

УДК 623.413:625.7:69.002

DOI: <https://doi.org/10.32347/tb.2024-41.0408>

**Андрій Задорожний,**

кандидат технічних наук,  
доцент Військового інституту танкових військ  
Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут",  
вулиця Кирпичова, 2, м. Харків, 61000, Україна  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1031-0585>  
E-mail: [zsnj1971@ukr.net](mailto:zsnj1971@ukr.net)

**Юрій Човнюк,**

кандидат технічних наук,  
доцент кафедри міського будівництва,  
Київський національний університет будівництва і архітектури,  
просп. Повітряних сил, 31, м. Київ, 03037, Україна  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0608-0203>  
E-mail: [ychovnyuk@ukr.net](mailto:ychovnyuk@ukr.net)

**Петро Чередніченко,**

доцент кафедри міського будівництва,  
Київський національний університет будівництва і архітектури,  
просп. Повітряних сил, 31, м. Київ, 03037, Україна  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7161-661X>  
E-mail: [petro\\_che@ukr.net](mailto:petro_che@ukr.net)

**Ганна Васильєва,**

кандидат технічних наук,  
доцент кафедри міського будівництва,  
Київський національний університет будівництва і архітектури,  
просп. Повітряних сил, 31, м. Київ, 03037, Україна  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0557-6925>  
E-mail: [anvas677@gmail.com](mailto:anvas677@gmail.com)

**Марія Биваліна,**

кандидат технічних наук,  
доцент кафедри міського будівництва,  
Київський національний університет будівництва і архітектури,  
просп. Повітряних сил, 31, м. Київ, 03037, Україна  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0650-4237>  
E-mail: [Gekata3@ukr.net](mailto:Gekata3@ukr.net)

## **ОПТИМІЗАЦІЯ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ РУХУ БУДІВЕЛЬНИХ МЕХАНІЗМІВ І (ГУСЕНИЧНИХ) МАШИН З УРАХУВАННЯМ ЛІНІЙНОГО ОПОРУ, ПРОПОРЦІЙНОГО ШВИДКОСТІ ПЕРЕМІЩЕННЯ**

**АНОТАЦІЯ.** У роботі обґрунтована методика оптимізації динамічних режимів руху будівельних механізмів і гусеничних машин з урахуванням лінійного опору, пропорційного швидкості переміщення об'єкту у середовищі функціонування. Задля оптимізації режиму руху зазвичай використовуються одиничні критерії, котрі відображають ті чи інші властивості будівельних механізмів і гусеничних машин або комплексні, що відображають комплекс їх властивостей. Визначений на фізично обґрунтованій основі оптимальний режим руху, який приводить до мінімізації силових навантажень у приводному механізмі. Для цього сформульований узагальнений інтегральний динамічний критерій для координати руху у формі критеріальної дії за Аппелем, у якому врахована складова сили опору, пропорційна швидкості руху механізму/машини. Використання методів класичного варіаційного числення дозволяє встановити оптимальні значення основних динамічних характерис-

тик руху будівельних механізмів і гусеничних машин, закони таких рухів, за яких мінімізуються протягом періоду пуску (гальмування, реверсування) величина навантаження на приводний механізм машини. Отримані у роботі результати можуть у подальшому бути використані для уточнення й вдосконалення інженерних методів розрахунку характеристик руху будівельних машин (зокрема, з гусеничною ходюю) та механізмів як на стадіях їх проектування/конструювання, так і у режимах реальної експлуатації, у перехідних процесах (пуск, гальмування, реверсування та ін.) з метою створення сприятливих (енергоощадних та безаварійних) умов їх функціонування.

**Ключові слова:** оптимізація, динамічний режим, будівельні механізми, гусеничні машини, опір, пропорційний швидкості руху, узагальнений критерій Аппеля, варіаційне числення, математичне моделювання, перехідні режими, пуск.

## OPTIMIZATION OF DYNAMIC MODES OF MOTION OF CONSTRUCTION MECHANISMS AND (CRAWLER) MACHINES TAKING INTO ACCOUNT LINEAR RESISTANCE PROPORTIONAL TO THE SPEED OF DISPLACEMENT

**ABSTRACT.** The paper substantiates the methodology of optimization of dynamic modes of motion of construction mechanisms and tracked machines taking into account linear resistance proportional to the speed of movement of the object in the operating environment. To optimize the mode of motion, usually single criteria reflecting certain properties of construction mechanisms and crawler machines or complex criteria reflecting the complex of their properties are used. The optimal mode of motion, which leads to minimization of force loads in the drive mechanism, is determined on a physically justified basis. For this purpose, a generalized integral dynamic criterion for the motion coordinate is formulated in the form of the criterion action by Appel, in which the component of the resistance force proportional to the mechanism/machine speed is taken into account. The use of methods of classical variational calculus allows us to establish the optimal values of the main dynamic characteristics of the movement of construction mechanisms and crawler machines, laws of such movements, at which minimize during the period of start-up (braking, reversing) the amount of load on the drive mechanism of the machine. The results obtained in the work can be further used to clarify and improve engineering methods of calculation of motion characteristics of construction machines (in particular, with crawler) and mechanisms both at the stages of their design/construction and in the modes of real operation, in transient processes (start-up, braking, reversing, etc.) in order to create favorable (energy-saving and accident-free) conditions of their functioning.

**Keywords:** optimization, dynamic mode, construction mechanisms, tracked machines, resistance proportional to the speed of motion, generalized Appel criterion, calculus of variations, mathematical modeling, transient modes, start-up.

**1. Постановка проблеми.** Режим руху будівельних механізмів і, зокрема, гусеничних машин мають значний вплив на якість виконання різноманітних технологічних процесів, їхню продуктивність, надійність, енергетичні витрати тощо. Проблемі оптимізації режимів руху машин і механізмів присвячена велика кількість вітчизняних та зарубіжних досліджень. Проте зазвичай у критеріальних діях враховують, як правило, тільки інерційну складову опору, що виникає на різних стадіях перехідних процесів (пуск, гальмування чи реверсування). Але, без сумніву, на думку авторів даного дослідження, важливим у створенні критеріальної дії є врахування сил опору іншої фізичної природи. Саме ця проблема у певній мірі вирішена й у даному дослідженні.

**2. Аналіз публікацій по темі дослідження.** Дослідженню та всебічному аналізу проблеми оптимізації режимів руху машин та механізмів присвячені роботи авторів [1-19]. У основному тут розглядалися задачі оптимізації без врахування сил опору, які виникають під час руху. Автор [19] досліджує оптимізаційні динамічні режими руху механізмів і машин, враховуючи при цьому опір середовища, пропорційний швидкості руху об'єкта (машини/механізму). Проте у цитованій роботі допущено кілька помилок: 1) рівняння Ейлера-Лагранжа виведене з помилковим коефіцієнтом при швидкості руху машини ( $V$ ); 2) термінальні (початкові та кінцеві умови руху) наведені у такому вигляді, який не дозволяє встановити причинно-наслідковий зв'язок між початковими та кінцевими параметрами руху (машини/механізму), тобто є фізично необґрунтованими (порушуються низки законів механіки, зокрема перший та другий закони І. Ньютона). У даному дослідженні ці помилки усунені, а терміна-

льні умови руху є фізично обґрунтованими і такими, що логічно (без протиріччя щодо законів класичної механіки) пов'язують між собою причини, котрі призвели до руху об'єкта, з наслідками, до яких призвів цей рух на завершальній стадії перехідного процесу (пуску механізму/машини).

**3. Метою даного дослідження** є обґрунтування, на основі законів класичної механіки І. Ньютона, та розробка методики оптимізації режимів руху будівельних механізмів і гусеничних машин з урахуванням опору середовища (у якому відбувається цей рух), пропорційно швидкості руху об'єкта. Такий підхід дозволяє, на думку авторів даної роботи, мінімізувати силові навантаження у приводному механізмі. Для досягнення мети дослідження у даній роботі використані методи математичного та фізико-механічного моделювання, класичного варіаційного числення, диференціальних рівнянь та узагальненої критеріальної дії за Аппелем.

**4. Виклад основного змісту дослідження.** Зазвичай для оптимізації режиму руху механізму або (гусеничної) машини використовуються одиничні критерії класичної механіки, котрі відображають певним чином різноманітні властивості цих механізмів і машин, або ж комплексні, що відображають цілий комплекс властивостей. У даному дослідженні визначимо оптимальний режим руху, який приводить до мінімізації силових навантажень у приводному механізмі. Для цього слід сформулювати інтегральний динамічний критерій у формі критеріальної дії за Аппелем, у якому враховується складова сили опору, пропорційна швидкості руху.

Відомо [1, 2], що критеріальна дія за Аппелем враховує лише інерційну складову опору, яка виникає на ділянках перехідних процесів (пуск, гальмування чи реверсування) й для будівельного механізму або (гусеничної) машини з одним ступенем вільності основного руху, зведеного, наприклад, до поступальної ланки, представляється у 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;  $\dot{v}$  – пришвидшення руху зведеної маси.

При врахуванні сили опору «енергія» прискорень для руху приведеної матеріальної маси з одним ступенем вільності (руху) може бути представлена залежністю [14]:

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

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  $F_0 = b \cdot v$ , тоді вираз (2) представляється залежністю:

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

Тут, у (3),  $b$  – коефіцієнт пропорційності, а  $k = b/m$ .

Тоді інтегральний критерій для оптимізації режиму руху з урахуванням опору, пропорційного швидкості, має вигляд [19]:

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

Враховуючи, що  $v = \dot{q}$ , де  $q(t)$  – узагальнена координата руху (наприклад, центру мас механізму/машини), вираз (4) можна подати у найбільш загальному виді:

$$\dot{I}_A = \int_0^{t_1} \frac{1}{2} m \cdot (\ddot{q} + k\dot{q})^2 dt \quad (5)$$

Умовою мінімуму критерію (5) є рівняння Ейлера-Пуассона:

$$-\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial V^*}{\partial \dot{q}} \right) + \frac{d^2}{dt^2} \left( \frac{\partial V^*}{\partial \ddot{q}} \right) = 0 \quad (6)$$

Після підстановки виразу  $V^*$  у формі:

$$V^* = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (\ddot{q} + k \cdot \dot{q})^2 \quad (7)$$

у рівняння (6), матимемо:

$$q^{(IV)} - k^2 \cdot \ddot{q} = 0 \quad (8)$$

Розв'язок (8) для  $\ddot{q}(t)$  можна подати у наступному вигляді:

$$\ddot{q}(t) = C_1 \cdot e^{kt} + C_2 \cdot e^{-kt} \quad (9)$$

де  $C_1$  та  $C_2$  – постійні інтегрування, які визначаються з термінальних (початкових і кінцевих) умов руху. Для пуску зі стану  $t=0$ ,  $\ddot{q}(0)=a(0)$ , у стан деякої сталої швидкості  $V=V_1$  при  $t=t_1$ ,  $\ddot{q}(t_1)=0$ , прискорення  $\ddot{q}(t)$  визначається залежністю:

$$\ddot{q}(t) = -\frac{a(0) \cdot \text{sh}[k \cdot (t-t_1)]}{\text{sh}(k \cdot t_1)}, \quad (10)$$

де  $a(0)$  – початкове (у момент  $t=0$ ) прискорення руху маси механізму чи машини, за рахунок котрого й відбувається рух об'єкту у проміжку часу  $t \in [0; t_1]$ , а потім, для  $t \geq t_1$  механічна система починає рухатись рівномірно, зі швидкістю  $V_1$ . Автор [19] зовсім не визначає причини, яка вивела систему зі стану спокою ( $V=0$ ,  $t=0$ ) у стан рівномірного руху (для  $t \geq t_1$ ) зі сталою швидкістю  $V=V_1$ .

Інтегруючи (10) один раз по  $t$ , можна визначити  $V(t)$ , якщо врахувати, що  $V(t)|_{t=t_1} = V_1$ :

$$\dot{q}(t) = V_1 - \frac{a(0) \text{ch}\{k(t-t_1)\}}{k \cdot \text{sh}(kt_1)} + V_1 + \frac{a(0)}{k \cdot \text{sh}(kt_1)}. \quad (11)$$

Інтегруючи (11) один раз по  $t$ , можна визначити закон руху маси  $q(t)$ , якщо врахувати, що  $q(t)|_{t=0} = 0$ , бо маса починає рухатись зі стану спокою  $q(t)|_{t=0} = \dot{q}(t)|_{t=0} = 0$ :

$$q(t) = \left\{ V_1 + \frac{a(0)}{k \cdot \text{sh}(kt_1)} \right\} \cdot t - \frac{a(0) \text{sh}\{k(t-t_1)\}}{k^2 \cdot \text{sh}(kt_1)} - \frac{a(0)}{k^2}. \quad (12)$$

Для будівельного механізму (міні-гусеничного робота) масою  $m=10^3$  кг, коефіцієнтом пропорційності опору  $b=1000$  Н/(м/с) і тривалістю пуску  $t_1=2$ с за залежностями (10), (11) побудовано графіки зміни швидкості  $\dot{q}(t)=V$  та прискорення  $\ddot{q}(t)=\dot{V}$  (рис.1).

Початкову швидкість  $V(0)$  тіло має завдяки наявності  $a(0) \neq 0$  й часу запуску приводного механізму двигуна, тобто:

$$V_0 = \frac{1}{2} \cdot a(0) \cdot t_0 \quad (13)$$

де  $t_0$  – тривалість запуску приводу двигуна механізму або машини. Зазначимо, що  $V_0 > V_1$ .

Якщо прийняти за початкову умову руху стан відносного спокою, тобто:

$$\dot{q}|_{t=0} = \dot{q}'|_{t=0} = 0, \quad (14)$$

який пропонує автор [19], тоді закон  $\dot{q}(t) = V(t)$  буде іншим, відмінним від (11), а саме:

$$\dot{q}(t) = V_t = \frac{a(0) \cdot \{ch[kt_1] - ch[k(t-t_1)]\}}{k \cdot sh(kt_1)} \quad (15)$$

Значення швидкості  $V_1$  руху механічної системи з моменту  $t \geq t_1$ , яка стає незмінною у часі (тобто рівномірного прямолінійного руху), набуває наступного значення:

$$V_1 = V|_{t=t_1} = \frac{a(0) \cdot th(kt_{1/2})}{k} \quad (16)$$

Закон руху  $q(t)$  при умові (14) у цьому випадку має вид:

$$q(t) = \frac{a(0) \cdot ch(kt_1)}{k \cdot sh(kt_1)} \cdot t - \frac{a(0) \cdot sh[k(t-t_1)]}{k^2 \cdot sh(kt_1)} - \frac{a(0)}{k^2} \quad (17)$$

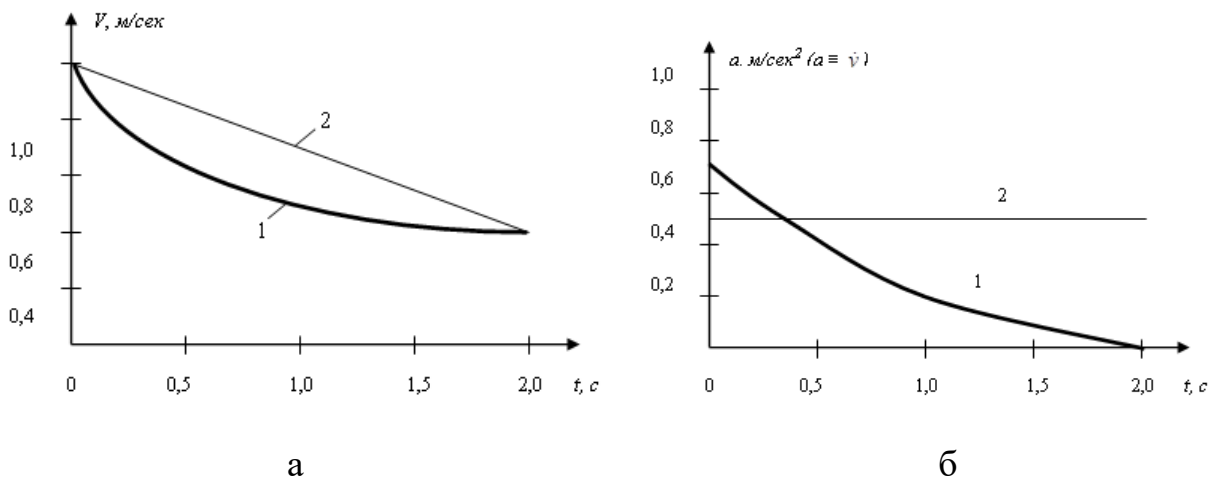


Рис.1 Графік зміни швидкості (а) і прискорення (б) зведеної маси з урахуванням опору (крива 1) і без врахування опору (крива 2) оптимального динамічного режиму пуску.

Fig. 1 Graph of changes in speed (a) and acceleration (b) of the combined mass with consideration of resistance (curve 1) and without consideration of resistance (curve 2) of the optimal dynamic start-up mode.

На рис.2 подані графіки зміни швидкості  $\ddot{q}(t) = \dot{V}$  (у загальному випадку, для початкових умов (14)). Якісно вони співпадають з отриманим у [19], але необгрунтованими фізично, а шляхом виконання математичних маніпуляцій (диференціювання певного виразу для  $V^*$  по часу  $t$ ).

Розглянемо далі рух об'єкта у середовищі, яке створює опір цьому рухові, пропорційний квадрату швидкості руху ( $F_0 = \tilde{b} \times v^2$ ) [20]. Тоді інтегральний критерій для оптимізації режиму руху з урахуванням опору, пропорційного квадрату швидкості, має вигляд:

$$\dot{I}_A = \int_0^{t_1} \frac{1}{2} \cdot m \cdot (\dot{v} + k \cdot v^2)^2 dt, k = \frac{b}{m}. \quad (18)$$

Враховуючи, що  $v = \dot{q}(t)$  можна (18) подати у більш узагальненому вигляді:

$$\dot{I}_A = \int_0^{t_1} \frac{1}{2} \cdot m \cdot (\ddot{q} + k \cdot \dot{q}^2)^2 dt \quad (19)$$

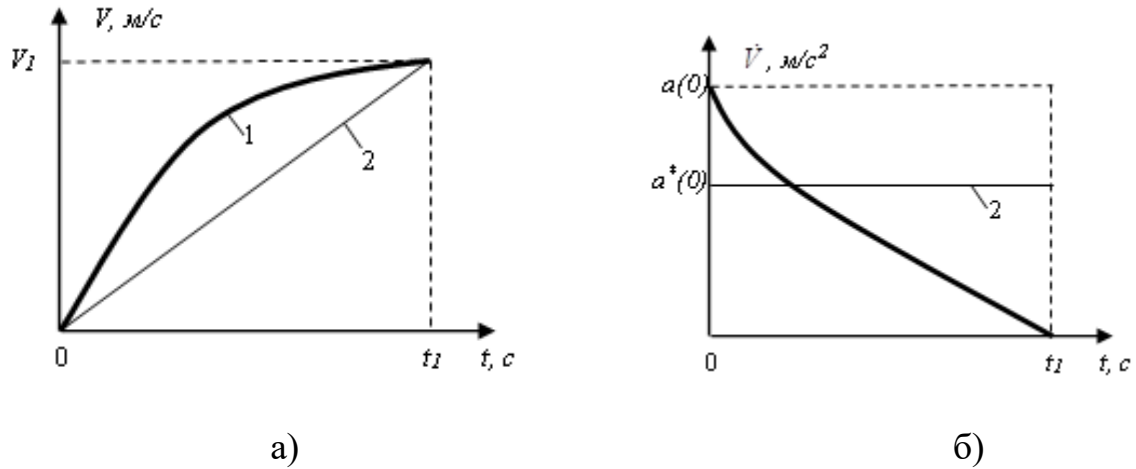


Рис.2 Графіки зміни швидкості (а) і прискорення (б) зведеної маси із урахуванням опору (крива 1) і без врахування опору (крива 2) оптимального динамічного режиму пуску (за початкових умов (14)),  $a^* = \text{const}$ .

Fig. 2 Graphs of changes in speed (a) and acceleration (b) of the combined mass with consideration of resistance (curve 1) and without consideration of resistance (curve 2) of the optimal dynamic start-up mode (under initial conditions (14)),  $a^* = \text{const}$ .

Рівняння Ейлера-Пуассона, як необхідна умова мінімізації функціоналу (19), має вид (6), і зводиться для  $q(t)$  до наступного:

$$\frac{d^2}{dt^2}(\ddot{q}) - 6k^2 \cdot \dot{q}^2 \cdot \ddot{q} = 0 \quad (20)$$

Рівняння (20) можна подати у вигляді:

$$\frac{d^2}{dt^2}(\ddot{q}) - \frac{d}{dt}(2k^2 \cdot \dot{q}^3) = 0 \quad (21)$$

Перший інтеграл (21) має вид:

$$\ddot{q} - 2k^2 \cdot \dot{q}^3 = \text{const}. \quad (22)$$

У подальшому розглядаємо розв'язки цього рівняння (22) за умови, що  $\text{const} = 0$ . При цьому матимемо для  $\dot{q}(t) \equiv v$  наступні співвідношення:

$$\frac{d^2 v}{dt^2} - 2k^2 \cdot v^3 = 0 \quad (23)$$

Рівняння (23) має для  $v(t)$  наступний розв'язок:

$$v(t) = \frac{1}{k \cdot t}, [k] = M^{-1}. \quad (24)$$

Тоді для прискорення  $\dot{v}(t)$  маємо:

$$\dot{v}(t) = -\frac{1}{k \cdot t^2} \quad (25)$$

Задля визначення закону руху механічної системи  $q(t)$  вважаємо, що виконуються наступні термінальні (початкові і кінцеві) умови:

$$q(t)|_{t=t_0}=q_0; \quad v(t)|_{t=t_0}=\dot{q}(t)|_{t=t_0}=v_0; \quad \dot{v}(t)|_{t=t_0}=a(0) \quad (26)$$

Тоді, інтегруючи один раз по  $t$  вираз (24) і враховуючи першу термінальну умову (26), матимемо:

$$q(t)=q_0 + \frac{1}{k} \cdot \ln(t/t_0) \quad (27)$$

Параметр  $t_0$  можна визначити зі співвідношення, яке випливає з (26) (остання умова):

$$a(0)=-\frac{1}{k \cdot t_0^2} \Leftrightarrow t_0=\left\{-\frac{1}{a(0) \cdot k}\right\}^{1/2}, \quad a(0) < 0 \quad (28)$$

Для  $v_0$  маємо:

$$v_0=\frac{1}{k \cdot t_0} = \left\{\frac{-a(0)}{k}\right\}^{1/2} \quad (29)$$

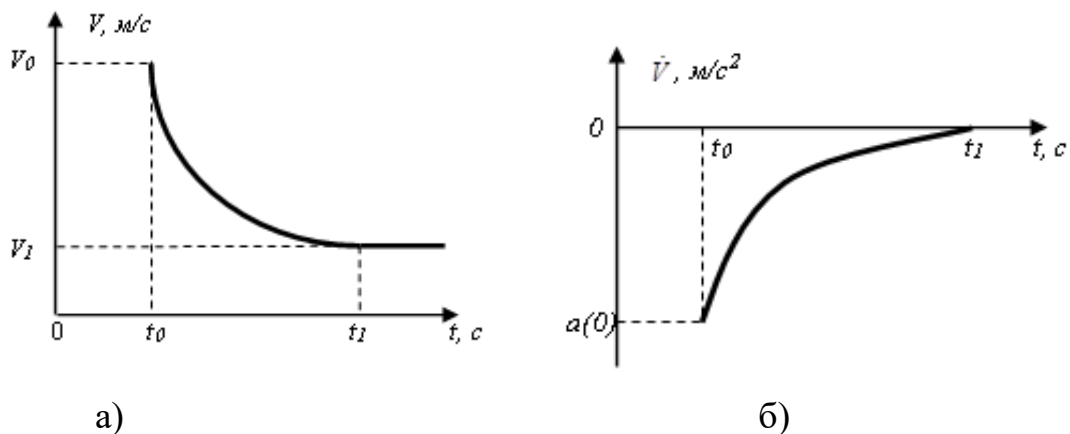


Рис. 3 Графіки зміни швидкості (а) і прискорення (б) зведеної маси із урахуванням (квадратичного за швидкістю руху) опору оптимального динамічного режиму пуску (за термінальних умов (26)).

Fig. 3 Graphs of changes in speed (a) and acceleration (b) of the combined mass taking into account (quadratic by the speed of movement) the resistance of the optimal dynamic start-up mode (under terminal conditions (26)).

Рівномірний рух системи зі швидкістю  $v_1$  після завершення стадії пуску ( $t \geq t_1$ ) визначається зі співвідношення:

$$v_1 = \frac{1}{k \cdot t_1} \quad (30)$$

Слід зазначити, що оскільки  $a(0) < 0$ , тоді  $v_0 > v_1$ . На рис.3 надані графіки зміни з плином часу  $t$  швидкості руху  $v(t)$  й прискорення  $\dot{v}(t)$ , коли рух здійснюється з якістю, що задовольняє мінімуму критерію (18), (19).

Зазначимо також, що подібні режими руху механічної системи, яка моделює будівельний механізм (чи гусеничну машину) можна реалізувати, наприклад: а) при підйомі вантажу краном способом «з основи»; б) при підйомі вантажів у воді (з dna річок, морів, океанів).

#### **Висновки:**

1. Обґрунтовані фізико-механічна та математична моделі, які дозволяють за критерієм Апелля оптимізувати динамічні режими руху будівельних механізмів і (гусеничних) машин з урахуванням лінійного (пропорційного швидкості руху) й нелінійного (пропорційного квадрату швидкості руху) опору середовища, в якому здійснюється пуск механічної системи, котрий, після завершення стадії пуску, переходить у рівномірний і прямолінійний. Це дозволяє мінімізувати навантаження на привід механізму/машини й суттєво зменшити можливість виникнення небажаних коливань у механічній системі.

2. Отримані у даному дослідженні результати можуть у подальшому бути використані для уточнення і вдосконалення існуючих інженерних методів розрахунку будівельних механізмів і гусеничних машин як на стадіях їх проектування / конструювання, так і у режимах реальної експлуатації з метою створення енергоощадних і безаварійних режимів функціонування такого обладнання.

#### **Список використаних джерел:**

1. Ловейкін В.С., Ловейкін А.В. Синтез оптимального за швидкістю режиму повороту екскаватора. Гірничі, будівельні, дорожні і меліоративні машини. – К.: КДТУБА, 1996. Вип. 50. С. 17-21.
2. Ловейкін В.С. Синтез оптимальних режимів руху приводних механізмів машин. Зб. Наукових праць НАУ. – К.: НАУ, 1997. С. 47-51.
3. Григоров О.В., Ловейкін В.С. Оптимальне керування рухом механізмів вантажопідйомних машин. Навч. Посібник. – К.: ІЗМН, 1997. 264 с.
4. Ловейкін В.С. Критерії оцінки режимів руху механізмів і машин. Збірник наукових праць НАУ. – К.: НАУ, 1998. С. 8-12.
5. Ловейкін В.С., Нестеров А.П. Синтез оптимальних режимів руху механічних систем. Доповіді НАН України. 1997. №7. С. 14-21.
6. Ловейкін В.С. Оптимізація режимів руху машин і механізмів у перехідних процесах. Машинознавство. 1999. №7. С. 24-31.
7. Ловейкін В.С. Синтез оптимальних режимів руху механізмів і машин у перехідних процесах. Машинознавство. 2001. №8 (50). С. 17-20.
8. Ловейкін В.С. Якість машин. – К.: КНУБА, 2001. 102 с.
9. Ловейкін В.С., Нестеров А.П. Динамічна оптимізація підйомних машин. Навч. Посібник. – Харків: ХНАДУ, 2002. 291 с.
10. 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.
11. Ловейкін В.С. Оптимізація динамічного режиму руху механізмів і машин з Урахуванням опору, пропорційного швидкості. Техніка будівництва. 2002. №13. С. 15-19.

#### **References:**

1. Loveikin V.S., Loveikin A.V. Syntez optymalnoho za shvydkistiu rezhymu povorotu ekskavatora. Hirnychi, budivelni, dorozhni i melioratyvni mashyny. – K.: KDTUBA, 1996. Vyp. 50. S. 17-21.
2. Loveikin V.S. Syntez optymalnykh rezhymiv rukhu pryvodnykh mekhanizmv mashyn. Zb. Naukovykh prats NAU. – K.: NAU, 1997. S. 47-51.
3. Hryhorov O.V., Loveikin V.S. Optymalne keruvannia rukhom mekhanizmv vantazhopidiomnykh mashyn. Navch. Posibnyk. – K.: IZMN, 1997. 264 s.
4. Loveikin V.S. Kryterii otsinky rezhymiv rukhu mekhanizmv i mashyn. Zbirnyk naukovykh prats NAU. – K.: NAU, 1998. S. 8-12.
5. Loveikin V.S., Nesterov A.P. Syntez optymalnykh rezhymiv rukhu mekhanichnykh system. Dopovidi NAN Ukrainy. 1997. №7. S. 14-21.



6. Loveikin V.S. Optymizatsiia rezhymiv rukhu mashyn i mekhanizmiv u perekhidnykh protsesakh. Mashynoznavstvo. 1999. №7. S. 24-31.
7. Loveikin V.S. Syntez optymalnykh rezhymiv rukhu mekhanizmiv i mashyn u perekhidnykh protsesakh. Mashynoznavstvo. 2001. №8 (50). S. 17-20.
8. Loveikin V.S. Yakist mashyn. – K.: KNUBA, 2001. 102 s.
9. Loveikyn V.S., Nesterov A.P. Dynamicheskaiia optymyzatsyia rodъemnykh mashyn. Monohrafiya. – Luhansk: Yzd-vo SNU, 2002. 368 s.
10. Loveikin V.S., Nesterov A.P. Dynamichna optymizatsiia pidiomnykh mashyn. Navch. Posibnyk. – Kharkiv: KhNADU, 2002. 291 s.
11. Loveikin V.S., Chovniuk Yu.V. Metody optymizatsii rezhymiv rukhu mashyn i mekhanizmiv. Sb. nauchnykh trudov KhNADU «Avtomobylnyi transport». Sovershenstvovanye mashyn dlia zemlianykh y dorozhnykh robot. – Kharkov, 2003. Выр. 11. S. 55-61.
12. Loveikin V.S. Optymizatsiia dynamichnoho rezhymu rukhu mekhanizmiv i mashyn z urakhuvanniam oporu, proportsiinoho shvydkosti. Tekhnika budivnytstva. 2002. №13. S. 15-19.