

матеріалу і ваги стрічки є взаємопов'язаними величинами, які визначені продуктивністю.

4. Ресурс конвеєрного ролика оберненопропорційний масі його обертаючих частин.

5. Застосування конвеєрних роликів з меншими масогабаритними параметрами дозволить не тільки збільшити їх ресурс, а ресурс конвеєра в цілому за рахунок зменшення динамічних навантажень при пуску, викликаних інерцією обертаючих частин ролика.

Список використаних джерел

1. ГОСТ 22645-77 Название: Конвейеры ленточные. Роликоопоры. Типы и основные размеры.

2. ГОСТ 22644-77 (СТ СЭВ 1333-78) Конвейеры ленточные. Основные параметры и размеры.

3. ГОСТ 22646-77 Название: Конвейеры ленточные. Ролики. Типы и основные размеры .

4. ГОСТ 25722-83 (СТ СЭВ 1331-78) Конвейеры ленточные. Наименования частей.

5. Машины и оборудование для шахт и рудников : справ. / С.Х.Клорикьян,В.В.Старичнев,М.А.Сребный и др. - 7.изд.,репр.,с матриц 5 изд (1994 г.). - М. : [б. и.], 2002. - 471 с.

6. ГОСТ 7242-81 Подшипники шариковые радиальные однорядные с защитными шайбами. Технические условия.

Стаття надійшла до редакції 22.05.2016 р.

УДК 621.873.25

О.В. Чермалих, к.т.н., доц., **О.С. Бичківський**, аспірант (НТУУ «КПІ»)

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ОСНОВНИХ МЕХАНІЗМІВ БАШТОВОГО КРАНУ ЗА КРИТЕРІЄМ СТІЙКОСТІ ВІД ПЕРЕКИДАННЯ

O.V. Chermalykh, O.S. Bychkivskii (National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»)

OPTIMIZATION OF THE MAIN TOWER CRANE MECHANISMS FOR CRITERION OF STEADINESS FROM CAPSIZING

У статті розглянуті принципи побудови системи управління електроприводами механізмів повороту стріли, підйому вантажу і вильоту візка баштового крану в

залежності від вітрового навантаження. В якості критерію оптимальності обрано стійкість крану від перекидання в разі перевищення швидкості вітру припустимого значення. Такий підхід дає можливість підвищити надійність функціонування баштового крану в цілому та забезпечити безпеку праці обслуговуючого персоналу.

Ключові слова: вітрове навантаження; стійкість від перекидання; кут повороту; висота підйому; виліт візка; частотне регулювання; імітаційна модель.

В статье рассмотрены принципы построения системы управления электроприводами механизмов поворота стрелы, подъема груза и вылета тележки башенного крана в зависимости от ветровой нагрузки. В качестве критерия оптимальности выбрана устойчивость крана от опрокидывания при превышении скорости ветра допустимого значения. Такой подход дает возможность повысить надежность функционирования башенного крана в целом и обеспечить безопасность труда обслуживающего персонала.

Ключевые слова: ветровая нагрузка; устойчивость от опрокидывания; угол поворота; высота подъема; вылет тележки; частотное регулирование; имитационная модель.

The article describes the principles of management of electric drives mechanisms jib rotation, load lifting and departure trolley tower crane depending on the wind load. The optimality criterion is chosen from the steadiness of the crane from capsizing when the wind speed exceeds the permissible value. This approach makes it possible to improve the reliability of tower crane as a whole and to ensure work safety staff.

Keywords: wind load; steadiness from capsizing; angle of rotation; height of rise; departure trolley; frequency regulation; simulation model.

Вступ. При розробці систем управління робочими операціями баштових кранів однією з головних вимог є забезпечення стійкості від перекидання. Найбільш важливими вважається ряд факторів, пов'язаних зі зміною динаміки вітрового потоку. Вітрове навантаження є більш суттєвим впливом, діючим на металоконструкцію баштових кранів, за рахунок його переважання над статичними навантаженнями і тому конструкції баштових кранів особливо чутливі до дії вітру. Вітрове навантаження являє собою випадковий процес. Пориви, які виникають із випадковою повторюваністю з різною амплітудою, збільшують перекидаючий момент й викликають додаткове навантаження металоконструкцій баштових кранів. Необхідною умовою збереження безпеки експлуатації є забезпечення динамічної стійкості баштових кранів при дії неприпустимих високих за швидкістю і тривалістю поривів з урахуванням напрямку вітру, а також екстремальних впливів шквального вітру [1, 2].

В даний час для контролю стійкості крану в умовах високих швидкостей вітру застосовується штатна система обмеження вантажопідйомності з анемометром, котра працює в режимі індикації й не чинить активних управляючих впливів до моменту коли стійкість досягне критичного значення. Тому, при виконанні робочих операцій може скластися ситуація, коли зміна динаміки і зростання швидкості вітрового потоку можуть призвести до втрати стійкості. Приймаючи до уваги змінність швидкісного потоку й малу тривалість періоду трансформації схеми спротиву, коли кранова установка проходить стан нестійкої рівноваги, а також факт концентрації уваги машиніста на

переміщуваному вантажі, процес управління електроприводами основних механізмів баштового крану в умовах високого вітрового навантаження повинен здійснюватися в автоматичному режимі [3].

Мета роботи. Розробка імітаційної моделі системи управління стійкістю баштового крану від перекидання для дослідження технологічних режимів роботи основних механізмів при зміні швидкості і напрямку вітру.

Результати дослідження. Фактично єдиною рекомендацією щодо забезпечення стійкості баштового крану від перекидання в разі виникнення значних вітрових навантажень є переміщення стріли на відповідний кут паралельно за напрямком вітру. При цьому, обов'язково для виключення аварійних ситуацій слід враховувати технологічні обмеження за висотою підйому вантажу й вильотом візка.

Існуюча сучасна апаратура захисту крана від перекидання за вантажною стійкістю вже укомплектована необхідними датчиками: швидкості вітру, положення стріли, висоти підйому гачка та вильоту візка. Слід додати тільки ще один датчик напрямку вітрового потоку.

Вихідні дані для потрібних обмежень:

V_{\max} – максимально припустима швидкість вітру відповідно до кліматичної зони;

L_o – відстань від повздовжньої осі крану до будівлі;

L_{\min} – мінімальний виліт візка з технічної характеристики крану;

H_o – поточна висота будівлі;

H_{\max} – максимальна можлива висота підйому вантажу згідно технічній характеристики крану.

Можливі ситуації у вигляді математичних залежностей при виконанні баштовим краном робочого процесу і рекомендовані технологічні операції для забезпечення стійкості крану до перекидання від вітрових навантажень з урахуванням фактичних поточних значень швидкості вітру V_o , вильоту візка L та висоти підйому вантажу H наступні.

Варіант 1: $V_o \leq V_{\max}$ – всі технологічні операції виконує машиніст крану відповідно до потреби, враховуючи обмеження за L_o та H_o візуально.

Варіант 2: $V_o > V_{\max}$ – механізм повороту відразу ж відпрацьовує потрібний кут за напрямком вітру в разі, коли виконується одна із умов: $L \leq L_o$, $H > H_o$ або $L \leq L_o$, $H \leq H_o$ або $L > L_o$, $H > H_o$.

Варіант 3: $V_o > V_{\max}$ – механізм повороту переміщує стрілу на потрібний кут за напрямком вітру с затримкою за часом, якщо має місце тільки одна умова: $L > L_o$, $H \leq H_o$.

Слід додати, що коли $V_o \leq V_{\max}$ застосовується ручний режим роботи за рахунок дій безпосередньо машиніста крана.

Якщо $V_o > V_{\max}$ управління механізмами повороту стріли, підйому вантажу і вильоту візка здійснюється без втручання машиніста в автоматичному режимі.

Крім того, в разі $V_o > V_{max}$ відразу спрацьовують механізми вильоту та підйому в напрямку досягнення обмежень $L = L_{min}$ та $H = H_{max}$. Такий підхід рекомендовано інструкцією з експлуатації баштових кранів, що додатково підвищує стійкість крану. При цьому, величина можливої затримки за часом вступу в дію механізму повороту визначається моментом, коли один з механізмів вильоту або підйому першим забезпечить виконання однієї з необхідних умов: $L \leq L_o$ або $H > H_o$.

Імітаційну модель системи управління стійкістю баштового крану від перекидання за фактором вітрового навантаження для дослідження технологічних режимів роботи основних механізмів крану (рис. 1) синтезовано із застосуванням системи *MATLAB – Simulink* [4-7].

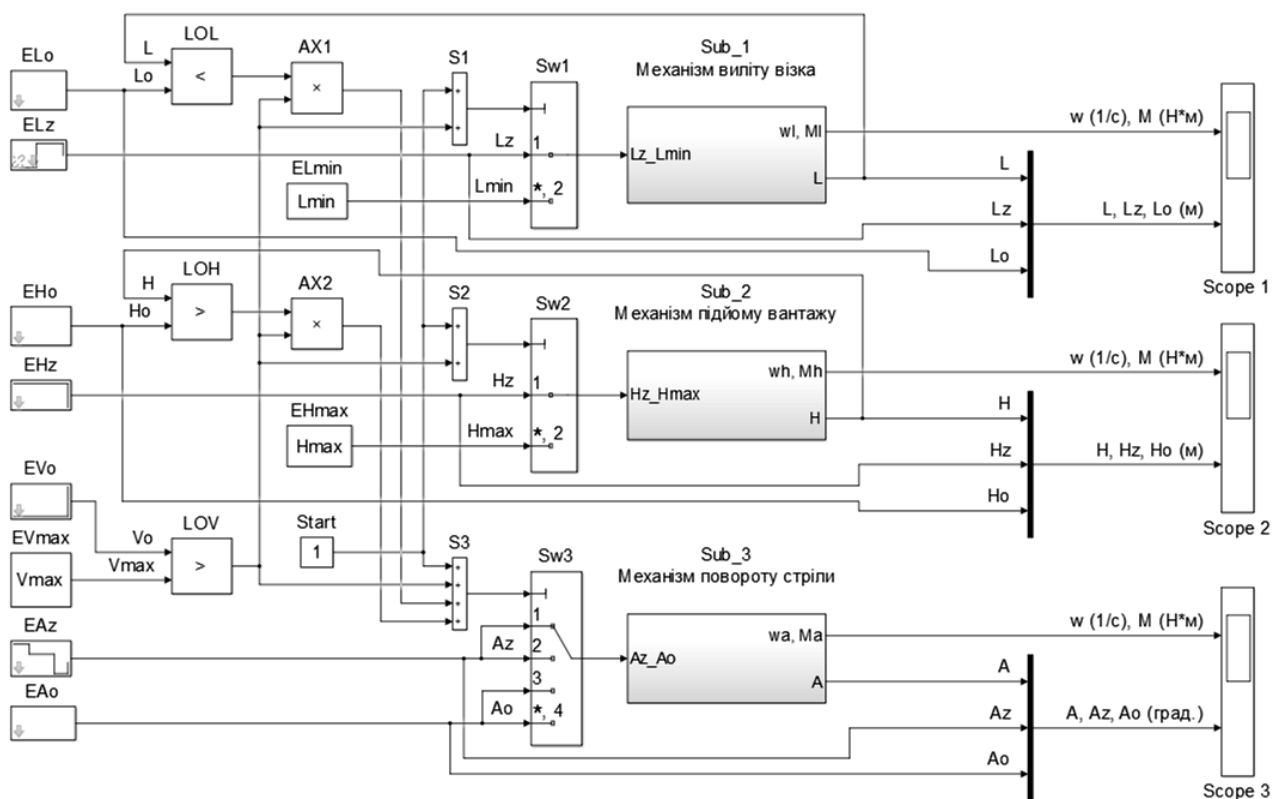


Рис. 1. Імітаційна модель управління основними механізмами баштового крану з урахуванням вітрового навантаження. Призначення блоків E завдання необхідних величин:

EL_o – технологічний параметр L_o , м; EL_z – змінний параметр вильоту вантажного візка, який визначається машиністом L_z , м; EL_{min} – конструктивний параметр L_{min} , м; EHo – технологічний параметр H_o , м; EHz – змінний параметр потрібної висоти підйому вантажу, яка задається машиністом H_z , м; EH_{max} – конструктивний параметр H_{max} , м; EV_o – випадковий фактор V_o , м/хв; EV_{max} – кліматичний фактор V_{max} , м/хв; EA_z – змінний параметр потрібного куту повороту стріли, котрий визначає машиніст A_z , град; EA_o – випадковий фактор поточного напрямку вітру A_o , град.

Аналіз можливих випадкових ситуацій стосовно поточного вильоту візка та висоти підйому вантажу, а також значення швидкості вітру забезпечують логічні елементи LOL , LOH , LOV .

Алгоритм наступний:

$LOL \Rightarrow L < L_o$ на виході 1, інакше 0;

$LOH \Rightarrow H > H_o$ на виході 1, інакше 0;

$LOV \Rightarrow V_o > V_{max}$ на виході 1, інакше 0.

В такому варіанті блоки перемноження $AX1$, $AX2$ формують на виході одиничний або нульовий сигнали.

Ключі $Sw1$, $Sw2$, $Sw3$ відповідно до значень сигналів на виході суматорів $S1$, $S2$, $S3$ перемикають канали управління на вході систем електроприводу основних механізмів крану (вильоту, підйому, повороту) в залежності від ситуації стосовно основного фактору – величини швидкості вітру, з урахуванням обмежень відносно положення візка та висоти підйому.

Візуалізацію перехідних процесів забезпечують двоканальні віртуальні осцилографи: $Scope1$ – механізм вильоту візка, $Scope2$ – механізм підйому вантажу, $Scope3$ – механізм повороту стріли.

Перший канал відповідає за кутову швидкість ω та момент M приводних двигунів основних механізмів.

Другий канал дає можливість оцінити зміну контрольованих перемінних: значення вильоту візка, висоти підйому вантажу, кута повороту стріли.

Оскільки на сьогодні в якості електроприводу основних механізмів сучасних баштових кранів застосовується система ПЧ-АД, то за структурою моделі однакові і позначені на рис. 1 прямокутниками у вигляді відповідних підсистем: Sub_1 – виліт, Sub_2 – підйом, Sub_3 – поворот.

Безпосередньо структурна модель цих підсистем в загальному вигляді показана на рис. 2.

Перемінна X і відповідний індекс сигналів у зазначених підсистемах позначає: виліт L або висоту підйому H або кут повороту стріли A .

Перетворювач частоти за найбільш поширеною на сьогодні методикою представлено аперіодичною ланкою першого порядку UZ .

В якості цифрового регулятора технологічного параметру AX використано пропорційно-диференційну PD структуру з обмеженням вихідного сигналу.

Складові коефіцієнти регулятора обчислюються відповідно до методики підлеглого регулювання за формулами

$$K_p = \frac{1}{a_{щ} T_{uz} K_{uz} K_{ox} K_o / ir}, \quad K_d = \frac{J}{a_{щ} T_{uz} K_{uz} K_b K_{ox} K_o / ir}.$$

Оскільки основні механізми крану є позиційними, тобто відпрацьовують потрібні лінійні і кутові переміщення, то на вході системи встановлено пристрій завдання другого порядку, який містить інтегратори $IN1$, $IN2$ та нелінійні елементи $AN1$, $AN2$ з релейною характеристикою. Окрім двох від'ємних одиничних зворотних зв'язків має місце внутрішній додатковий

зв'язок з коефіцієнтом передачі K_{ω} . Така побудова забезпечує обмеження прискорення приводів, лінійний характер зміни швидкості та плавні параболічні відрізки зміни переміщення на початку та в кінці перехідних процесів.

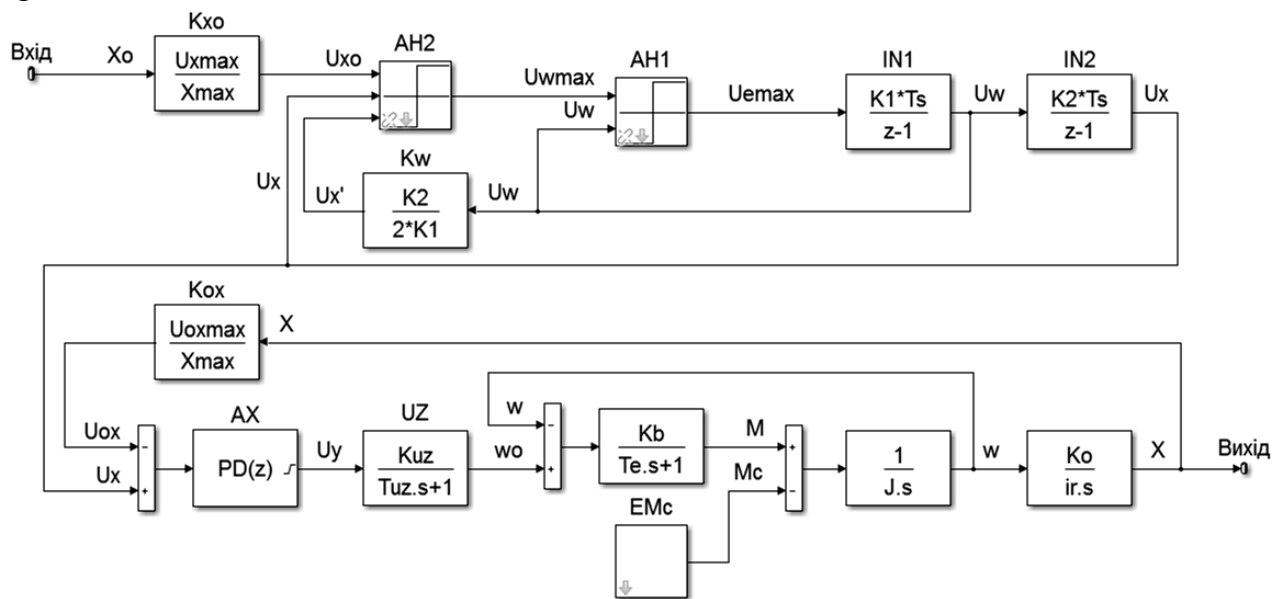


Рис. 2. Структурна модель електроприводу основних механізмів крану за системою ПЧ-АД

Оскільки основні механізми крану є позиційними, тобто відпрацьовують потрібні лінійні і кутові переміщення, то на вході системи встановлено пристрій завдання другого порядку, який містить інтегратори $IN1$, $IN2$ та нелінійні елементи $AH1$, $AH2$ з релейною характеристикою. Крім двох від'ємних одиничних зворотних зв'язків має місце внутрішній додатковий зв'язок з коефіцієнтом передачі K_{ω} . Така побудова забезпечує обмеження прискорення приводів, лінійний характер зміни швидкості та плавні параболічні відрізки зміни переміщення на початку та в кінці перехідних процесів.

Блок EM_c формує величину моменту навантаження M_c та його потрібний характер, а саме: пасивний для приводів вильоту та повороту (знак M_c змінюється при реверсі на протилежний) та активний для приводу підйому (знак M_c залишається постійним і позитивним).

Об'єктом дослідження в роботі обрано баштовий кран КБ-403А, який досить широко експлуатується в Україні.

Основні технічні характеристики кранових електродвигунів і механізмів, які використані в якості вихідних даних при моделюванні наведені нижче.

Механізм вильоту вантажного візка:

- потужність двигуна $МТКФ-111-6$ – 3,5 кВт;
- номінальна швидкість – 900 об/хв.;
- момент інерції – 0,037 кг·м²;

– швидкість візка – 15 м/хв.

Механізм підйому вантажу:

– потужність двигуна *МТКФ-512-6* – 55 кВт;

– номінальна швидкість – 925 об/хв.;

– момент інерції – 1,02 кг·м²;

– швидкість підйому – 22,5 м/хв.

Механізм повороту стріли:

– потужність двигуна *МТКФ-112-6* – 5 кВт;

– номінальна швидкість – 920 об/хв.;

– момент інерції – 0,051 кг·м²;

– швидкість повороту – 0,6 об/хв.

Загальний алгоритм роботи моделі за можливими трьома варіантами наступний.

Швидкість вітру $V_0 = 40$ м/хв менше $V_{\max} = 50$ м/хв (варіант 1).

Обмеження задані таким чином: $L_0 = 25$ м, $H_0 = 35$ м.

В цьому випадку через ключі $Sw1$, $Sw2$, $Sw3$ проходять сигнали завдання машиністом вильоту L_z , висоти підйому H_z та кута повороту стріли A_z .

Це забезпечують блоки перемноження $AX1$, $AX2$, на виході яких в такій ситуації має місце нульовий сигнал.

Відповідні графіки протікання перехідних процесів для такого варіанту зображені на рис. 3.

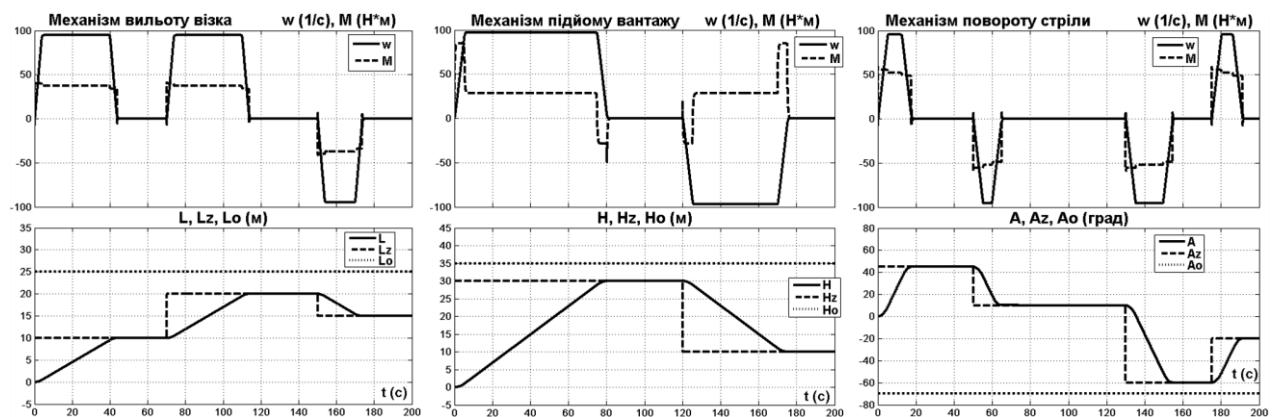


Рис. 3. Діаграми роботи механізмів крану при $V_0 \leq V_{\max}$, $L \leq L_0$, $H < H_0$

Як видно з графіків, система точно відпрацьовує задані координати L_z (10, 20 й 15 м), H_z (30 і 10 м), A_z (45, 10, -60 та -20 градусів) при хорошій динаміці за швидкістю ω та моменту M двигунів всіх приводів.

Швидкість вітру $V_0 = 60$ м/хв більше припустимої $V_{\max} = 50$ м/хв з обмеженнями $L_0 = 25$ м, $H_0 = 35$ м (варіант 2).

Змодельована ситуація, коли швидкість вітру V_0 стає більше припустимої V_{\max} на 100-й секунді.

Відповідні графіки наведені на рис. 4.

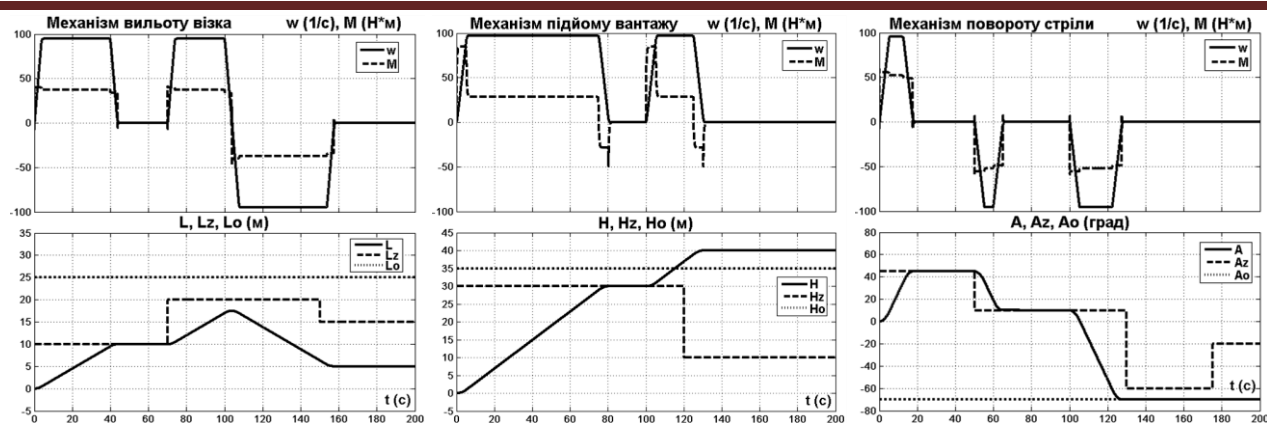


Рис. 4. Діаграми роботи механізмів крану при $V_0 > V_{\max}$, $L \leq L_0$, $H < H_0$

На 100-й секунді ключі $Sw1$, $Sw2$, $Sw3$ перемикають канали управління з завдання L_z , H_z , A_z на обмеження $L_{\min} = 5$ м, $H_{\max} = 40$ м й напрямок вітру, котрий прийнятий $A_0 = 70^\circ$. Із діаграм наочно видно, що незалежно від дій машиніста, відразу ж на 100-й секунді починає автоматично відпрацьовувати привод повороту в напрямку вітру й при досягненні величини $A = A_0$ привод повороту зупиняється. Одночасно, працюють приводи вильоту в напрямку мінімального значення й підйому в напрямку максимальної висоти, зупиняючись при $L = L_{\min}$, $H = H_{\max}$. Швидкість вітру більша максимально припустимої $V_0 > V_{\max}$, а обмеження за вильотом та висотою відповідно $L_0 = 12$ м й $H_0 = 35$ м (варіант 3). Таку ситуацію ілюструють графіки, представлені на рис. 5.

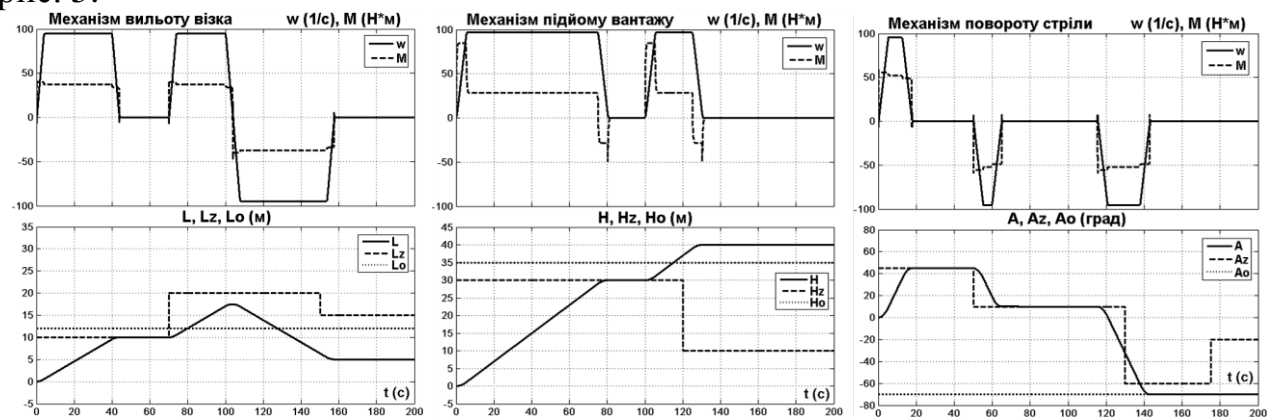


Рис. 5. Діаграми роботи механізмів крану при $V_0 > V_{\max}$, $L > L_0$, $H < H_0$

На 100-й секунді ключі $Sw1$, $Sw2$ перемикають канали управління з завдання L_z , H_z на обмеження L_{\min} , H_{\max} , а ключ $Sw3$ утримує сигнал завдання A_z і не дозволяє працювати приводу повороту. Коли один з приводів вильоту або підйому першим досягне обмеження (в нашому прикладі це механізм підйому), тоді на 115-й секунді спрацьовує ключ $Sw3$ і перемикає сигнал завдання кута повороту A_z на напрямку вітру A_0 , котрий відпрацьовується. Таким чином, затримка за часом для приводу повороту складає 15 с.

Висновки

Запропонований принцип побудови системи управління стійкістю баштового крану від перекидання за фактором вітрового навантаження з урахуванням технологічних обмежень стосовно вильоту візка та висоти підйому вантажу дозволяє спростити та покращити ефективність роботи системи керування та зменшити питому похибку до 2%.

Синтезована імітаційна модель для дослідження технологічних режимів роботи частотно-регульованого електроприводу основних механізмів баштового крану дозволить якісно визначити параметри налаштування системи та зменшить час її налаштування на об'єкті.

Отримані результати доводять можливість практичної реалізації системи й відпрацювання розглянутих алгоритмів функціонування баштового крану при великому спектрі швидкості вітру та напрямку вітрового потоку відносно стійкості баштового крану до перекидання.

Список використаних джерел

1. Мишин, А. В. Реализация алгоритма управления приводами башенных кранов при ветровых воздействиях [Текст] / А. В. Мишин, П. А. Сорокин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – Тула: Издательство ТулГУ, 2014. – Вып. 1. – С. 325-332.
2. Мишин, А. В. Система контроля устойчивости башенных кранов от опрокидывания [Текст] / А. В. Мишин, П. А. Сорокин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – Тула: Издательство ТулГУ, 2013. – Вып. 7. – Ч. 2. – С. 325-332.
3. Редькин, А. В. Модернизация системы управления приводами башенного крана с учетом ветрового нагружения [Текст] / А. В. Редькин, П. А. Сорокин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – Тула: Издательство ТулГУ, 2013. – Вып. 12. – Ч. 1. – С. 238-244.
4. Лазарев, Ю. Моделирование процессов и систем в MATLAB. Учебный курс [Текст] / Ю. Лазарев. – СПб.: Питер. Издательская группа BHV, 2005. – 512 с.
5. Дьяконов, В. П. Simulink 5/6/7: Самоучитель [Текст] / В. П. Дьяконов. – М.: ДМК-Пресс, 2008. – 784 с.
6. Дьяконов, В. П. MATLAB и Simulink в электроэнергетике. Справочник [Текст] / В. П. Дьяконов, А. А. Пеньков. – М.: Горячая линия, 2009. – 816 с.
7. Герман-Галкин, С. Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК [Текст] / С. Г. Герман-Галкин. – СПб.: КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.

Стаття надійшла до редакції 13.06.2016 р.