

ДИНАМІЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ В МЕХАНІЗМАХ ПІДЙІМАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ БУРОВОЇ УСТАНОВКИ ПРИ СПУСКО-ПІДЙІМАЛЬНИХ ОПЕРАЦІЯХ

В. Т. Іващенко, М. М. Лях, В. С. Витвицький

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;
тел. +380(342)72-71-47; e-mail: mechmach@nung.edu.ua*

В роботі наведено розрахунок динамічних навантажень в механізмах підйімального комплексу бурової установки при виконанні спуско-підйімальних операцій в період підхоплювання бурильної колони з ротора, тобто в процесі переносу навантаження зі стола ротора на талева систему і вишку.

Проведено аналіз коливальних процесів в механізмах комплексу, викликаних інерційними силами при спуску або підйманні бурильної колони. Дано рекомендації по зменшенню динамічних навантажень в підйімальній частині бурової установки.

Ключові слова: *коливальний процес, буровий ротор, талева система, пружна опора ротора, вітки талевої системи.*

Джерелом вимушених коливань в механізмах підйімального комплексу бурової установки є притаманний їй процес періодичного навантаження і зняття навантаження з талевої системи і вишки, а також нерівномірність швидкості намотування каната на барабан. Нерівномірність швидкості намотування має місце протягом циклу спуску або підймання колони на одну свічку і зумовлено різними причинами, до яких відносяться розгін на початку підймання і гальмування системи в кінці спуску при зупинці, а також кінематика багатошарового намотування каната на барабан. Також можлива зміна швидкості руху з технологічних причин, а саме – затягування бурильної колони в необсадній частині свердловини при підніманні з різким вивільненням, що викликають коливання в механізмах підйімального комплексу, однак ці явища не пов'язані з буровою установкою, зустрічаються рідко порівняно з вище переліченими і їх можна назвати випадковими.

Коливальні процеси в механізмах підйімального комплексу при спуско-підйімальних операціях (СПО) в залежності від їх походження підрозділяються на:

1. Коливальний процес, який зумовлений різким навантаженням підйімального комплексу при підхоплюванні колони зі стола ротора.
2. Коливальний процес, який зумовлений інерційними силами при підніманні або спуску колони в наступних випадках:

- на початку розгону підвішеного вантажу;
- в кінці розгону, при переході до усталеного руху;
- в кінці підймання, при переході до сповільнення;
- в кінці спуску, після переходу від рівномірного руху до сповільнення при гальмуванні і зупинці.

У більшості випадків коливання в кінці розгону при підніманні накладаються на ще не затухаючі коливання від підхоплювання колони ротора (або від початку розгону підвішеного вантажу).

3. Коливальний процес, обумовлений нерівномірністю швидкості руху ведучої вітки, яка викликана кінематикою багатошарового намотування каната на барабан в період усталеного руху талевого блока.

Коливальний процес при підхоплюванні бурильної колони з ротора обумовлений інтенсивністю переносу навантаження з ротора на талеву систему з вишкою і залежить від жорсткості і пружності системи (талева система - вишка - елементи привода лебідки) і плавності регулювання частоти обертання вала двигуна при розгоні.

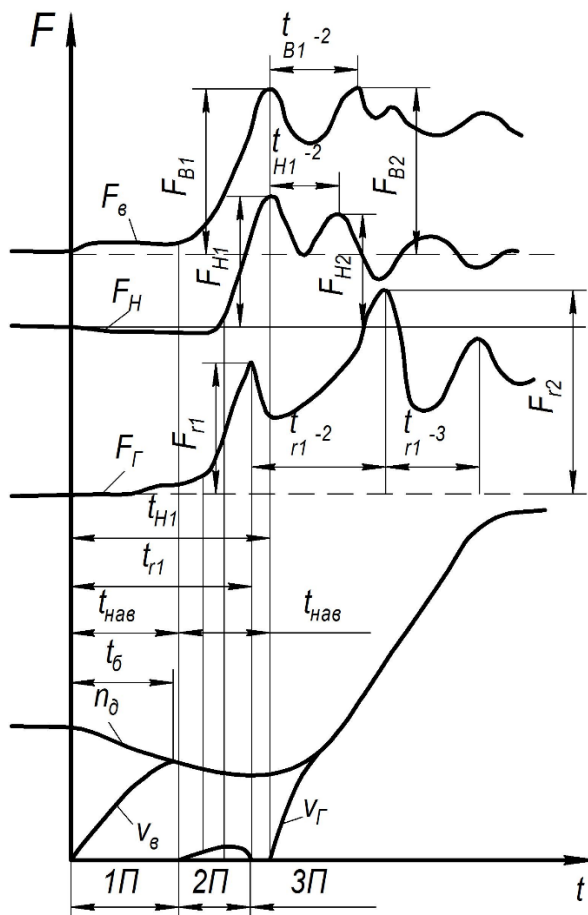


Рис. 1. Коливальний процес в елементах підйимального комплексу бурової установки в період підхоплювання бурильної колони

Коливальний процес в механізмах підйимального комплексу при підхоплюванні, у випадку привода бурової лебідки від двигунів внутрішнього згорання (бурова установка НБО-Д) показано на рис. 1.

Дослідженнями, проведеними за методикою [1], реєструвались у часі наступні параметри: F_B , F_H , F_T – зусилля у ведучій, нерухомій вітках і на гаку; v_B , v_T – швидкість руху ведучої вітки і гака; n_δ , n_σ – частота обертання ведучої і веденої частин муфти і барабана. Із рисунка видно, що процес навантаження можна розділити на три періоди, тривалість яких змінюється в межах: першого – 0...2 с; другого – 0,15...1 с; третього – 0...10 с.

Перший період – від початку обертання частин муфти оперативного включення до кінця вибору зазорів в талевій системі. В цьому періоді закінчується процес пробуксовування частин муфти.

До кінця першого періоду талевий блок піднімається на висоту зазорів між штропами і проушинами елеватора і на висоту, що дорівнює робочому ходу пружини гака (рис. 2,а,б).

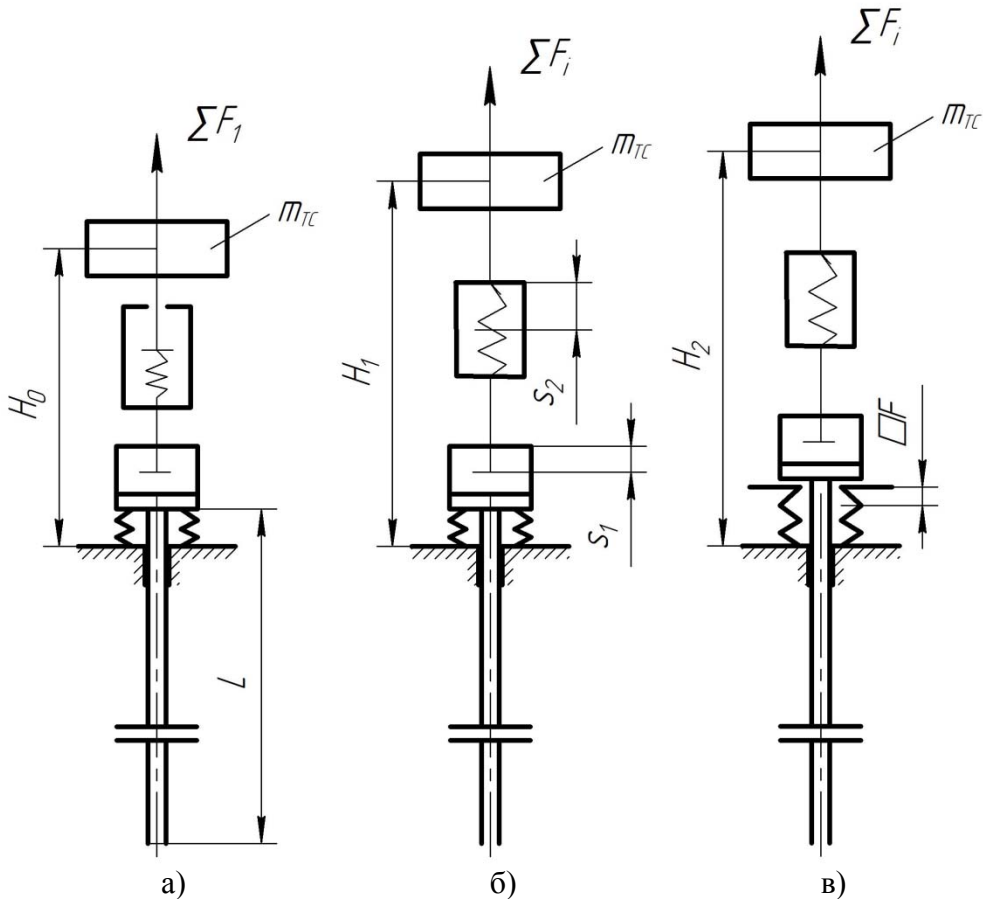


Рис. 2. Етапи руху елементів спуско-підйимального комплексу при підхоплюванні бурової колони з ротора

Швидкість руху талевого блоку в цей період змінюється від 0 до v_1 , а швидкість двигунів від n_{xx} до n_1 .

Тривалість періоду залежить від зазорів в системі і видовження каната під дією сил, що виникають при прискореному русі рухомої частини талевої системи.

Другий період – від вибору зазорів в талевій системі до моменту відриву елеватора з бурильною колоною від пружної опори ротора (рис.2,в). В цей період відбувається навантаження талевої системи і вишки при одночасній деформації пружних елементів підіймальної частини і розвантаження пружної основи ротора, що супроводжується переміщенням верхнього кінця бурильних труб на висоту трохи більшу статичного стискання опори ротора.

В кінці другого періоду при великій довжині бурильної колони зусилля на гаку близьке до статичної ваги колони, а швидкість переміщення верхнього кінця бурильних труб наближається до нуля.

Як видно із рисунка 1 перший максимум зусиль на гаку в часі настає значно раніше ніж перший максимум в нерухомій і ведучій вітках.

Суть цього явища полягає в наступному. Протягом другого періоду зусилля на верхньому кінці бурильної колони забезпечується за рахунок дії потенційної енергії пружної опори ротора, а також енергій двигунів привода. До кінця періоду потенційна енергія пружної опори ротора наближається до нуля, перетворюючись в енергію положення гака з вантажем і кінетичну, яка в подальшому також переходить в енергію положення, в результаті чого темп зростання зусилля на верхній кінець труб знижується, а швидкість руху його на деякий проміжок часу наближається до нуля. Таким чином, потенційна енергія пружної опори і енергія двигунів привода створюють перший поштовх пружній колоні бурильних труб, початок і кінець якого відповідає початку і кінцю другого періоду навантаження.

Зі зменшенням довжини бурильної колони різниця в часі між першим максимумом зусилля на гаку і першим максимумом зусиль у вітках оснастки талевої системи ($t_{pu1}-t_{pe1}$, рис.2) зменшується, а при підніманні зосередженого вантажу зусилля на гаку досягає максимуму трохи пізніше, ніж у всіх елементах талевої системи.

У третьому періоді відбувається зростання зусилля у всіх елементах підіймального комплексу бурової установки до максимуму і в подальшому розгін нижньої частини колони.

Макимум зусилля в елементах підіймального комплексу (у вітках) відповідає початку нового руху верхнього кінця бурильної колони. Відбувається друге стрибкоподібне переміщення. В подальшому колона розганяється до усталеної швидкості.

Перший поштовх – імпульс пружній бурильній колоні у другому періоді навантаження розповсюджується вздовж труб, доходить до ни-

жнього кінця і відбивається . При довжині віток біля 45 м (тобто при підхоплюванні з ротора) найбільше зусилля на гаку виникає при другому коливанні. Причому час між серединою другого періоду навантаження і другим максимумом зусилля на гаку визначається швидкістю розповсюдження пружної хвилі в трубах і довжиною труб. Час може бути знайдений із виразу

$$t = \frac{2L}{a}, \quad (1)$$

де: L – довжина бурильної колони; a – швидкість розповсюдження пружної хвилі в трубах .

При підйманні колони великої довжини в період навантаження, коливання зусиль на гаку і у вітках оснастки талевої системи мають різні частоти.

У випадку піднімання зосередженого вантажу його рух починається на початку другого періоду. При цьому, в момент відриву вантажу від ротора швидкість вантажу визначається швидкістю ведучої вітки. Коливання зусиль в елементах всієї системи з вантажем мають одну частоту .

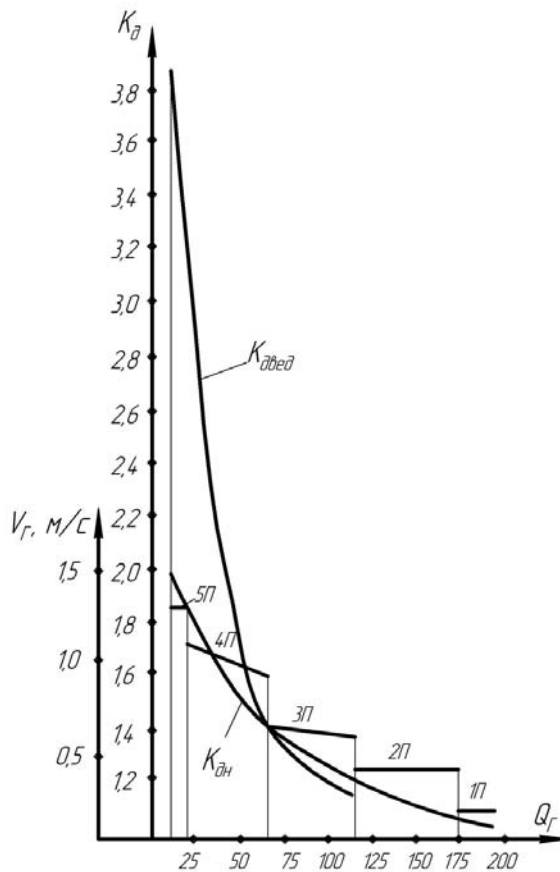


Рис. 3. Коефіцієнти динамічності ведучої і нерухомої віток в залежності від швидкості підймання гаку і навантаження на гаку

У зв'язку з багатоланковою системою, яка включає пружні елементи і зосередженні маси, складно отримати математичну залежність зміни навантажень в елементах системи в часі при підніманні в період підхоплювання.

В першому наближенні динамічне навантаження у ведучій вітці $F_{дин}$ знаходимо за формулою

$$F_{дин} = \frac{CU_{тс}}{Q_{г}} \int_{t_1}^{t_2} P dt, \quad (2)$$

де: P – зміна потужності в часі, яка підводиться до барабана лебідки в період підхоплювання; t_1 – час початку навантаження; t_2 – час завершення навантаження талевої системи ($t_{ра}$, див. рис. 1); C – зведена жорсткість системи; $Q_{г}$ – навантаження на гаку; $U_{тс}$ – кратність оснастки талевої системи.

На рис. 3 наведено значення коефіцієнта динамічності в елементах підіймального комплексу бурової установки НБО-Д, в період підхоплювання при підніманні, який визначається за формулою:

$$K_{дин} = \frac{F_{дин}}{F_{ст}}. \quad (3)$$

Значення динамічного $F_{дин}$ і статичного навантаження $F_{ст}$ визначились експериментально за даними осцилограм[1].

Підхоплювання вантажу зі стола ротора на талеву систему і вишку здійснювались при різних навантаженнях на гаку, і на різних передачах ІП...5П коробки передач бурової лебідки (див. рис. 3).

Величина динамічних навантажень в елементах підіймального комплексу в період підхоплювання обумовлена інтенсивністю процесу переносу навантаження на талеву систему і вишку, тобто швидкістю руху ведучої вітки в цей період. На рис. 4 показана залежність коефіцієнта динамічності в нерухомому кінці талевої системи від середньої швидкості руху ведучої вітки при навантаженні, яка отримана на досліджувальній буровій установці НБО-Д.

Аналізуючи дані рис.1 і 4, можна бачити, що максимальні навантаження в елементах системи формуються у другому періоді навантаження тривалістю від 0.15 до 1.0 с при швидкості руху ведучої вітки у цей період від 4 до 8 м/с. При цьому коефіцієнт динамічності в нерухомій вітці змінюється від 1.2 до 2.0, а у ведучій – до 3.8.

Як видно із практики, збільшення тривалості другого періоду при підхопленні за рахунок зменшення швидкості руху ведучої вітки зменшує динамічні навантаження. Це, зокрема, може ефективно забезпечуватись в приводі лебідки шляхом регулювання електродвигунів постійного струму, а також де має місце застосовування талевих систем з двома ведучими вітками, які одночасно намотуються на барабан лебідки.

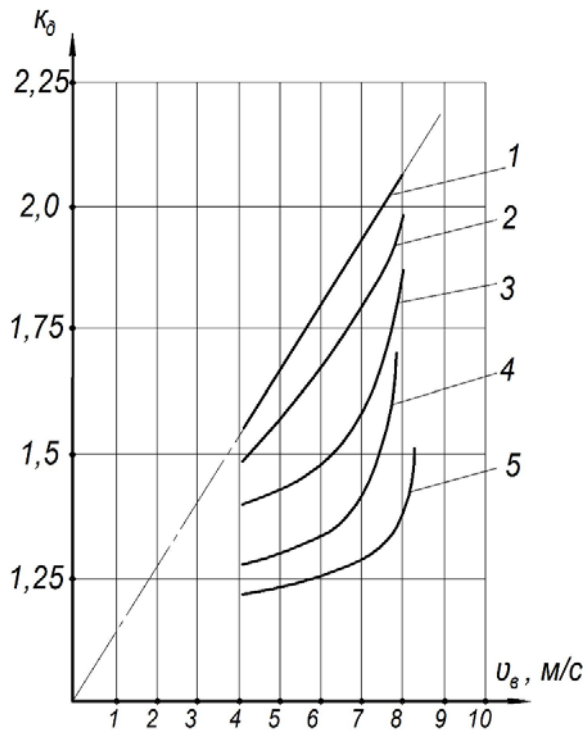


Рис. 4. Коефіцієнти динамічності в залежності від середньої швидкості ведучої вітки при навантаженні (підхоплюванні)

Коливальний процес, що викликаний інерційними силами при підйманні або спуску бурильної колони. Динамічне навантаження (з урахуванням статичної складової) в період розгону колони при підйманні визначається:

- на гаку:

$$F_{дин} = \frac{Q_r}{g} W + Q_r = Q_r \left(1 + \frac{W}{g}\right), \quad (4)$$

де: W – прискорення розгону; g – прискорення вільного падіння;

- у ведучій вітці:

$$F_{вд} = m_{зв} W + \frac{Q_r + G_{ТС}}{U_{ТС}}, \quad (5)$$

де: $m_{зв}$ – зведена до ведучої вітки маса бурильної колони, шківів, які обертаються і рухомого талевого каната; $G_{ТС}$ – вага рухомих частин талевої системи.

Інерційні сили від обертання шківів і рухомого каната прослідковуються, наприклад, при підйманні талевого блока під кронблок. В цьому випадку обривається, як правило, канат на нерухомій вітці.

В процесі гальмування при спуску інерційні сили від обертання шківів і рухомого талевого каната повинні бути враховані для визначення несучої здатності гальмівної системи.

Коливальний процес, що викликаний кінематикою багат шарового намотування каната на барабан. Зміна радіусу намотування каната при переході його із шару на шар і стрибкоподібне переміщення каната вздовж твірної барабана з одночасним переходом через вершини двох нижчележачих витків при переході одного витка в інший призводять до нерівномірної укладки каната, яка припадає на 1° повороту барабана, викликають нерівномірність швидкості руху ведучої вітки.

При переході з нижчележачого на вищележачий шар швидкість руху ведучої вітки, змінюється від v_i до v_{i+1} , при цьому

$$v_{i+1} = v_i + WT, \quad (6)$$

звідки
$$W = \frac{v_{i+1} - v_i}{T} = \frac{\Delta v}{T}, \quad (7)$$

де: W – прискорення руху ведучої вітки в період переходу; T – час переходу каната із шару на шар; Δv – збільшення швидкості.

Швидкості v_i і v_{i+1} визначаються

$$v_i = \frac{\pi D_i n_\delta}{60}, \quad (8)$$

$$v_{i+1} = \frac{\pi(D_i + 2d_k)n_\delta}{60}, \quad (9)$$

де: n_δ – частота обертання барабана, хв^{-1} ; d_k – діаметр каната; D_i – початковий діаметр навивки, м.

Оскільки тривалість переходу каната із шару на шар складає частину одного оберта, то її можна виразити

$$T = \frac{60}{n_\delta} \kappa_1, \quad (10)$$

де: κ_1 – відношення часу переходу до часу одного оберта (як правило, $\kappa_1 = 1/6$, тобто перехід відбувається за 60° обороту барабана).

Підставивши (8), (9), (10) в формулу (7), отримаємо прискорення руху ведучої вітки при переході із шару на шар

$$W = v_i \frac{d_k}{\kappa_1 D_i^2 \pi}. \quad (11)$$

При намотуванні одного шару швидкість ведучої вітки становитиме

$$v_1 = v_{CP} + A \sin(\varphi_0 + \omega t), \quad (12)$$

де: φ_0 – кут повороту барабана – початкова фаза; v_{CP} – середня швидкість; ω – кутова швидкість, с^{-1} ; t – час намотування;

A – амплітуда коливань швидкості руху, яка дорівнює

$$A = \frac{1}{2}(v_{\max} - v_{\min}) = \frac{\pi n_\delta \Delta R_\delta}{60} = v_i \frac{\Delta R_\delta}{D_i}, \quad (13)$$

де: v_{\max} і v_{\min} – максимальна і мінімальна швидкості руху ведучої вітки за один оберт барабана; ΔR_δ – зміна радіусу намотування за один оберт.

З урахуванням (13) вираз (12) матиме вигляд

$$v_1 = v_{CP} + v_i \frac{\Delta R_\delta}{D_i} \sin\left(\varphi_0 + \frac{\pi n_\delta t}{30}\right), \quad (14)$$

тобто швидкості руху ведучої вітки при намотуванні одного шару змінюється за один оберт на величину

$$\Delta v = 2v_i \frac{\Delta R_\delta}{D_i}. \quad (15)$$

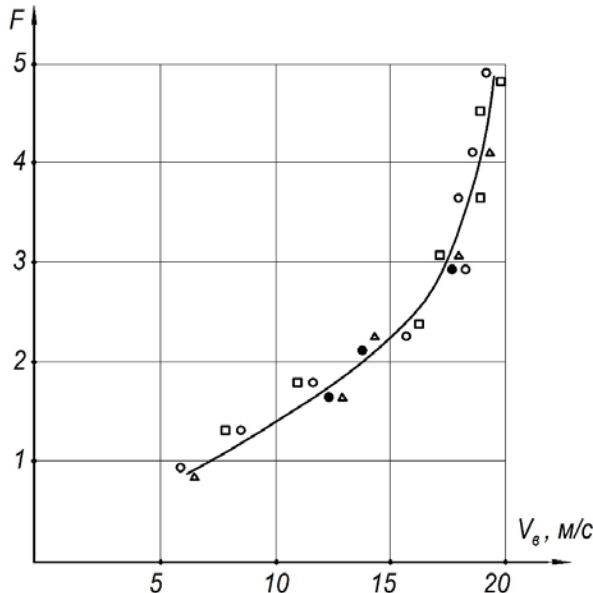
Аналогічно з (11) прискорення ведучої вітки при переході каната з витка на виток визначається

$$W = v_i^2 \frac{2\Delta R_\delta}{\kappa_2 \pi D_i^2} \quad (16)$$

де: κ_2 – відношення часу переходу витка на виток до часу одного оберта барабана (як правило $\kappa_2=1/3\dots 1/2$, тобто перехід відбувається за $120^\circ\dots 180^\circ$ обороту барабана при відсутності канавок на барабані).

Із виразів (11) і (16) бачимо, що прискорення руху ведучої вітки у перехідні періоди пропорційне квадрату її усталеної швидкості і пропорційне зростанню радіусу намотування.

На рис. 5 наведена залежність розмаху коливань зусилля в нерухомій вітці, викликаних переходом каната із шару на шар, в залежності від швидкості руху ведучої вітки. Залежність отримана за експериментальними даними на буровій установці НБО-Д [1].

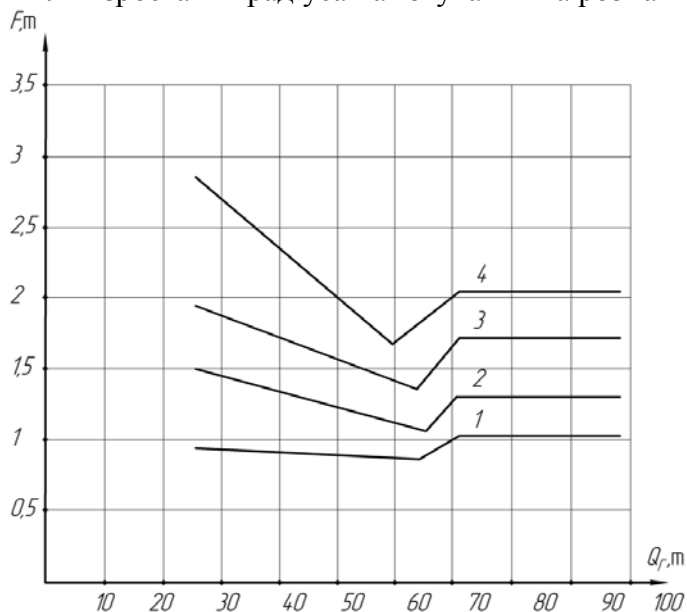


- – намотування каната з першого на другий шар; ○ – з другого на третій шар;
- – з третього на четвертий шар; △ – з четвертого на п'ятий шар

Рис. 5. Зміна розмаху коливань у нерухомій вітці, викликаних багатшаровим намотуванням каната, в залежності від швидкості ведучої вітки

Дані експериментів підтверджують, що динамічні навантаження пропорційні квадрату швидкості ведучої вітки. Розмах коливань зусиль у вітках досягає 5 і більше тонн.

На рис.6 наведено залежності розмаху коливань зусилля в нерухомій вітці при переході каната із шару на шар в залежності від радіуса шару намотування і навантаження на гаку. Із даних рисунка чітко прослідковується вплив зростання радіуса намотування на розмах коливань.



1 – намотування каната з другого на третій шар; 2 – з третього на четвертий шар; 3 – з четвертого на п'ятий шар; 4 – з п'ятого на шостий шар

Рис. 6. Зміна розмаху коливань у нерухомій вітці в залежності від кількості шарів намотування і навантаження на гаку

Розрахунки на коливання дають можливість забезпечити вібростійкість елементів підйимального комплексу при СПО, тобто здатність його складових частин зберігати роботоздатність у необхідному діапазоні режимів швидкостей, що викликають певну частоту збуджуючої сили, без виникнення недопустимих амплітуд коливань, яка характеризує вібрацію.

Динамічні навантаження у підйимальному комплексі при спуско-підйимальних операціях можуть бути суттєво зменшені. Шляхи їх зменшення є наступними.

При підхоплюванні в процесі підймання бурильної колони зі столу ротора необхідно процес навантаження талевої системи і вишки виконувати керованим і тривалим. Тривалість цього періоду повинна бути від двох і більше секунд. У випадку існуючого підйимального комплексу з приводом від двигунів з жорсткою характеристикою період навантаження талевої системи при підхоплюванні складає від 0,15 до 1,0 секун-

ди при швидкості руху талевої вітки від 4 до 8 м/с. Експерименти показують, що застосування регульованих двигунів у приводі бурової лебідки дозволяє значно зменшити динамічні навантаження в період підхоплювання [1].

Динамічні навантаження у підйимальному комплексі при спуско-підйимальних операціях, які викликані особливостями кінематики багат шарового намотування каната на барабан, суттєво зменшуються при використанні барабанів із спіралеподібними канавками з двома діаметрально розміщеними переходами.

Зменшенню динамічних навантажень при підхоплюванні і при усталеному русі від особливостей багат шарового намотування буде сприяти також застосування талевих систем з двома ведучими кінцями канату, швидкість руху яких у два рази менша ніж у традиційно існуючих.

Значного зменшення динамічних навантажень можна досягнути також при використанні гідропривідних лебідок з широким діапазоном регулювання частоти обертання барабана бурової лебідки.

Одним із шляхів зниження коливань і вібрацій у механізмах підйимального комплексу є усунення дії тих зовнішніх сил, які викликають небезпечні коливання.

Попередження небезпечних вібрацій можна досягнути за рахунок зміни жорсткості пружного зв'язку елементів талевої системи, які піддаються коливанням. Зміною жорсткості можна значно вплинути на характеристики коливань.

Одночасно для усунення джерела виникнення внутрішніх динамічних навантажень, що сприяють утворенню коливань, слід використовувати технологічні заходи, а саме центрування складових елементів підйимального комплексу, а також гакоблока відносно свердловини.

Суттєвих результатів для зниження динамічних навантажень у підйимальних комплексах бурових установок можна досягнути застосуванням силових гідроциліндрів замість існуючих талевих систем.

Література

1. Ефимченко С.И. Расчет и конструирование машин и оборудования нефтяных и газовых промыслов. Ч.1. Расчет и конструирование оборудования для бурения нефтяных и газовых скважин. Учебник для вузов / С.И. Ефимченко, А.К.Прыгаев. – М.:ФГУП "Изд-во"Нефть и газ" РГУ нефти и газа им. Губкина, 2006. – 736 с.
2. Малько Б.Д. Определение оптимального законадвижения колонны труб в скважине в процессе подъема. Тезисы докладов третьей Всесоюзной конференции по динамике, прочности, надежности нефтепромыслового оборудования / Б.Д. Малько, М.М. Лях, В.М. Сенчишак. – Баку, 1983. – С. 108-109.

3. Калинин С.Г. Динамика подъемной системы буровых установок / С.Г. Калинин. – Львов: Вища школа, 1975. – 160с.
4. Малько Б.Д. Уравнение динамики подъемного комплекса буровой установки при выключении ШПМ лебедки / Б.Д. Малько, М.М. Лях. – Изв.вузов, Нефть и газ, 1986. – №2. – С. 19-23.

Стаття надійшла до редакційної колегії 17.10.2014р.

*Рекомендовано до друку д.т.н професором Лисканичем М.В.,
к.т.н. доцентом Тарабариним П.В. (м. Івано-Франківськ)*

DYNAMIC LOAD LIFTING MECHANISMS IN COMPLEX RIG THE DESCENT-LIFTING OPERATIONS

V. T. Ivaschenko, M. M. Lyakh, V. S. Vytvytskyi

Ivano-Frankivs'k National Technical University of Oil and Gas;

76019, Ivano-Frankivs'k, st. Carpats'ka, 15;

ph. +380(342)-72-71-47; e-mail: mechmach@nung.edu.ua

The paper calculation of dynamic loads in the mechanisms of complex lifting rig while performing of descent - lifting operations during pidholennya drill string from the rotor is in the process of transferring the load from the table, hand on the rotor system and the tower.

The analysis of oscillatory processes in complex mechanisms caused by inertial forces when lifting or lowering the drill string. Recommendations to reduce the dynamic loads in the lifting of the drilling rig.

Key words: *oscillation, dispersion rotor system, hand. elastic bearing rotor, hand, leg system.*