

УДК 622.243.93:622.244.7

В.Є. Лютенко

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ПІДЙОМНИКАХ ДЛЯ СКЛАДАННЯ БУРОВИХ ВИШОК

Запропонована методика розрахунку динамічних навантажень у електромашинній та механічній системах вишкових підйомників. У методиці враховуються електромагнітні процеси у двигуні, податливість пружних ланок, коливання секцій вишки, що збирається, демпфування у пружних ланках.

Наведені результати розрахунків перехідних процесів у електромашинній та механічній системах.

Ключові слова: математична модель, вишка, підйомник, механічна, електромашинна системи, динамічні навантаження, податливість, електромеханічні процеси, коливальні явища.

Вступ

Одним із напрямків прискорення будівництва нафтових і газових свердловин є скорочення строків спорудження бурових вишок і блоків, які у значній мірі залежать від способів і методів їх монтажу. Значно впливає на строки монтажу вишок використання більш досконалих механізмів підйому, а також вишкових підйомників і їх приводів.

Удосконалення техніки підйому і монтажу бурових вишок також нерозривно пов'язано із вивченням питань динаміки і міцності підйомних систем.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Створення нових типів машин, а також удосконалення існуючих постійно вимагають уточнення методів їх розрахунку, що також пов'язано із необхідністю вивчення питань динаміки.

За останні роки велика кількість робіт присвячена вивченню динаміки бурових установок, що пов'язано із вимогами підвищення їх продуктивності, збільшення швидкостей як при бурінні, так і при монтажі і підйомі вишок.

Достатньо широко розглянуті питання динаміки підйому горизонтально зібраних вишок на поверхні землі [1, 2]. Незважаючи на повноту досліджень динаміки підйому горизонтально зібраних вишок, їх результати не має можливості використовувати для вишкових підйомників із-за специфічних особливостей конструкції останніх. У опублікованій літературі мало приділено уваги розгляду питань динаміки вишкових підйомників (при збиранні баштових вишок методом «зверху вниз»).

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. У даний час вивчення вимагає характер навантаження підйомної частини

підйомника при перехідних процесах, особливо при пуску привода. Немає обґрунтованих рекомендацій для вибору коефіцієнтів динамічності при розрахунку основних несучих конструкцій підйомника. Не досліджено вплив на динамічні навантаження підйомника, коливань секцій вишки при її збиранні. Відсутні також дослідження впливу жорсткості пружних пристроїв на динаміку вишкових підйомників.

При створенні адекватних фізичному процесу математичних моделей підйомних систем розглядаються відокремлено механічні і електромашинна системи, що не дає можливості реально оцінити електромеханічний об'єкт і спільно розглянути механічні і електромагнітні коливальні явища.

Постановка завдання. Метою цієї роботи є створення адекватної фізичному процесу моделі підйомника для складання бурових вишок, що являє собою електромеханічний об'єкт, на основі спільного розгляду механічних і електромагнітних коливальних явищ.

Виклад основного матеріалу

У процесі збирання-розбирання бурових вишок і других висотних споруд виникають динамічні навантаження, які у значній мірі впливають на роботу

електроприводів, міцність конструкцій підйомних систем і самих споруд.

У свою чергу, перехідні процеси при роботі електроприводних механізмів у значній мірі визначають динамічні навантаження у елементах систем, що розглядаються. На параметри процесів пуску і зупинки суттєво впливають інерційні і жорсткісні характеристики елементів.

Вишкові підйомники із електроприводом являють собою електромеханічний об'єкт, який складається із електромашинної і механічної систем. Електромашинна система включає один, два або чотири електродвигуна, які живляться від пересувної електростанції потужністю 100 – 200 кВт або від трансформатора електромережі. У свою чергу, механічна система складається із передаточних вузлів, рухомих і нерухомих частин підйомника і секцій вишки, що збирається.

Для вишкових підйомників із електроприводом характерні два основних режиму їх роботи: пуск і зупинка приводу при підвішених секціях вишки, що

збирається або при їх розташуванні на поверхні землі (основі). У першому випадку із моменту включення двигуна приходять у рух всі елементи приводного меланізму (системи). У другому випадку пуск може розглядатися як триетапний: вибір слабину канатів, коли у рух приходять вузли приводу; натяг канатів поліспастих систем до зрівноваження частин, що піднімаються; відрив несучих балок підйомника із установленими конструкціями від поверхні землі.

Досвід показує [3, 4], що адекватна фізичному процесу модель підйомника для збирання вишок може бути створена лише на основі спільного розгляду механічних і електромагнітних коливальних явищ. Рішенню даної задачі і присвячується дана робота.

Розглянемо диференційні рівняння електромашинної системи. У якості математичної моделі електродвигуна прийняті рівняння неявнополісної індукційної машини, записані у перетворених координатах без урахування насичення у магнітопроводі [5, 6].

$$\begin{bmatrix} \frac{dI_{SX}}{dt} \\ \frac{dI_{SY}}{dt} \\ \frac{dI_{RX}}{dt} \\ \frac{dI_{RY}}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \eta_S & 0 & v & 0 \\ 0 & \eta_S & 0 & v \\ v & 0 & \eta_R & 0 \\ 0 & v & 0 & \eta_R \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} U_m + 314 (H_Y + I_{SY} L_S) - R_S I_{SX} \\ -314 (H_X + I_{SX} L_S) - R_S I_{SY} \\ (314 - \omega^*) (H_Y + I_{RY} L_R) - R_R I_{RX} \\ (\omega^* - 314) (H_X + I_{RX} L_R) - R_R I_{RY} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$\text{де } \eta_S = \alpha_S \left(1 - \frac{\alpha_S}{\alpha}\right);$$

$$\eta_R = \alpha_R \left(1 - \frac{\alpha_R}{\alpha}\right);$$

$$v = -\frac{\alpha_S \alpha_R}{\alpha};$$

$$H_X = (I_{SX} + I_{RX}) L_m; H_Y = (I_{SY} + I_{RY}) L_m;$$

$$\omega^* = P_0 \omega; \omega = \frac{2V_1}{d_\delta}; \text{ Тут } I_{SX}, I_{SY}, I_{RX}, I_{RY} -$$

проекції струмів статора і ротора на координатні осі; L_S, L_R, L_m – індуктивності розсіювання статора, ротора і робоча індуктивність двигуна; $\alpha_S, \alpha_R, \alpha_m$ – величини, зворотні відповідним індуктивностям; R_S, R_R – активні опори статора і ротора; U_m – амплітуда напруги живлення; ω – частота обертання ротора; P_0 – число пар магнітних полюсів; V_1 – приведена швидкість ведучої частини

приводу; d_δ – діаметр барабану лебідки приводу; α – величина, яка визначається виразом $\alpha = \alpha_S + \alpha_R + \alpha_m$; t – час.

Електромагнітний момент електродвигуна знаходимо за формулою

$$M_E = \frac{3}{2} P_0 L_m (I_{RX} I_{SY} - I_{SX} I_{RY}) \quad (2)$$

Нелінійні диференційні рівняння електромагнітного стану двигуна (1) – (2) отримані при наступних допущеннях: амплітуда і частота напруги живлення постійні; всі три фази симетричні; утрати у сталі відсутні; ураховуються тільки перші гармоніки намагнічуючих сил обмоток.

Розглянемо диференційні рівняння механічної системи [4]. За основний випадок навантаження системи приймемо пуск при підйомі підвішених секцій (рис. 1). Всі маси підйомної системи, жорсткості пружних ланок, а також сили приводимо до вантажу (до секцій вишки). Рівняння руху запишуться у наступному вигляді:

$$\begin{aligned}
 m_2 \frac{d^2 X_2}{dt^2} - C_p (X_1 - X_2) - v_{\text{кн}} i^2 \left(\frac{dX_1}{dt} - \frac{dX_2}{dt} \right) + G_2 &= 0; \\
 m_1 \frac{d^2 X_1}{dt^2} + C_p (X_1 - X_2) + v_{\text{кн}} i^2 \left(\frac{dX_1}{dt} - \frac{dX_2}{dt} \right) &= \frac{2M_E}{d_\delta},
 \end{aligned}
 \quad (3)$$

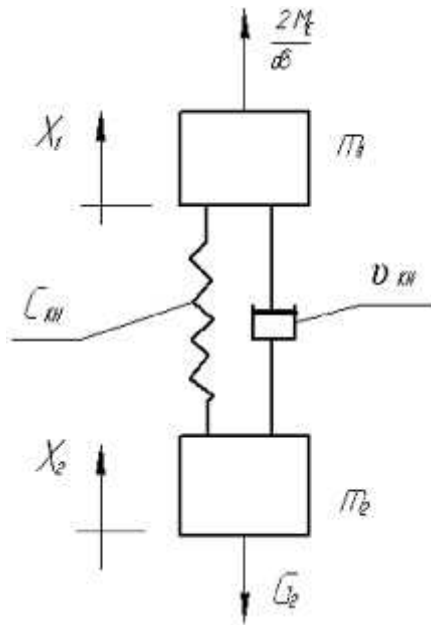


Рис.1. Розрахункова схема механічної системи вишкового підйомника

де m_1 – приведена маса ведучої частини приводу; m_2 – ведена маса, яка складається із мас секцій вишки, що збирається і рухомої частини вишкового підйомника (несучих труб і балок із талевими блоками); X_1, X_2 – переміщення мас m_1 і m_2 у напрямку дії підйомної сили; G_2 – вага

секцій вишки, що збирається і рухомої частини підйомника; C_p – приведена жорсткість канатів поліспаствів; $C_p = C_{\text{кн}} i^2$; $C_{\text{кн}}$ – жорсткість талевих канатів; i – кратність поліспаства; $v_{\text{кн}}$ – коефіцієнт затухання; d_δ – діаметр барабана лебідки приводу.

У якості узагальнених координат вибрані фізичні координати руху, які найбільш наочно відображають динамічні процеси у системі.

Початкові умови запишемо у вигляді

$$(t = 0); X_{20} = -\frac{G_2}{C_p};$$

$$X_{10} = 0; \frac{dX_{10}}{dt} = 0;$$

$$\frac{dX_{20}}{dt} = 0; \frac{2M_{E0}}{d_\delta} = 0;$$

$$I_{SXO} = I_{SYO} = I_{RXO} = I_{RYO} = 0; \quad (4)$$

Вирази (1) – (4) створюють повну систему диференціальних рівнянь електромеханічного стану підйомників для складання бурових вишок у їх робочих режимах.

Інтегрування даних рівнянь виконувались числовим методом (методом Рунге-Куты) для підйомника ПВЛ із електроприводом, який включав асинхронний двигун АОС2-82-86 і вишку ВБ 53-320. Параметри для розрахунку приведені у таблиці.

Таблиця

Параметри підйомника ПВЛ із електроприводом і вишки ВБ53-320

Параметри підйомника ПВЛ і вишки ВБ53-320	Числові значення L_m	Параметри асинхронного двигуна АОС2-82-86	Числові значення
, кг	$168778 \cdot 10^3$	R_S	, Гн
, кг	42975	R_R	, Гн
, Н	421155	U_m	, Гн
, Н/м	598864	P_0	, Ом
, м	0,338		, Ом
, Н·с/м	430		, В
	12		4

На рис. 2, 3 і 4 приведені розрахункові приклади тимчасових залежностей деяких величин, які характеризують дослідження перехідних процесів.

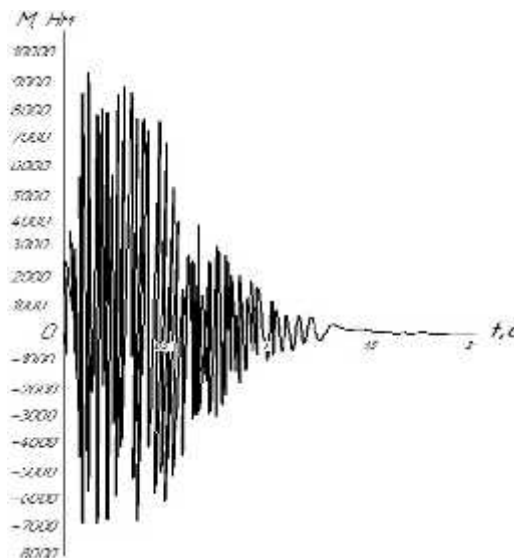


Рис. 2. Розрахункова крива електромагнітного моменту електродвигуна

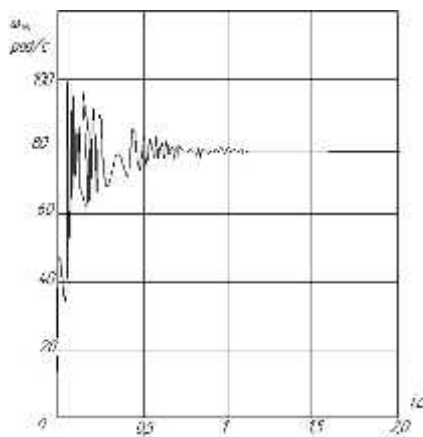


Рис. 3. Графік зміни кутової швидкості електродвигуна

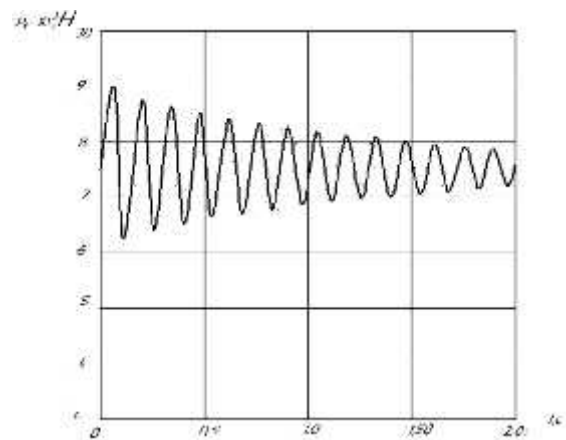


Рис. 4. Розрахункова крива зміни зусилля у канаті поліпаста

Для перехідних процесів, показаних на рис. 2, 3 і 4, характерно інтенсивне коливання

електромагнітного моменту і кутової швидкості електродвигуна, а також зусилля у канатах підйомних поліспастів.

Тому розрахунок робочих режимів вишкових підйомників необхідно виконувати на основі рівнянь електромеханічного стану системи.

Використання числових методів інтегрування диференціальних рівнянь руху і електромагнітного стану дозволяє використовувати запропоновану методику для розрахунку динамічних навантажень у електромашинній та механічній системах вишкових підйомників.

Надійшла до редколегії 10.11.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ю.Л. Винников, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава.

Висновки

1. Створена адекватна фізичному процесу математична модель підйомника для збирання вишок, що представляє собою електромеханічний об'єкт, при реалізації якого спільно розглянуті механічні і електромагнітні коливальні явища.

2. Застосування числових методів інтегрування диференціальних рівнянь руху і електромагнітного стану дозволяє використовувати запропоновану методику для розрахунку динамічних навантажень у електромашинній і механічній системах вишкових підйомників.

Список літератури

1. Калинин С.Г. Исследования жесткости полиспаста на динамику механизма подъема вышек методом моделирования на ЭВМ / С.Г. Калинин, В.А. Малащенко // Машины и нефтяное оборудование. – 1976. - № 12. - С. 6 – 8.
2. Калинин С.Г. Динамика механизмов при подъеме высотных сооружений / С.Г. Калинин, В.А. Малащенко. – Львов.: Вища шк., 1981. –108 с.
3. Харченко Е.В. Динамические процессы буровых установок / Е.В. Харченко. Львів.: Світ, 1991. –170 с.
4. Лютенко В.Е. Совершенствование конструкций подъемников для сборки вышек / В.Е. Лютенко // Совершенствование технологии бурения глубоких разведочных скважин на Украине: сб. УкрНИГРИ. – Львов, 1982. – С. 6 – 10.
5. Чабан В.И. Основы теории переходных процессов электромашинных систем / В.И. Чабан. – Львов.: Вища шк., 1980. –200 с.
6. Чабан А. Електромеханічне перетворення енергії в асинхронному електроприводі / А. Чабан, П. Пукач, М. Гошко // Технічні вісті. Львів. 2008. С. 62 – 65.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПОДЪЕМНИКАХ ДЛЯ СБОРКИ БУРОВЫХ ВЫШЕК

В.Е. Лютенко

Предложена методика расчета динамических нагрузок в электромашиной и механической системах вышечных подъемников. В методике учитываются электромагнитные процессы в двигателе, податливость упругих звеньев, колебания секций собираемой вышки, демпфирование в упругих связях.

Приведены результаты расчетов переходных процессов в электромашиной и механической системах.

Ключевые слова: математическая модель, вышка, подъемник, механическая, электромашиная системы, динамические нагрузки, податливость, электромеханические процессы, колебательные явления.

MATH MODEL FOR RESEARCH OF ELECTROMECHANICAL PROCESSES IN HOISTS FOR RIGS ASSEMBLY

V.Ye. Liutenko

A methodology of dynamical strains in electromechanical and mechanical systems of hoists calculation is suggested. This methodology combines electromagnetic processes of engine, pliability of parts, fluctuation of rigs elements and dempfering of elastic connections.

Keywords: Math model, rig, hoist, mechanical, systems of electrical machine, dynamical strain, pliability, electromechanical processes.