0 \cdot sign(v_n). \tag{3}$$

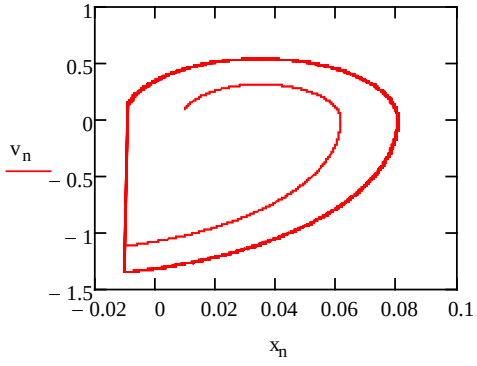
Modelēšanas piemēra grafiki doti 11.–13. att. Redzams, ka šāda ierosme ir ļoti efektīva, jo stacionārais režīms iestājas dažu ciklu laikā. Plašāk šī ierosme ir izpētīta darbā [9].



11. att. Vesera pārvietojums laikā, ja ierosme ir adaptīva.



12. att. Vesera ātrums kā funkcija laikā.



13. att. Kustība fāzu plaknē.

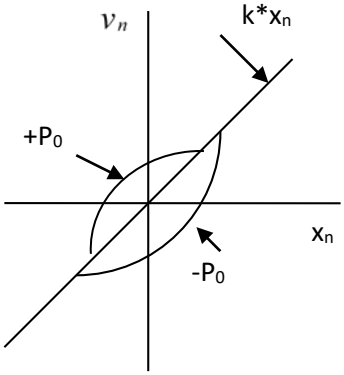
V. VIBROVESERA ADAPTĪVAS IEROSMES IZPĒTE, JA PIELIETO DIVUS SENSORUS

Otras adaptīvas ierosmes gadījumā spēks kā ātruma v_n un koordinātas x_n funkcija var būt pieņemts šādi (4):

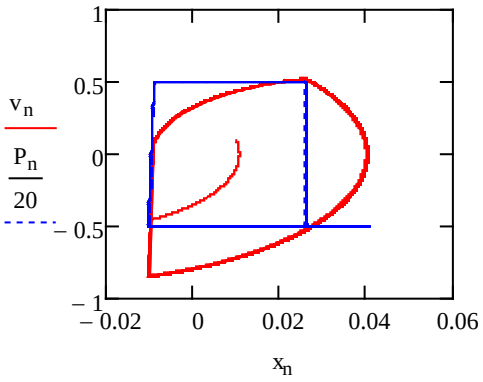
$$P = P_0 \cdot sign(v_n - k \cdot x_n), \tag{4}$$

kur k – konstante.

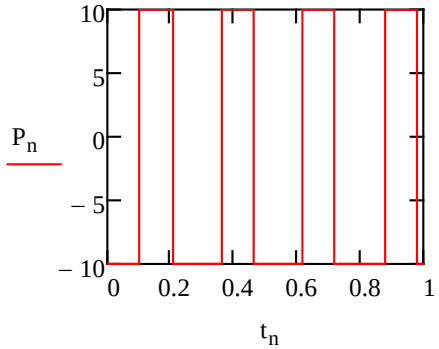
Ierosmes spēka atkarība no fāzu koordinātām x_n un v_n parādīta 14. attēlā.



14. att. Ierosmes spēks fāzu plaknē.

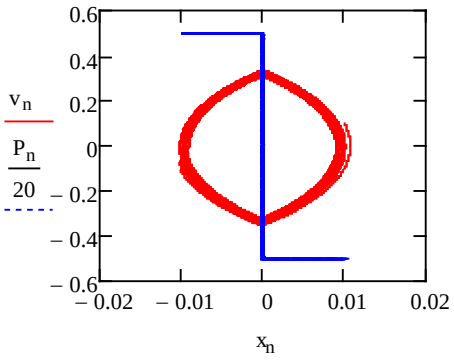


15. att. Vesera kustība fāzu plaknē.

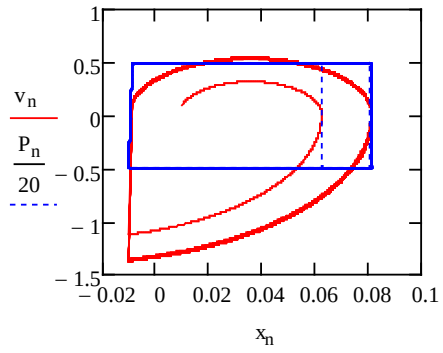


16. att. Ierosmes spēka kā laika *t* funkcija.

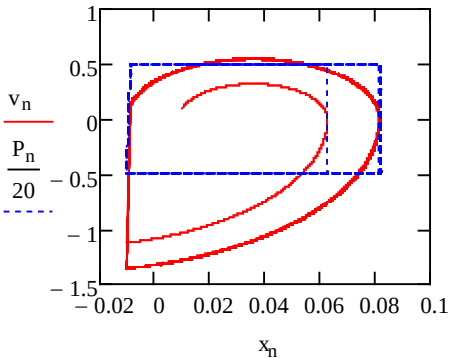
Analīze arāda, ka, mainot koeficientu *k* no bezgalības līdz 0, iespējams iegūt dažādus vesera sitiena ātrumus, sākot no beztrieciena režīma līdz pat maksimālam trieciena ātruma režīmam, kad *k* = 0 (skat. 15.–19. att.).



17. att. Beztrieciena režīms, kad *k* ir bezgalība.



18. att. Režīms, kad *k* = 1.



19. att. Režīms, kad *k* = 0.

VI. Secinājumi

1. Tika aplūkotas trīs vadības ierosmes funkcijas. Lai vibrovesera darbība būtu efektīva un optimāla, svarīgi ir palielināt tā darbības ātrumu un intensitāti. Tātad svarīgi, lai nepieciešamo darbu izpildes laiks būtu minimāls.
2. Kā pirmā tika aplūkota vadības funkcija ar harmonisku spēka ierosmi. No izveidotā aprēķinu modeļa, pielietojot harmoniskas ierosmes funkciju, secināts, ka iegūt optimālu vibrovesera darbības ātrumu ir samērā laikietilpīgs process. Šajā gadījumā svārstību frekvence jāizvēlas tāda, lai nenotiktu vesera pielipšana, kas rada nevajadzīgu dīkstāvi starp svārstībām. Tāpat, ja izvēlēta pārāk augsta frekvence, iespējama situācija, kad veseris strādā neefektīvi

(nesasniedz nepieciešamo kustības ātrumu vai amplitūdu). Tā kā šajā gadījumā trūkst atgriezeniskās saites starp pielikto spēku un trieciena procesu, tad optimālas frekvences noteikšana ir samērā grūti realizējama.

3. Kā daudz efektīvāki tika aplūkoti varianti ar vadības funkcijas adaptīvu ierosmi. Apskatīta adaptīvā ierosme gan ar vienu (ātruma funkcija), gan ar diviem sensoriem (ātruma un koordinātas funkcijas). Secināts, ka šāds vadības modelis ir ievērojami efektīvāks nekā variants ar harmonisku spēka ierosmi. Šajā gadījumā stacionārs režīms iestājas vien dažu ciklu laikā un svārstības ir vienmērīgas un efektīvas.
4. Pielietojot vadību ar diviem sensoriem, papildus vēl iespējams variēt ar koeficientu *k*. Ja *k* tiek mainīts robežās no 0 līdz bezgalībai, attiecīgi iespējams panākt, ka veseris darbojas maksimāla trieciena ātruma režīmā vai vispār bez trieciena.

LITERATŪRAS SARAKSTS

1. Babickij, V.I. *Theory of vibro-impact systems.* Moskova: Nauka, 1978.
2. Glocker Ch. *On Frictionless Impact Models in Rigid-body Systems* – Phil. Trans. Royal Soc. London, A, 2001, 359, pp. 2358–2404.
3. Kononova, O., Polukoško, S., Sokolova, S. *Contact Forces in Vibro-Impact Systems* . Mehānika. Rīga, RTU Zinātniskie raksti, no. 28, 2008, 78.–87. lpp. ISSN 1407-8015.
4. Lankarani H.M., Nikravesh P.E. *Continuous Contact Force Models for Impact Analysis in Multibody Systems // In: Nonlinear Dynamics*, 1994, 5, pp. 193–207.
5. Petrerka, F. *Laws of Impact Motion of Machanical Systems with one Degree of Freedom, Part I – Theoretical Analysis of n- Multiple (1/n) – Impact Motions*, Acta Technica CSAV, 1974, 4, pp. 462–473.
6. Petrerka, F. *Laws of Impact Motion of Machanical Systems with one Degree of Freedom, Part II – Resalts of Analogue Computer Modelling of the Motion, Acta Technica CSAV*, 1974, 5, pp. 569–580.
7. Ragulskene, V. L. *Stereomehaničeskie modeli udara.* Vibrotehnika, 1967.
8. Szwedzick, T. Indentation hardness testing of rock. Int. J. Rock Mech. Min Sci. Geomech. Abstracts. 1998, 35, (6), pp. 825–829.
9. Виба, Я. А.: *Оптимизация и синтез виброударных машин,* Рига: Зинатне, 1988, 253 с.

Sandra Veinberga, Master's degree student, Institute of Mechanics, Riga Technical University.
Address: 6 Ezermalas iela, Riga, LV-1006, Latvia. Phone: +37126705989; Fax +3716227820094;
E-mail: sandra.veinberga@edu.rtu.lv

Mārtiņš Greiškāns, Master's degree student, Institute of Mechanics, Riga Technical University.
Address: 6 Ezermalas iela, Riga, LV-1006, Latvia. Phone: +37126167955; Fax +3716227820094;
E-mail: martins.greiskans@edu.rtu.lv

Mārtiņš Irbe, Master's degree student, Institute of Mechanics, Riga Technical University.
Address: 6 Ezermalas iela, Riga, LV-1006, Latvia. Phone: +37126441997; Fax +3716227820094;
E-mail: martins.irbe@rtu.lv

Dmitrijs Ribaks, Master's degree student, Institute of Mechanics, Riga Technical University.
Address: 6 Ezermalas iela, Riga, LV-1006, Latvia. Phone: +37127736388; Fax +3716227820094;
E-mail: Dmitrijs.Ribaks@rtu.lv

Sandra Veinberga, Martins Greiskans, Martins Irbe, Dmitrijs Ribaks. Research of motion control for vibratory hammer
This article considers a vertical vibratory hammer with one degree of freedom . For variation of excitation force, the time or phase plane coordinate functions are used. The objective was to analyze variety of different motion conditions and to detect stable motion of the vibratory hammer. The main advantages of adaptive control (phase plane coordinate functions) are determined. Recommendations for motion control in a real system with two sensors (i.e., coordinate and speed) are presented. Key features in an efficient and optimal vibratory hammer operation are its working speed and beat vibration intensity. Minimizing operational time for planned assignments is crucial in manufacturing industry today. In this article, three different types of excitation control functions for vibratory hammers are presented. At first, the control function with harmonic force excitation was considered. It was established that finding an optimal vibration frequency is rather time-consuming and inaccurate. If the frequency is set too low, the hammer has the tendency to stick to the surface. As a result, the time, necessary for operations, increases. On the other hand, if the frequency is set too high, there is a possibility of an inefficient impact speed or amplitude. The main reason is the lack of feedback between the applied force and the impact. As more efficient, the models with adaptive control of excitation function were found. Adaptive excitation with a single sensor (speed function) and with two sensors (speed and coordinate functions) was considered. It was established that this kind of the control model is much more efficient and easier to control. In this case, a steady state occurs in a few cycles and oscillations are uniform and efficient. When the control with two sensors is used, it is possible to control the constant *k*. The value for *k* can be adjusted from zero to infinity. If the value is set to zero, the vibratory hammer works at a full impact value; if the value is set to infinity, a zero-impact state is acquired.