

УДК 622.242.2

РІВНЯННЯ РУХУ ШИННО-ПНЕВМАТИЧНОЇ МУФТИ ПРИ ВМИКАННІ

Б.Д.Малько

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42342
e-mail: public@ifdtung.if.ua

Рассматриваются разные комбинации моментов движущих сил и сил сопротивления, действующих на шинно-пневматическую муфту при ее включении. Записаны и решены уравнения движения полумуфт в период включения.

There have been considered different combinations of moving forces and resistance forces that influence tyre-pneumatic coupling at period of its initiation. There have been written down and solved equations of the movement of half-couplings in the period of its initiation.

Шинно-пневматична муфта (ШПМ) є основним керуючим пристроєм роботи бурової лебідки. При виконанні спуско-підймальних операцій розгін і гальмування руху талевого блока здійснюється вмиканням ШПМ з одночасним вимиканням стрічкового гальма. В процесі підймання колони труб при виконанні СПО деколи бурильник намагається зменшити швидкість підхвата, тобто швидкість удару елеватора по муфті труби. Для цього деякі бурильники вимикають ШПМ, а інші – вимикають приводні двигуни.

Розглянемо процес керування рухом барабана лебідки за допомогою ШПМ. Момент, який може передати муфта, залежить від тиску повітря в її камері. Керуючи подачею повітря, можна керувати зміною моменту. На рис. 1 наведені можливі характеристики зміни моменту M_M в шинно-пневматичній муфті. Лінійна характеристика $M_M = q_M t$ є найпростішою і найчастіше зустрічається в роботах з дослідження пневматичних фрикційних муфт [1, 2]. На основі експериментальних досліджень авторами роботи [3] запропонована характеристика 2 (рис.1), яка має параболічний характер

$$M_M = q_M t \left(2 - \frac{t}{t_{MK}} \right).$$

Як перша, так і друга характеристики відповідають одноразовому вмиканню муфти при підйманні талевого блока. Тут $q_M = M_M / t_{MK}$ – характеристика моменту в муфті; M_{MK} – кінцевий робочий момент в муфті; t_{MK} – час наростання моменту до кінцевого значення.

Якщо в процесі підймання талевого блока здійснюється гальмування його руху з метою зменшення швидкості підхвата і для цього виконується вимикання ШПМ, то момент змінюється за законом 3 (рис. 1).

Загалом формулу моменту можна записати у такому вигляді:

$$M_M = q_M t \left(\alpha - \beta \frac{t}{t_1} \right). \quad (1)$$

Залежно від співвідношення коефіцієнтів α, β змінюється значення моменту M_1 муфти

в період часу t_1 . Якщо $\alpha < \beta$, то $M_M = 0$, а при $\alpha > \beta$ $M_M > 0$.

Розглянемо модель муфти (рис. 2), в якій:

M_d – зведений момент двигунів;

M_o – зведений момент сил опору;

M_M – момент у муфті;

I_1 – зведений момент інерції рухомих частин привода;

I_2 – зведений момент інерції рухомих частин лебідки, талевої системи, колони труб.

Запишемо рівняння руху півмуфт

$$\left. \begin{aligned} I_1 \ddot{\varphi}_1 &= M_d - M_M \\ I_2 \ddot{\varphi}_2 &= M_M - M_o \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Розв'язок цієї системи будемо шукати для різних законів зміни моментів M_d, M_M, M_o і комбінацій між ними (рис. 3).

Враховуючи, що рівняння системи (2) розв'язуються незалежно, можемо записати окремо варіанти рівнянь руху ведучої і веденої півмуфт. Зведемо їх в таблицю 1.

Всі рівняння є лінійними з постійними коефіцієнтами і розв'язуються в квадратурах. Запишемо їх розв'язки.

Ведуча півмуфта. Розв'язки рівнянь знаходимо з врахуванням початкових умов при $t = 0$, $\varphi = 0$, $\omega_1 = \omega_{10}$. Для виділених варіантів (рис.3) маємо:

$$1-4: \omega_1 = \omega_{10} - q_M \frac{t^2}{2I_1}; \quad (3)$$

$$1-5: \omega_1 = \omega_{10} - \frac{q_M t^2}{I_1} \left(\frac{\alpha}{2} - \frac{\beta}{3t_1} t \right); \quad (4)$$

$$2-4: \omega_1 = \omega_{10} + \frac{t}{I_1} \left(M_1 - \frac{q_M t}{2} \right); \quad (5)$$

$$2-5: \omega_1 = \omega_{10} + \frac{t}{I_1} \times \left[M_1 - q_M t \left(\frac{\alpha}{2} - \frac{\beta}{3t_1} t \right) \right]; \quad (6)$$

$$3-4: \omega_1 = \omega_{10} - q_M \frac{I_1}{\lambda^2} \left(\frac{\lambda}{I_1} t + e^{-\frac{\lambda t}{I_1}} - 1 \right); \quad (7)$$

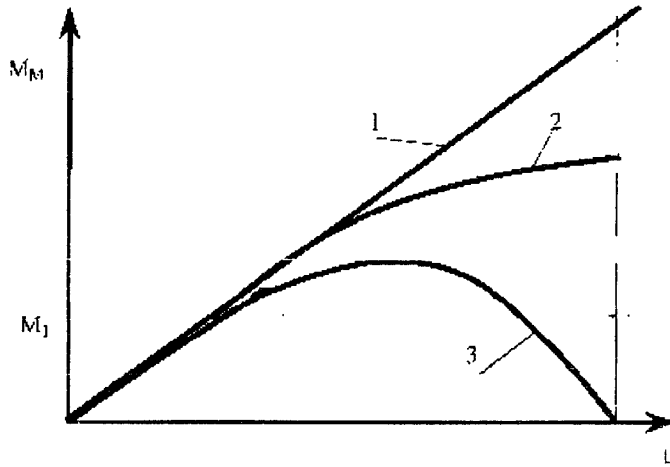


Рисунок 1 — Характеристика моментів у муфті при вмиканні

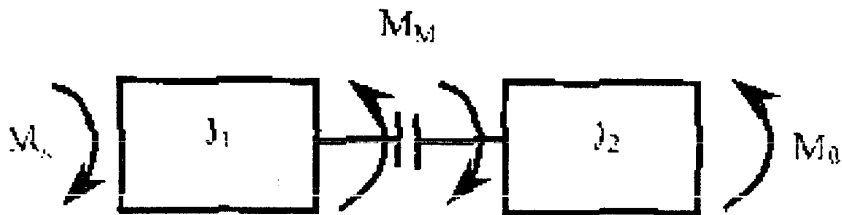


Рисунок 2 — Розрахункові моделі привода з шинно-пневматичною муфтою

Таблиця 1 — Рівняння руху півмуфт

Ведуча півмуфта		Ведена півмуфта	
Варіант	Рівняння	Варіант	Рівняння
1-4	$I_1\ddot{\varphi}_1 = -q_M t$	4-6	$I_2\ddot{\varphi}_2 = q_M t$
1-5	$I_1\ddot{\varphi}_1 = -q_M t \left(\alpha - \beta \frac{t}{t_1} \right)$	4-7	$I_2\ddot{\varphi}_2 = q_M t - M_0$
2-4	$I_1\ddot{\varphi}_1 = M_{\partial} - q_M t$	4-8	$I_2\ddot{\varphi}_2 = q_M t - M_0 - M_2(t)$
2-5	$I_1\ddot{\varphi}_1 = M_{\partial} - q_M t \left(\alpha - \beta \frac{t}{t_1} \right)$	5-6	$I_2\ddot{\varphi}_2 = q_M t \left(\alpha - \beta \frac{t}{t_1} \right)$
3-4	$I_1\ddot{\varphi}_1 = M_{\partial 0} - \lambda \dot{\varphi}_1 - q_M t$	5-7	$I_2\ddot{\varphi}_2 = q_M t \left(\alpha - \beta \frac{t}{t_1} \right) - M_0$
3-5	$I_1\ddot{\varphi}_1 = M_{\partial 0} - \lambda \dot{\varphi}_1 - q_M t \left(\alpha - \beta \frac{t}{t_1} \right)$	5-8	$I_2\ddot{\varphi}_2 = q_M t \left(\alpha - \beta \frac{t}{t_1} \right) - M_0 - M_2(t)$

$$3-5: \omega_1 = \omega_{10} - q_M \frac{\alpha I_1}{\lambda^2} \left[\frac{\lambda}{I_1} t + e^{-\frac{\lambda}{I_1} t} - 1 \right] + q_M \frac{\beta}{\lambda t_1} \left[t^2 - \frac{2I_1}{\lambda} t + \frac{2I_1^2}{\lambda^2} \left(1 - e^{-\frac{\lambda}{I_1} t} \right) \right] \quad (8)$$

Як бачимо, найскладніші вирази для визначення швидкості ведучої півмуфти маємо у двох останніх випадках, які враховують механічну характеристику двигуна.

Ведена півмуфта. Рух веденої півмуфти починається з часу t_p , коли момент в муфті досягає значення моменту сил опору, або моменту на гальмі (рис. 4). Початкові умови: при $t = t_p$ маємо $\varphi_2 = \dot{\varphi}_2 = 0$. Розглянемо кожний варіант окремо.

4-6. В цьому випадку зовнішній опір відсутній і рух півмуфт починається з моменту часу $t = 0$.

Розв'язок має такий вигляд:

$$\omega_2 = \frac{q_M}{2I_2} t^2, \quad \varphi_2 = \frac{q_M}{6I_2} t^3. \quad (9)$$

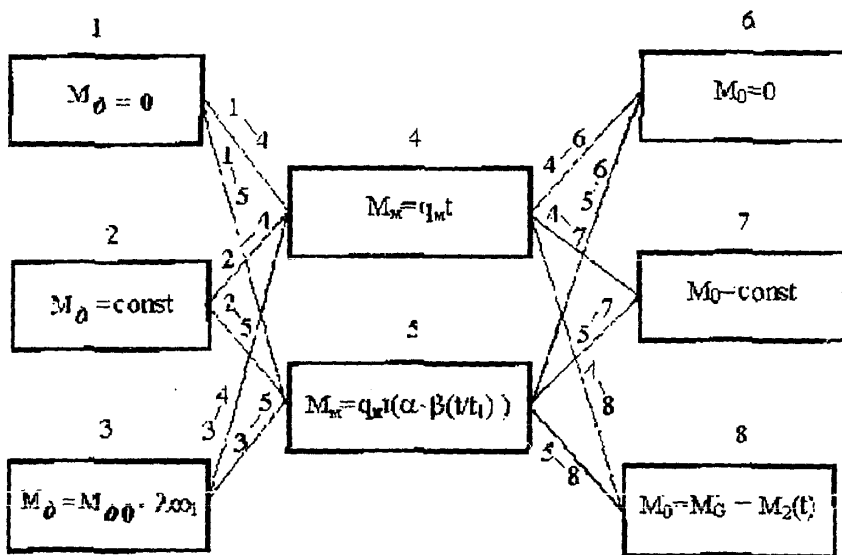


Рисунок 3 — Комбінації моментів, що діють на муфту

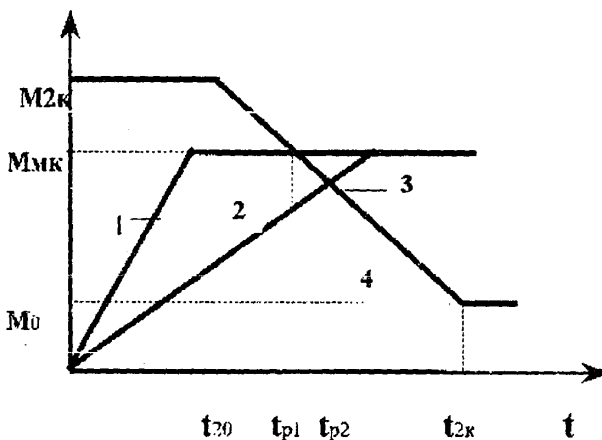


Рисунок 4 — Графіки моментів: 1-2 – муфти; 3 – гальма; 4 – сил опору

4-7. Рух півмуфт починається з часу t_p

$$t_p = \frac{M_0}{q_M}$$

До цього часу ведена півмуфта нерухома. Для періоду руху відлік часу почнемо від t_p . При цьому рівняння руху матиме вигляд

$$I_2 \ddot{\varphi}_2 = q_M(t + t_p) - M_0$$

Враховуючи, що $q_M t_p = M_0$, запишемо

$$I_2 \ddot{\varphi}_2 = q_M t$$

Розв'язок цього рівняння аналогічний (9)

$$\omega_2 = \frac{q_M}{2I_2} t^2, \quad \varphi_2 = \frac{q_M}{6I_2} t^3$$

Отже, рух веденої півмуфти здійснюється так само, як у попередньому випадку, тільки із запізненням на час t_p .

4-8. Можливі два варіанти зв'язку між моментами муфти M_{MK} і гальма M_{2K} . У першому випадку муфта повністю вмикається до початку зменшення гальмівного моменту. Час до початку руху барабана лебідки

$$t_{p1} = t_{20} + \frac{M_{2K} - M_{MK}}{q_M}$$

Вся система рухається як одне ціле і буде розглядатись пізніше. У другому випадку час до початку руху веденої півмуфти становить

$$t_{p2} = \frac{M_{2K} + q_2 t_{20}}{q_M + q_2} \quad (10)$$

З цього моменту часу рух півмуфт здійснюється за законом

$$I_2 \ddot{\varphi}_2 = q_M(t + t_{p2}) - M_{2K} + q_2(t_{p2} - t_{20} + t),$$

або з врахуванням (10)

$$I_2 \ddot{\varphi}_2 = (q_M + q_2) \cdot t \quad (11)$$

Розв'язок цього рівняння

$$\omega_2 = \frac{q_M + q_2}{2I_2} t^2, \quad \varphi_2 = \frac{q_M + q_2}{6I_2} t^3 \quad (12)$$

Рівняння (12) описують рух півмуфти до того часу, коли моменти в муфті і гальмі є змінними. Після зменшення гальмівного моменту до значення M_G рівняння руху веденої

півмуфти мають вигляд (9). При цьому новий відлік часу починається з моменту $t = t_{2K}$.

5-6. Рух веденої півмуфти починається відразу, тобто $t_P = 0$. Рівняння руху

$$\left. \begin{aligned} \omega_2 &= \frac{q_M}{I_2} t^2 \left(\frac{\alpha}{2} - \frac{\beta t}{3t_1} \right) \\ \varphi_2 &= \frac{q_M}{I_2} t^3 \left(\frac{\alpha}{6} - \frac{\beta}{9t_1} t \right) \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

5-7. В цьому випадку момент в муфті може зрівнюватись з моментом M_O один або два рази. Моменти перетинаються тільки один раз, якщо виконується умова

$$\frac{\alpha}{\beta} > \frac{M_O}{q_M t_1 \beta} + 1. \quad (14)$$

Час t_{P1}, t_{P2} дорівнює

$$t_{P1, P2} = \frac{\alpha t_1}{2\beta} \pm \sqrt{\left(\frac{\alpha t_1}{2\beta} \right)^2 - \frac{M_O t_1}{q_M \beta}}. \quad (15)$$

Рівняння руху веденої півмуфти набуває вигляду

$$I_2 \ddot{\varphi}_2 = q_M \left[\alpha - \frac{\beta}{t_1} (t^2 + 2t_P t) \right].$$

Інтегруючи, одержимо

$$\left. \begin{aligned} \omega_2 &= \frac{q_M \alpha}{2I_2} t^2 - \frac{q_M \beta}{I_2 t_1} t^2 \left(\frac{t}{3} + t_P \right) \\ \varphi_2 &= \frac{q_M \alpha}{6I_2} t^3 - \frac{q_M \beta}{I_2 t_1} t^3 \left(\frac{t}{12} + \frac{t_P}{3} \right) \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

У випадку, якщо умова (14) не виконується, то рівняння (16) справедливе на проміжку часу від t_{P1} до t_{P2} . Після того, як час t перевищить значення t_{P2} , рівняння руху півмуфти матимуть такий вигляд:

$$I_2 \ddot{\varphi}_2 = q_M t \left(\alpha - \frac{\beta}{t_1} t \right) - M_O,$$

$$\omega_2 = \frac{q_M t^2}{I_2} \left(\frac{\alpha}{2} - \frac{\beta}{3t_1} t \right) - \frac{M_O}{I_2} t + \omega_{2P2}, \quad (17)$$

$$\varphi_2 = \varphi_{2P2} + \omega_{2P2} t + \frac{q_M t^3}{6I_2} \left(\alpha - \frac{\beta}{2t_1} t \right) - \frac{M_O}{2I_2} t^2.$$

Тут $\varphi_{2P2}, \omega_{2P2}$ – кут повороту і швидкість веденої півмуфти на момент часу $t = t_{P2}$.

5-8. Як в попередньому випадку моменти муфти M_M і опору (гальма) можуть зрівнюватись один раз або двічі. Умова того, що моменти не зрівнюються на проміжку $t \leq t_1$, має вигляд

$$\text{при } t_1 > t_{2K} \quad \alpha > \frac{M_G}{q_M t_1} + \beta; \quad (18)$$

$$\text{при } t_1 < t_{2K} \quad \alpha > \frac{M_G + M_{2K} - q_2 t_1}{q_M t_1} + \beta. \quad (19)$$

Тепер запишемо

$$M_{2K} - q_2 (t_{P1} - t_{20}) = q_M t_{P1} \left(\alpha - \frac{\beta}{t_1} t_{P1} \right). \quad (20)$$

Час t_{P1}, t_{P2} дорівнює

при $t_1 < t_{2K}$

$$\left. \begin{aligned} t_{P1,2} &= \frac{(q_M \alpha + q_2) t_1}{2q_M \beta} \mp \\ &\mp \sqrt{\frac{(q_M \alpha + q_2)^2 t_1^2}{4q_M^2 \beta^2} - \frac{(M_{2K} - q_2 t_{20}) t_1}{q_M \beta}}; \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

при $t_1 \geq t_{2K}$

$$\left. \begin{aligned} t_{P1} &= \frac{(q_M \alpha + q_2) t_1}{2q_M \beta} \mp \\ &\mp \sqrt{\frac{(q_M \alpha + q_2)^2 t_1^2}{4q_M^2 \beta^2} - \frac{(M_{2K} - q_2 t_{20}) t_1}{q_M \beta}} \\ t_{P2} &= \frac{\alpha t_1}{2\beta} + \sqrt{\left(\frac{\alpha t_1}{2\beta} \right)^2 - \frac{M_G t_1}{q_M \beta}} \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

Рівняння руху веденої півмуфти на проміжку часу між t_{P1}, t_{2K} при виконанні умов (18), (19) набуде вигляду

$$\begin{aligned} I_2 \ddot{\varphi}_2 &= (q_M \alpha + q_2) (t_{P1} + t) - \\ &- q_M \frac{\beta}{t_1} (t_{P1} + t)^2 - M_{2K}. \end{aligned} \quad (23)$$

З врахуванням (20) запишемо

$$I_2 \ddot{\varphi}_2 = q_M t \left(\alpha - \frac{2\beta t_{P1}}{t_1} - \frac{\beta t}{t_1} \right) + q_2 (t_{20} + t). \quad (24)$$

Двічі інтегруємо

$$\left. \begin{aligned} \omega_2 &= \frac{q_M}{I_2} t^2 \left(\frac{\alpha}{2} - \frac{\beta t_{P1}}{t_1} - \frac{\beta t}{3t_1} \right) + \\ &+ \frac{q_2 t}{I_2} \left(t_{20} + \frac{t}{2} \right); \\ \varphi_2 &= \frac{q_M}{2I_2} t^3 \left(\frac{\alpha}{3} - \frac{2\beta t_{P1}}{3t_1} - \frac{\beta t}{6t_1} \right) + \\ &+ \frac{q_2 t^2}{I_2} \left(t_{20} + \frac{t}{3} \right). \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

З часу $t = t_{2K}$ дія гальмівного моменту припиняється, і опір рухові чинить тільки момент від сили ваги, тобто $M_O = M_G$. Рівняння руху півмуфт набуває вигляду

$$I_2 \ddot{\varphi}_2 = q_M t \left(\alpha - \frac{\beta}{t_1} t \right) - M_G. \quad (26)$$

Інтегруємо його з початковими умовами при $t = t_{2K}$ $\omega_2 = \omega_{2K}, \varphi_2 = \varphi_{2K}$

$$\left. \begin{aligned} \omega_2 &= \frac{q_M t^2}{2I_2} \left(\alpha - \frac{2\beta}{3t_1} t \right) - \\ &\quad - \frac{M_G}{I_2} t + \omega_{2K} ; \\ \varphi_2 &= \frac{q_M t^3}{2I_2} \left(\frac{\alpha}{3} - \frac{\beta}{6t_1} t \right) - \\ &\quad - \frac{M_G}{2I_2} t^2 + \omega_{2K} t + \varphi_{2K} . \end{aligned} \right\} (27)$$

Одержані рівняння дають змогу здійснити розрахунок швидкості і переміщення веденої півмуфти і відповідно вала барабана лебідки на етапі розгону при різних характеристиках моментів у муфті, моментів гальма і сил опору. Аналіз режимів вмикання муфти засвідчив, що перший і другий варіанти (рис. 1) дають менші втрати на тертя порівняно з третім, але при цьому мають місце більші динамічні навантаження.

УДК 551.131

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ АРЕАЛУ ЗАБРУДНЕНЬ ДОВКІЛЛЯ ШКІДЛИВИМИ ВИТОКАМИ

Л.Є.Шкіца

ІФД: ІУІП, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42342
e-mail: public@ifdtung.if.ua

Рассмотрены составные математической модели формирования ареала вредных веществ, вытекающих из хранилища. Предложена математическая модель процесса формирования загрязнения окружающей среды вредными веществами. Разработана методика формирования ареала загрязнений окружающей среды.

При створенні сховищ шкідливих відходів виробництва у відкритих водоймах спостерігається проникнення рідини через дно водойми в ґрунт і подальша її фільтрація з формуванням ареалу. З екологічної точки зору важливе значення має форма і розміри ареалу, розподіл концентрації шкідливих відходів і термін формування.

З метою встановлення загальних закономірностей формування ареалу шкідливих витоків зі сховищ створено математичну модель процесу.

При створенні математичної моделі формування ареалу шкідливих витоків з сховища прийнято такі припущення:

- інтенсивність просочування рідини в ґрунт постійна в часі і відома;
- фільтрація рідини в ґрунті лінійна і підпорядкована закону Дарсі;
- фільтрація ґрунтових вод і фільтрація витоків зі сховищ розглядаються як незалежні процеси.

Література

1 Архангельский В.Л. Влияние характеристики пневматической оперативной муфты на динамические нагрузки в подъемной системе буровых установок // Реф. научн. техн. сб.: Машины и нефтяное оборудование. – М.: ВНИИОЭНГ, 1970. – №9. – С. 7-13.

2 Борисов С.М. Пневмокамерные фрикционные муфты. – М.: Машиностроение, 1971. – 180 с.

3 Архангельский В.Л., Антонов А.А., Аксенова Н.Г. Выбор оперативных пневматических муфт буровых лебедок // Реф. научн. техн. сб.: Машины и нефтяное оборудование. – М.: ВНИИОЭНГ, 1970. – №9. – С. 13-18.

Integral mathematical models of harmful substances coming out from a storage geographical range forming are reviewed.) Mathematical model of the process of environmental pollution of geographical range with harmful substances forming is offered. Application method to assess the process of environmental pollution geographical range forming is developed.

В основу математичної моделі покладено рівняння нестационарної плоскої фільтрації рідини в пористому середовищі, в якій джерело моделюється за допомогою функцій Дірака

$$\frac{dw}{dt} = \chi \left(\frac{dw^2}{dx^2} + \frac{dw^2}{dy^2} \right) - \chi \frac{q}{F} \cdot \delta(x - x_q) \cdot \delta(y - y_q), (1)$$

де: w – швидкість фільтрації як функція часу t і просторових декартових координат x та y ;

$$\chi = \frac{kc^2}{\gamma}; \quad k - \text{проникливість пористого середовища}; \quad c - \text{швидкість розповсюдження звуку в середовищі}; \quad \gamma - \text{кінематична в'язкість рідини};$$

q – інтенсивність джерела; F – площа поверхні, через яку здійснюється фільтрація; X_q, Y_q – декартові координати джерела в площині;

$\delta(x - x_q), \delta(y - y_q)$ – функції Дірака.