

ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ПІДНІМАННЯ КОЛОНИ БУРИЛЬНИХ ТРУБ ПРИ СПУСКО-ПІДНІМАЛЬНИХ ОПЕРАЦІЯХ

С.І. Криштопа

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42351

e-mail: r e t e s @ m a i l . r u

Стаття посвячена определению времени подъема колонны буровых труб при спуско-подъемных операциях на буровых установках. Доказана актуальность вопроса и проанализированы недостатки существующего в данный момент метода расчета времени подъема колонны буровых труб по коэффициенту заполнения тахограммы подъема. Предложен новый метод определения времени подъема колонны буровых труб, который базируется на решении уравнения движения колонны буровых труб. Проведено теоретическое исследование зависимости времени подъема колонны буровых труб от силы тяги двигателей силового привода, веса части талевого системы, осуществляющей обратное-поступательное движение, и нагрузки на крюке от веса буровой колонны.

The article is devoted to determination of time of getting up of column of boring pipes at tripping on boring options. Actuality of question is proved and the lacks of method of timing getting up of column of boring pipes existing presently on the coefficient of filling of the tachogrammi getting up are analysed. A new method of determination of time of getting up of column of boring pipes which is based on the decision of equalization of motion of column of boring pipes is offered. Theoretical research of dependence of time of getting up of column of boring pipes from tractive force of engines of power drive is conducted weights of part of the talevoy system carrying out reverse-forward motion and loading on a hook from weight of boring column.

На сьогоднішній день бурові установки мають як різні типи силових передач (механічні, гідравлічні, електричні), так і різні типи силових установок (дизельні, електричні, газотурбінні), тому актуальною є проблема визначення витрат часу при проведенні технологічних операцій для різних типів та кінематичних схем силових приводів, які в даний час недостатньо враховуються при конструюванні та експлуатації бурових установок. Ця проблема пов'язана з важливим практичним завданням підвищення продуктивності бурових установок. В даній статті запропоновано метод визначення витрат часу під час піднімання колони бурильних труб при проведенні спуско-піднімальних операцій.

Аналіз останніх досліджень показує, що в даний час для практичних розрахунків витрат часу t_{Π} при проведенні спуско-піднімальних операцій застосовується метод використання середніх значень коефіцієнтів заповнення тахограми піднімання колони бурильних труб на висоту однієї свічки, згідно якого витрати часу t_{Π} визначаються за допомогою залежності [1]

$$t_{\Pi} = \frac{\lambda_{\Pi} \times h_c}{V_{k.max.n}} = \frac{h_c}{V_{k.сер.n}},$$

де: h_c – довжина свічки, $V_{k.max.j}$ – максимальна швидкість колони труб з j свічок під час періоду t_c її сталої швидкості руху, $V_{k.сер.j}$ – середня швидкість колони труб з j свічок, λ_{Π} – коефіцієнт заповнення тахограми.

Час t_{Π} кожного циклу тахограми підйому бурильної колони на довжину однієї свічки складається з трьох періодів (рис. 1): періоду розгону t_p , протягом якого колони збільшує

швидкість руху при підніманні; періоду сталої швидкості руху t_c при підйомі; періоду уповільнення руху при підніманні до повної зупинки t_y і, відповідно, знаходиться з виразу [1]

$$t_{\Pi} = t_p + t_c + t_y.$$

Коефіцієнт заповнення тахограми λ_{Π} є відношенням площі трапеції ABEF до площі трапеції ACDF (рис. 1). В даний час коефіцієнт заповнення тахограми λ_{Π} визначається за емпіричною залежністю

$$\lambda_{\Pi} = 1 + c \times \frac{V_{k.max.j}^2}{h_c},$$

де: c – коефіцієнт, що залежить від типу привода лебідки (для електричного та дизель-електричного привода приймають $c = 2,4 \text{ с}^2/\text{м}$; для дизельного привода з гідротрансформатором та газотурбінного привода – $c = 3,6 \text{ с}^2/\text{м}$; для дизель-механічного привода та дизельного привода з гідромумфтою – $c = 4,8 \text{ с}^2/\text{м}$).

Але використання цих коефіцієнтів не дає можливості враховувати кінематичні особливості конкретного силового привода та точно визначати витрати часу на піднімання бурильної колони. Тому, метою даної статті є створення методу, який би давав змогу більш точно визначати витрати часу на підйом колони бурильних труб при спуско-піднімальних операціях з метою порівняння різних типів приводів та кінематичних варіантів одного типу привода при комплектації бурових установок.

Визначимо витрати часу $t_{p.j}$ під час періоду розгону колони бурильних труб на довжину j -ої свічки. Розгін бурильної колони відбувається за рахунок перевищення сили тяги

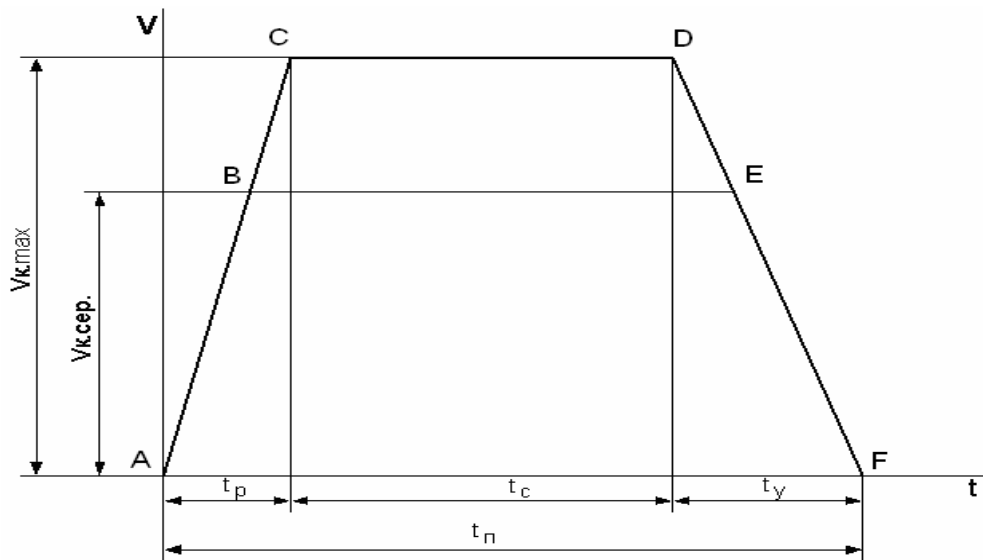


Рисунок 1 – Тахограма підйому колони труб на довжину свічки

двигуна (двигунів) P_T над силою, що складається з ваги частини талевої системи $G_{T.c.}$, що здійснює зворотно-поступальний рух та навантаження на гаку при підніманні бурильної колони з j свічок $P_{k.j}$. Таким чином, рівняння руху колони під час періоду її розгону $t_{p.j}$ можна записати у вигляді

$$m_{пр.j} \frac{dv}{dt} = P_T - G_{T.c.} - P_{k.j}, \quad (1)$$

де $m_{пр.j}$ – приведена до талевого блоку маса системи, що здійснює зворотно-поступальний рух.

З рівняння (1) випливає, що час розгону $t_{p.j}$ можна визначити як інтеграл зміни швидкості колони з j свічок в інтервалі від нуля до $V_{k.max.j}$

$$t_{p.j} = \int_0^{V_{k.max.j}} \frac{m_{пр.j}}{P_T - G_{T.c.} - P_{k.j}} dv. \quad (2)$$

Визначимо величини, які входять у залежність (2). Приведена до талевого блоку маса системи $m_{пр.j}$, що здійснює зворотно-поступальний рух, складається з таких величин

$$m_{пр.j} = m_{ч.т.} + m_{к.j} + m_{в.б.} + m_{т.к.} + m_{к.с.},$$

де $m_{ч.т.}$ – маса частин талевої системи, що рухаються поступально, і залежить від моделі конкретної бурової установки; $m_{к.j}$ – маса бурильної колони з j свічок; $m_{в.б.}$ – приведена маса підйомного вала з барабаном; $m_{т.к.}$ – приведена маса намотаного на барабан талевого каната; $m_{к.с.}$ – приведена маса елементів силового привода, що обертаються, яка визначається залежно від кінематичної схеми кон-

кретного привода, передавальних відношень між його елементами та моментів інерції його окремих частин.

Приведена маса підйомного вала з барабаном $m_{в.б.}$ визначається з виразу [1]

$$m_{в.б.} = \frac{J_{в.б.} \times u_T^2}{R_б^2},$$

де: $J_{в.б.}$ – сумарний момент інерції підйомного вала з барабаном; u_T – кратність талевої системи; $R_б$ – радіус барабану.

Приведена маса намотаного на барабан талевого каната $m_{т.к.}$ знаходиться за залежністю [1]

$$m_{т.к.} = 2 \times \pi \times u_T^2 \times R_{н.к.} \times z,$$

де: $R_{н.к.}$ – радіус намотування каната на барабан; z – кількість витків.

Сила тяги від двигуна (двигунів, силового агрегату, оперативної муфти) P_T у рівнянні (1) визначається з виразу [1]

$$P_T = \frac{M_{кр} \eta_{тр} \eta_{т.с.} u_{д.-в.} u_T}{R_{н.к.}}, \quad (3)$$

де: $M_{кр}$ – крутний момент, що передається з вихідного вала двигуна (силового агрегату, оперативної муфти) під час періоду розгону та залежить від характеристики розподілу крутного моменту конкретного типу привода; $\eta_{тр}$ – ККД трансмісії привода; $\eta_{т.с.}$ – ККД талевої системи; $u_{д.-в.}$ – передавальне відношення від двигуна (силового агрегату, оперативної муфти) до підйомного вала.

ККД талевої системи $\eta_{т.с.}$ знаходиться за залежністю [1]

$$\eta_{т.с.} = \frac{\eta_{ш} \cdot (1 - \eta_{ш}^{u_T})}{u_T \cdot (1 - \eta_{ш})}$$

де $\eta_{ш}$ – ККД кожного шківa.

Навантаження на гаку при підніманні бурильної колони з j свічок $P_{к. j}$ у рівнянні (1) визначається за формулою [2]

$$P_{к. j} = \left(1 - \frac{\rho_{б.р.}}{\rho_m} \right) \times \left(\sum_{n=1}^n q_{б.м.} L_{к. j} + \sum q_{о.б.м.} L_{о.б.м.} + G_{ін} \right) + P_{тер},$$

де: $\rho_{б.р.}$, ρ_T – відносні густини бурового розчину і матеріалу труб; $q_{б.т.}$, $q_{о.б.т.}$ – вага 1 м бурильних труб та обважених бурильних труб колони; $L_{к. j}$, $L_{о.б.т.}$ – довжина бурильної колони з j свічок та обважених бурильних труб колони; $G_{ін}$ – вага інших елементів бурильної колони (долота та ін.), $P_{тер}$ – сила тертя бурильної колони до стінки свердловини.

Максимальна швидкість підйому бурильної колони $V_{к. max. j}$ з j свічок (рис. 1) у рівнянні (2) знаходиться із залежності

$$V_{к. max. j} = \frac{\eta_{тр} \eta_{т.с.} N_{дв}}{P_{к. j} + G_{т.с.}}$$

де $N_{дв}$ – сумарна ефективна потужність двигунів приводу лебідки.

Для визначення з рівняння (2) витрат часу $t_{р. j}$ під час періоду розгону при підніманні бурильної колони з j свічок на довжину однієї свічки інтервал зміни швидкості від нуля до $V_{к. max. j}$ розбиваємо на i ділянок, де $i = 1, 2, 3, \dots$, тобто швидкість талевого блоку в кінці кожного інтервалу буде визначатись за залежністю

$$V_{j, i+1} = V_{j, i} + \Delta V_j, \quad (4)$$

де $\Delta V_j = \frac{V_{к. max. j}}{i}$ – приріст швидкості в кінці інтервалу під час періоду розгону бурильної колони з j свічок на довжину однієї свічки.

Сила тяги від двигуна (двигунів, силового агрегату, оперативної муфти) P_T на кожному інтервалі, згідно з виразом (3) знайдемо за залежністю

$$P_{T. i} = \frac{M_{кр. сер. i} \eta_{тр} \eta_{т.с.} u_{д. в.} u_T}{R_{н.к.}}, \quad (5)$$

де $M_{кр. сер. i} = \frac{M_{кр. i} + M_{кр. i+1}}{2}$ – середнє значення крутного моменту двигуна в інтервалі.

Для більшості двигунів бурових установок графічні залежності $M_{кр} = f(n)$ надаються

заводами-виробниками. Для прикладу, на рис. 2 зображена така дійсна залежність $M_{кр. дійс.} = f(n)$ для двигуна В2-800 ТК-С3 [3].

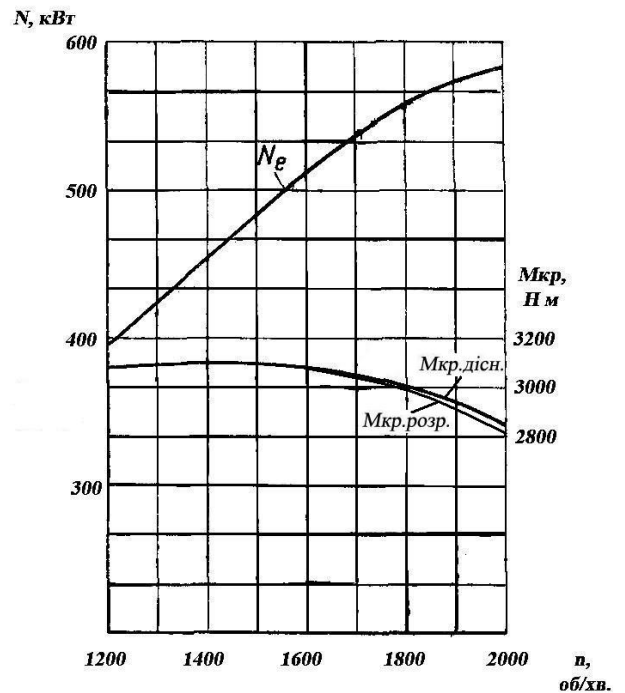


Рисунок 2 – Зовнішня характеристика двигуна В2-800 ТК-С3

Для більш зручного аналітичного визначення значень проміжних точок крутного моменту дизельних двигунів $M_{кр. i}$ від оборотів, при проведенні розрахунків за допомогою комп'ютерної техніки, залежність $M_{кр} = f(n)$ аппроксимуємо формулою кубічного тричлена [4]

$$M_{кр. i} = M_{кр. N} \left[a + b \frac{n_i}{n_N} - c \left(\frac{n_i}{n_N} \right)^2 \right], \quad (6)$$

де $M_{кр. N}$ – крутний момент двигуна при номінальних оборотах.

Для розрахунків коефіцієнтів a , b та c необхідно представити реальні залежності $M_{кр} = f(n)$ рівнянням (6), для чого, позначивши

$\frac{M_{кр. i}}{M_{кр. N}} = y$ та $\frac{n_i}{n_N} = x$ скористатись інтегральною формулою Лагранжа [5]

$$y = y_1 \frac{(x - x_2)(x - x_3)}{(x_1 - x_2)(x_1 - x_3)} + y_2 \frac{(x - x_1)(x - x_3)}{(x_2 - x_1)(x_2 - x_3)} + y_3 \frac{(x - x_1)(x - x_2)}{(x_3 - x_1)(x_3 - x_2)}, \quad (7)$$

де y_1, x_1 ; y_2, x_2 ; y_3, x_3 – координати довільних проміжних точок залежності $M_{кр} = f(n)$.

Для дизельних двигунів бурових установок зручно приймати $n_1 = n_{\min}$ (обороти холостого ходу), $n_2 = n_{M.\max}$ (обороти максимального крутного моменту), $n_3 = n_N$ (обороти максимальної потужності), хоча можна брати і будь-які інші значення. При підставленні значень координат довільних точок в рівняння (7), після перетворень одержимо рівняння (6), в якому коефіцієнти a , b та c будуть виражені числовими значеннями. При відсутності відповідних графічних залежностей можна аналітично визначити проміжні точки крутного моменту двигуна $M_{кр,i}$ скориставшись даними про номінальну ефективну потужність двигуна N_e на номінальних оборотах n_{\min} та про максимальний ефективний крутний момент двигуна $M_{кр,\max}$ на оборотах максимального крутного моменту $n_{M.\max}$, які наводяться в технічних характеристиках всіх двигунів.

Наприклад, наведена на рис. 2 графічна залежність $M_{кр,дійс.} = f(n)$ для двигуна В2-800 ТК-С3 буде апроксимуватись такою формулою кубічного тричлена

$$M_{кр,розра} = M_{кр,N} \left[0,605 + 1,3913 \frac{n_i}{n_N} - 0,996 \left(\frac{n_i}{n_N} \right)^2 \right]$$

де крутний момент двигуна при номінальних оборотах $M_{кр,N} = 2850 \text{ Н}\cdot\text{м}$, а номінальні обороти $n_N = 2000 \text{ об./хв}$.

Таким чином, за знайденим середнім значенням крутного моменту в інтервалах $M_{кр,сер,i}$ визначається сила тяги від двигуна (двигунів) $P_{Т,i}$ на кожному інтервалі.

Далі розраховується час розгону колони $t_{р,j,i}$ в інтервалі швидкості від $V_{i,j}$ до $V_{i+1,j}$

$$t_{р,j,i} = \int_{V_{j,i}}^{V_{j,i+1}} \frac{m_{пр,j}}{P_{Т,i} - G_{Т.с.} - P_{к,j}} dv.$$

Після визначення часу розгону колони в i -му інтервалі здійснюється збільшення швидкості на величину ΔV_j за формулою (4) і розрахунок повторюється. Процес триває, доки $V_{j,i+1}$ не буде дорівнювати $V_{к.\max,j}$. Загальний час розгону колони при її підйомі на довжину j -ої свічки $t_{р,j}$ до швидкості $V_{к.\max,j}$ визначається сумуванням інтервалів часу розгону колони

$$t_{р,j} = \sum_{i=1}^i t_{р,j,i}.$$

Визначимо витрати часу $t_{y,j}$ під час періоду уповільнення руху при підйомі бурильної

колони з j свічок на довжину однієї свічки. Під час періоду уповільнення руху $t_{y,j}$ колони з талевою системою рухається за інерцією вверх, силовий привод при цьому відключається, а час уповільнення руху $t_{y,j}$ складе

$$t_{y,j} = \frac{V_{к.\max,j} m_{y,j}}{2(G_{Т.с.} + P_{к,j})}. \quad (9)$$

Розрахуємо величини, що входять у залежність (9). Приведена до талевого блоку маса системи $m_{y,j}$, що здійснює зворотно-поступальний рух при підйомі бурильної колони з j свічок, складається з таких величин

$$m_{y,j} = m_{ч.т.} + m_{к,j} + m_{р.к.},$$

де $m_{р.к.}$ – маса робочих струн талевого каналу, що залежить від кратності талевої системи.

Витрати часу під час періоду сталої швидкості руху $t_{с,j}$ колони труб при її підйомі на довжину j -ої свічки визначимо з рівняння

$$t_{с,j} = \frac{h_c - l_{р,j} - l_{y,j}}{V_{к.\max,j}},$$

де: $l_{р,j} = \frac{t_{р,j} V_{к.\max,j}}{2}$ – шлях талевого блока при розгоні колони труб при її підйомі на довжину j -ої свічки, $l_{y,j} = \frac{t_{y,j} V_{к.\max,j}}{2}$ – шлях талевого блока при уповільненні колони з j свічок.

Загальний час піднімання колони бурильних труб з j свічок без врахування витрат допоміжного часу на машинно-ручні операції (розгвинчування труб, встановлення і ін.) визначиться як сума витрат часу на розгін, уповільнення і на період сталої швидкості руху при підйомі кожної з j свічок

$$t_{з.п.} = \sum_{j=1}^j t_{р,j} + \sum_{j=1}^j t_{y,j} + \sum_{j=1}^j t_{с,j}.$$

Для порівняння витрат часу при підніманні колони бурильних труб запропонованим та традиційним методами для бурової установки БУ-4000Д-1 в середовищі Mathcad була складена програма. Вихідні параметри при розрахунку були такими: довжина свічки – 27 метрів, кількість свічок – 100, вага 1 метра бурильних труб – 300 Н/м, максимальна швидкість підйому гака – 1,6 м/с, емпіричний коефіцієнт типу привода лебідки $c = 4,8 \text{ с}^2/\text{м}$, густина бурового розчину – 1200 кг/м³, густина матеріалу труб – 7800 кг/м³, оснастка талевого механізму – 5×6, кількість проміжних точок інтервалу зміни швидкості від нуля до максимального значення – 20, інші дані – з технічної характеристики бурової установки.

В результаті проведених розрахунків встановлено, що витрати часу на піднімання однієї свічки колони бурильних труб згідно з традиційним методом використання середніх значень

Таблиця 1 – Деякі результати розрахунків згідно запропонованого методу визначення витрат часу при підніманні свічок колони бурильних труб

Номер свічки	Час підняття без врахування допоміжних операцій, с	Середня механічна швидкість підняття свічки, м/с	Примітка
1	40,521	0,667	
2	40,147	0,673	
43	24,825	1,088	Відповідає даним часу і швидкостям, що одержані традиційним методом
з 62 до 100	18,131	1,489	Завдяки зменшенню ваги колони забезпечується запас потужності при досягненні максимальної швидкості підйому

коефіцієнтів заповнення тахограми становитимуть 24,801 секунди з середньою механічною швидкістю піднімання свічок – 1,089 м/с, причому згідно з традиційним методом цей час ніяк не залежить від ваги колони бурильних труб, особливостей компоновання бурової установки та інших чинників.

Деякі результати розрахунків згідно запропонованого методу для бурової установки БУ-4000Д-1 наведені в табл. 1.

Загалом, як показали розрахунки, витрати часу, обчислені традиційним методом, на 5-15% менші, ніж витрати часу, розраховані за уточненим методом. Причому розбіжність результатів розрахунків збільшується зі збільшенням кількості свічок.

Таким чином, можна зробити висновок, що запропонований метод визначення витрат часу при підніманні колони бурильних труб з j свічок під час проведення спуско-піднімальних операцій, який може бути реалізований завдяки можливостям сучасної обчислювальної техніки, є більш досконалим в порівнянні з традиційним. Перспективою подальшої роботи у даному напрямку є дослідження використання запропонованого методу для бурових установок з різними типами силових приводів.

Література

1 Ильский А.Л., Миронов Ю.В., Чернобельский А.Г. Расчет и конструирование бурового оборудования: Учеб. пособие для вузов. – М.: Недра, 1985. – 452 с.

2 Баграмов Р.А. Буровые машины и комплексы: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1988. – 501 с.

3 Дизель В2. Описание и руководство по эксплуатации. – М.: Энергомашэкспорт, 1985. – 251 с.

4 Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для вузов / Д.Н. Вырубов, Н.А. Иващенко, В.И. Ивин и др.; Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – М.: Машиностроение, 1983. – 372 с.

5 Никольский С.М. Курс математического анализа. Т. I. – 3-е изд., пере раб. и доп. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 464 с.