

**ЛОВЕЙКІН В'ячеслав Сергійович, доктор технічних наук, професор**

Народився 14 квітня 1950 року в с. Велика Левада Городоцького району Хмельницької області.

Навчався в Київському інженерно-будівельному інституті, який закінчив з відзнакою в 1972 р. за спеціальністю "Будівельні машини та обладнання". Працював на виробництві, а з 1976 р. до теперішнього часу науковий співробітник і викладач Київського національного університету будівництва і архітектури. Автор двох монографій, підручника, чотирьох навчальних посібників та більше двохсот наукових статей.

*Основні напрямки наукової діяльності:* оптимізація динамічного режиму руху механізмів і машин

## **ОПТИМІЗАЦІЯ ДИНАМІЧНОГО РЕЖИМУ РУХУ МЕХАНІЗМІВ І МАШИН З УРАХУВАННЯМ ОПОРУ, ПРОПОРЦІЙНОГО ШВИДКОСТІ**

Режими руху механізмів і машин мають значний вплив на якість виконання технологічних процесів, їхню продуктивність, надійність та енергетичні витрати. Проблемі оптимізації режимів руху машин і механізмів присвячена значна кількість праць [1-21]. Однак, в основному розглядались задачі оптимізації без врахування сил опору, які виникають під час руху.

*Метою* цієї роботи є розробка методики оптимізації режимів руху механізмів і машин з урахуванням опору, пропорційного швидкості.

Для оптимізації режиму руху використовуються одиничні критерії, які відображають ті чи інші властивості механізмів і машин, або комплексні, що відображають комплекс властивостей. Визначимо оптимальний режим руху, який приводить до мінімізації силових навантажень в приводному механізмі. Для цього сформулюємо інтегральний динамічний критерій у формі критеріальної дії за Аппелем, в якій враховується складова сили опору, пропорційна швидкості руху.

Критеріальна дія за Аппелем з відомих праць [1-2] враховує тільки інерційну складову опору, яка виникає на ділянках перехідних процесів (пуск, гальмування або реверсування) і для механізму або машини з одним ступенем вільності основного руху, зведеного, наприклад, до поступальної ланки, представляється в такому вигляді

$$I_A = \int_0^{t_1} V dt = \int_0^{t_1} \frac{1}{2} m \dot{v}^2 dt, \quad (1)$$

де  $V$  – "енергія" прискорень механізму або машини [1-2];  $t$  – час;  $t_1$  – тривалість руху;  $m$  – зведена маса механізму або машини;  $v$  – швидкість руху зведеної маси.

При врахуванні сили опору "енергія" прискорень для руху приведеної матеріальної маси з одним ступенем вільності може бути представлена залежністю [15]

$$V^* = \frac{1}{2} m (w + F_0/m)^2, \quad (2)$$

де  $w = \dot{v}$  – прискорення зведеної маси;  $F_0$  – зведена сила опору, що діє на елементи механізму чи машини.

Якщо сила опору  $F_0$  лінійно пропорційна швидкості, тобто  $F_0 = bv$ , то вираз (2) представляється залежністю

$$V^* = \frac{1}{2} m (\dot{v} + kv)^2. \quad (3)$$

Тут  $b$  – коефіцієнт пропорційності, а  $k = b/m$ .

Тоді інтегральний критерій для оптимізації режиму руху з урахуванням опору, пропорційного швидкості, має вигляд

$$I_A = \int_0^{t_1} \frac{1}{2} m (\dot{v} + kv)^2 dt. \quad (4)$$

Умовою мінімуму критерію (4) є рівняння Ейлера-Лагранжа

$$\frac{\partial V^*}{\partial v} - \frac{d}{dt} \frac{\partial V^*}{\partial \dot{v}} = 0. \quad (5)$$

Після підстановки виразу (3) "енергії" прискорень в рівняння (5), будемо мати

$$\ddot{v} - kv = 0. \quad (6)$$

Розв'язок рівняння (6) представляється в наступному вигляді:

$$v = c_1 e^{kt} + c_2 e^{-kt}; \quad \dot{v} = k(c_1 e^{kt} - c_2 e^{-kt}), \quad (7)$$

де  $c_1$  і  $c_2$  – постійні інтегрування, які визначаються з крайових умов руху. Для процесу пуску зі стану спокою  $t = 0$  і  $v = 0$  до деякої сталої швидкості при  $t = t_1$  і  $v = v_1$  швидкість і прискорення зведеної маси механізму визначаються залежностями:

$$v = v_1 \frac{e^{kt} - e^{-kt}}{e^{kt_1} - e^{-kt_1}}; \quad \dot{v} = kv_1 \frac{e^{kt} + e^{-kt}}{e^{kt_1} - e^{-kt_1}}. \quad (8)$$

Для механізму зі зведеною масою  $m = 1000$  кг, коефіцієнтом пропорційності опору  $b = 1000$  Н/(м/с) і тривалістю пуску  $t_1 = 2$  с за залежностями (8) побудовано графіки зміни швидкості та прискорення (рис. 1).

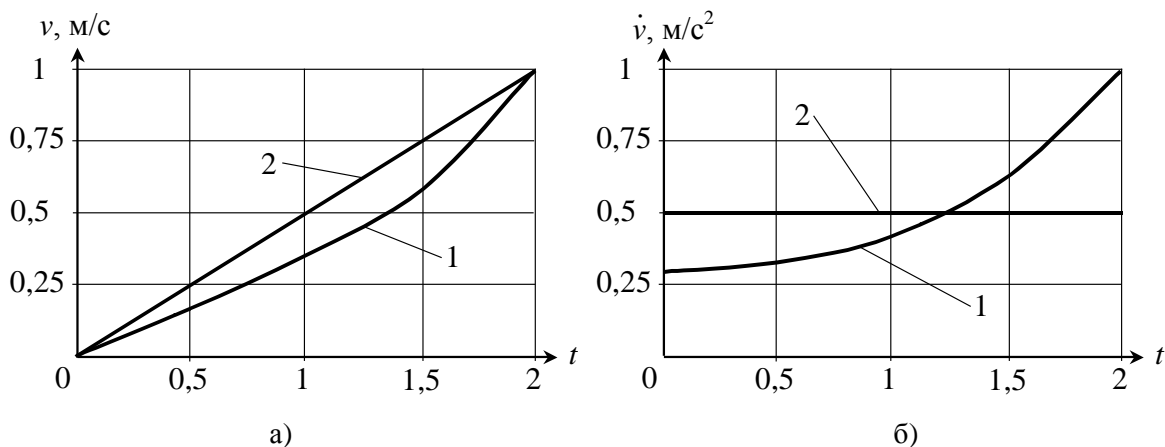


Рис. 1. Графіки зміни швидкості (а) і прискорення (б) зведеної маси з урахуванням опору (крива 1) і без врахування опору (крива 2) оптимального динамічного режиму пуску

Аналіз цих графіків показує, що в кінці пуску при врахуванні сил опору (крива 1) значно зростає прискорення, що приводить до виникнення значних коливань при переході на ділянку сталого руху. Якщо сили опору не враховуються, то при оптимальному динамічному режимі протягом всієї ділянки пуску прискорення (пряма 2) є постійною величиною. Зі збільшенням величини опору, що залежить від швидкості руху, в кінці пуску ще більше буде зростати прискорення при оптимальному динамічному режимі руху. Тому такий режим не є доцільним з позицій мінімізації коливань на ділянці сталого руху та зменшення максимального значення приводного зусилля під час пуску.

Виходячи з розглянутих міркувань більш доцільним можна вважати режим руху, при якому на всій ділянці пуску функція "енергії" прискорень (3) залишається постійною величиною, тобто

$$V^* = \frac{1}{2} m (\dot{v} + kv)^2 = \text{const}. \quad (9)$$

Залежність (9) справджується, якщо

$$\dot{v} + kv = c_0 = \text{const}, \quad (10)$$

бо зведена маса  $m$  для лінійної функції положення механізму є постійною величиною на всій ділянці руху.

Продиференціювавши по часу рівняння (10), отримаємо однорідне диференціальне рівняння другого порядку

$$\ddot{v} + k\dot{v} = 0, \quad (11)$$

розв'язок якого для тих самих крайових умов, що і в попередній задачі, має вигляд:

$$v = v_1 \frac{1 - e^{-kt}}{1 - e^{-kt_1}}; \quad \dot{v} = kv_1 \frac{e^{-kt}}{1 - e^{-kt_1}}. \quad (12)$$

Розрахунок режимів пуску за допомогою залежностей (12) при різних значеннях коефіцієнтів  $k$  при  $v_1 = 1$  м/с і  $t_1 = 2$  с зведено в таблицю 1.

Таблиця 1.

$t$	$k = 0.05$		$k = 0.25$		$k = 0.5$		$k = 0.75$		$k = 1$	
	$v, \text{ м/с}$	$\dot{v}, \text{ м/с}^2$	$v, \text{ м/с}$	$\dot{v}, \text{ м/с}^2$	$v, \text{ м/с}$	$\dot{v}, \text{ м/с}^2$	$v, \text{ м/с}$	$\dot{v}, \text{ м/с}^2$	$v, \text{ м/с}$	$\dot{v}, \text{ м/с}^2$
0	0	0,525	0	0,636	0	0,791	0	0,965	0	1,157
0,5	0,259	0,512	0,299	0,561	0,35	0,616	0,403	0,664	0,455	0,701
1	0,512	0,5	0,562	0,495	0,622	0,48	0,679	0,456	0,731	0,425
1,5	0,759	0,488	0,795	0,437	0,835	0,374	0,869	0,313	0,88	0,258
2	1	0,475	1	0,385	1	0,291	1	0,215	1	0,157

Для випадків, коли  $k = 1$  (криві 1) і  $k = 0$  (прямі 2) побудовано графіки зміни швидкості та прискорення зведеної маси механізму (рис. 2).

З цих міркувань видно, що при  $k = 0$  режим руху з постійною "енергією" прискорень співпадає з оптимальним динамічним режимом пуску без врахування сил опору (прямі 2 на рис. 1). При  $k = 1$ , коли враховуються сили опору пропорційні швидкості, режим руху з постійною "енергією" прискорень починається з максимального прискорення, що може викликати коливання на ділянці пуску. Однак в кінці пуску прискорення мінімальне, що дає можливість здійснювати плавний перехід між ділянками пуску та сталого руху, про що свідчить графік швидкості (крива 1 на рис. 2, а). Цей режим забезпечує також рух на ділянці пуску з постійною потужністю приводу, що дає можливість раціонально використовувати енергетичні можливості приводного механізму.

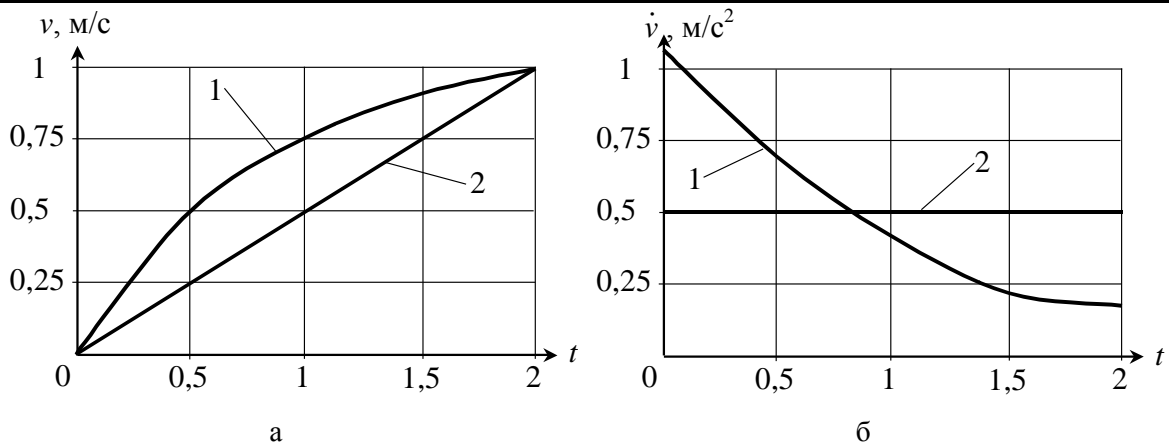


Рис. 2. Графіки зміни швидкості (а) і прискорення (б) при режимі руху з постійною "енергією" прискорень на ділянці пуску механізму

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що в залежності від умов роботи механізму або машини можна вибирати той чи інший режим руху, який забезпечує найвищий рівень ефективності. На основі синтезованих режимів руху здійснюється розробка конструкцій приводів і систем керування.

Результати роботи використані при проектуванні стрілових систем порталних кранів у ВО "Азовмаш" (м. Маріуполь), при модернізації гідроприводу екскаватора ЕО-2621 ВО "Борекс" (м. Бородянка Київської обл.), при розробці баштових кранів ВО "ЕСМА" (м. Київ), при розробці нормативно-технічної документації на вантажопідйомну техніку АТ СП "Монтажспецтехніка" (м. Київ), а також в учбовому процесі в курсі "Теорія технічних систем" і при виконанні дипломних проектів та магістерських робіт студентами і магістрами спеціальності "Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні та меліоративні машини і обладнання".

#### Основні праці:

1. Горский Б.Е., Ловейкин В.С. Расширение понятия коэффициента полезного действия на все удельные действия // Динамика прочность тяжелых машин. – Днепропетровск: Изд-во ДГУ, 1982. – Вып. 6. – С. 13-20.
2. Горский Б.Е., Ловейкин В.С. Критерии динамического совершенствования механических систем // Теория машин металлургического и горного оборудования. – Свердловск: УПИ, 1989. – С. 98-102.
3. Ловейкин В.С. Расчеты оптимальных режимов движения механизмов строительных машин. – К.: УМК МВО Украины, 1990. – 166 с.
4. Ловейкин В.С. Оптимизация режимов движения механизмов и машин // Теория машин и механизмов. Респ. межвед. научн.-техн. сб. – 1990. – Вып. 49. – С. 3-11.
5. Ловейкин В.С. Оптимизация режимов движения манипуляционных систем роботов по комплексному критерию. – М.: Машиностроение, 1988. – № 2. – С. 9-13.
6. Ловейкин В.С. Оптимизация режимов движения роботов и манипуляторов // Теоретична и приложена механика. – София, 1990. – С. 313-317.
7. Ловейкин В.С. Управление производительностью механизмов подъемно-транспортных машин // Подъемно-транспортное оборудование. Респ. межвед. научн.-техн. сб. – 1991. – Вып. 22. – С. 19-24.
8. Ловейкин В.С., Ловейкин А.В. Синтез оптимального за швидкістю режиму повороту екскаватора // Гірничі, будівельні, дорожні і меліоративні машини. – К.: КДТУБА, 1996. Вип. 50. – С. 17-21.
9. Ловейкин В.С. Синтез оптимальних режимів руху приводних механізмів машин // Зб. наукових праць НАУ. – К.: НАУ, 1997. – С. 47-51.

10. Григоров О.В., Ловейкін В.С. Оптимальне керування рухом механізмів вантажопідйомних машин. Навч. посібник. – К.: ІЗМН, 1997. – 264 с.
11. Ловейкін В.С. Критерії оцінки режимів руху механізмів і машин // Зб. наукових праць НАУ. – К.: НАУ, 1998. – С. 8-12.
12. Ловейкін В.С., Назаренко І.І., Онищенко О.Г. Теорія технічних систем. Навч. посібник. – К.–Полтава: ПДТУ, 1998. – 200 с.
13. Ловейкін В.С., Нестеров А.П. Синтез оптимальних режимів руху механічних систем // Доповіді НАН України, 1997. – № 7. – С. 14-21.
14. Ловейкін В.С. Оптимізація режимів руху машин і механізмів // Машинознавство, 1999. – № 7. – С. 24-31.
15. Ловейкін В.С. Синтез оптимальних режимів руху механізмів і машин у перехідних процесах // Машинознавство, 2001. – № 8(50). – С. 17-20.
16. Ловейкін В.С. Якість машин. – К.: КНУБА, 2001. – 102 с.
17. Городжа А.Д., Лемешко В.О., Ловейкін В.С. Матеріалознавство та електротехнічні матеріали. Підручник. – К.: КНУБА. – 2002. – 280 с.
18. Ловейкін В.С., Нестеров А.П. Динамическая оптимизация подъемных машин. Монография. – Луганск: Изд-во СЛУ, 2002. – 368 с.
19. Бондаренко Л.М., Довбня М.П., Ловейкін В.С. Деформаційні опори в машинах. Монографія / За ред. В.С. Ловейкіна. – Дніпропетровськ: РВА "Дніпро-VAL", 2002. – 200 с.
20. Ловейкін В.С., Нестеров А.П. Динамічна оптимізація підйомних машин. Навч. посібник. – Харків: ХНАДУ, 2002. – 291 с.
21. Ловейкін В.С., Човнюк Ю.В. Методи оптимізації режимів руху машин і механізмів // Сб. научных трудов ХНАДУ "Автомобильный транспорт". Совершенствование машин для земляных и дорожных работ. – Харьков, 2003. – Вып. 11. – С. 55-61.