

УДК 621.873

Іваненко О.І., к.т.н.; Приходько Л.О.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ ВАНТАЖОПІДЙОМНИХ КРАНІВ ПІД ДІЄЮ ВІТРОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

**Анотація.** Робота вантажопідйомних кранів в портах та на відкритих майданчиках багато в чому залежить від дії вітрових навантажень. Зупинка кранів в наслідок цих навантажень, а також можливі аварії ведуть до простою великої кількості технологічного обладнання та значних економічних витрат. Визначення параметрів руху крана під дією вітру дозволить розширити діапазон швидкостей вітру та скоротити час простоїв вантажопідйомних кранів.

**Ключові слова:** кран, експлуатація, простій, вітер, рух, параметри, визначення, ефективність.

**Аннотация.** Работа грузоподъемных кранов в портах и на открытых площадках во многом зависит от действия ветровых нагрузок. Остановки кранов вследствие этих нагрузок, а также возможные аварии ведут к простоем большого количества технологического оборудования и значительным экономическим потерям. Определение параметров движения крана под действием ветра позволит расширить диапазон скоростей ветра и сократит время простоев грузоподъемных кранов.

**Ключевые слова:** кран, эксплуатация, простой, ветер, движение, параметры, определение, эффективность.

**Abstract.** The operation of hoisting cranes in ports and on the open areas largely depends on wind loading. Crane failures resulting from these stresses as well as probable accidents lead to downtime of the large amount of technological equipment and cause considerable economic losses. Determining motion parameters of the crane under the wind pressure can extend the range of wind speeds and reduce downtime of hoisting cranes.

**Key words:** crane, operation, downtime, wind, motion, parameters, determination, efficiency.

### Постановка проблеми.

Рішення проблеми по скороченню простоїв вантажопідйомних кранів за рахунок виявлення резервів кранів та їх використання при швидкості вітру понад 20 м/с. Це може бути досягнуто розробкою науково обґрунтованих методів ефективного використання вантажопідйомних кранів, працюючих в портах та на відкритих майданчиках, з метою розширення діапазону швидкостей вітру, при

якому можлива безпечна експлуатація кранів. В нормах і розрахунках портових кранів вітрове навантаження розглядається як статичне. При цьому не враховується конструкційні та експлуатаційні особливості кранів, технологія перевантажувальних робіт, парусність вантажів, а також векторна природа вітрового навантаження.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** За останні роки, досліджень та публікацій з цієї теми не так вже і багато. Значний внесок в дослідженні цієї проблеми внесли праці Гайдамаки В.Ф. [1], Єрофєєва М.І. [2], Зубка М.Ф. [3], Спіциной Д.Ф. [4]. Із останніх праць викликають інтерес публікації Подобеда В.О. [5]. В цих працях розглядаються окремі питання руху та гальмування вантажопідйомних кранів при дії вітру. Всі ці роботи доповнюють одна одну, але на жаль, не дають цілісного підходу обліку і впливу вітрових навантажень на роботу вантажопідйомних кранів.

**Постановка мети та задач дослідження.** Метою роботи є удосконалення методики урахування впливу вітрових навантажень при розрахунках і експлуатації вантажопідйомних кранів для розширення діапазону вітрових навантажень при їх використанні. Відповідно цьому в роботі було поставлено завдання дослідити та визначити параметри руху порталного крану КПД-5/3,2 при дії вітру різної швидкості.

**Виклад основного матеріалу.** Відомо, що навіть при невеликому вітрі робочого стану можливий угон порталних, козлових, баштових та інших кранів, що працюють на відкритому повітрі. Так кран, загальмований механічними гальмами, може привести в рух вітер зі швидкістю 20...25 м/с [1]. При пересуванні вітром кран рухається з наростаючою швидкістю до зіткнення з сусідніми кранами, спорудами або кінцевими упорами, після чого відбувається його падіння. Аварії викликають повне руйнування кранів і викликають простої технологічного обладнання. Небезпека уgonу не зменшується навіть при добре загальмованих ходових колесах, так як не виключається стан ковзання останніх, яке супроводжується різким зменшенням коефіцієнта зчеплення. Основними причинами аварій кранів, що працюють на відкритих майданчиках, є недосконалість систем гальмування протиугонних пристроїв, механізмів пересування, методик розрахунку кранів на пересування і стійкість.

До руху крана під дією вітру можуть привести навіть коротко часові пориви вітру в взаємодії з інерційними силами при гальмуванні.

Відсутність теоретичних і експериментальних досліджень динаміки пересування кранів вітром і відомостей про реальні швидкостях уgonу кранів при дії вітрового навантаження різної інтенсивності, з урахуванням технічного стану крана (регулювання гальм механізмів пересування, опорів пересуванню крана і аеродинамічних властивостей металевої конструкції крана) стримує

розробку технічних заходів, що забезпечують безпечну експлуатацію кранів в умовах дії інтенсивного вітру.

Для визначення залежності основних параметрів угону вітром вантажопідіймальних кранів (максимальної швидкості угону, часу і довжини шляху розгону до максимальної швидкості) від основних, визначальних цей процес факторів (швидкості вітру, опорів пересуванню крана і аеродинамічних властивостей крана) розроблена математична модель угону крана вітром, в основу якої покладено нелінійне диференціальне рівняння:

$$\ddot{x} - a\dot{x}^2 + bx = c, \quad (1)$$

де  $a$ ,  $b$  і  $c$  - постійні коефіцієнти, що визначаються швидкістю вітру, масою крана, його аеродинамічними властивостями і опорами пересуванню.

У загальному випадку диференціальне рівняння руху центру мас крана при викраденні вітром має вигляд:

$$m_k \cdot \ddot{x} = P_e - W, \quad (2)$$

де  $m_k$  і  $\ddot{x}$  - маса і прискорення рухомого крана;

$P_e$  - вітрове навантаження;

$W$  - опір пересуванню крана при пересуванні вітром.

Вітрове навантаження, що діє на кран, визначаємо за [6]:

$$P_e = (V - \dot{x})^2 \cdot I, \quad (3)$$

де  $V$ ,  $x$  - швидкість вітру на висоті центру мас крана і швидкість пересування крана;

$$I = \sum_{i=1}^n c_i \cdot F_i / 1.6 - \text{аеродинамічний фактор крана. Тут } c_i -$$

аеродинамічний коефіцієнт;

$F$ - площа відповідної проекції вузла крана;

$n$ - число вузлів, на які умовно розбитий кран при розрахунку вітрового навантаження.

Опор пересуванню крана при викраденні вітром на горизонтальній ділянці визначається співвідношенням:

$$W = P_T + P_c + P_n, \quad (4)$$

де  $P_T$ ,  $P_c$ ,  $P_n$ - сили, створювані дією гальм механізму пересування, основних опорів пересуванню і перекосу крана.

Після відомих перетворень формула (4) приймає вигляд:

$$W = \frac{1.1 \cdot m_k \cdot V_0^2}{2 \cdot S_T}, \quad (5)$$

де  $V_0$ ,  $S_T$ - номінальна швидкість пересування і гальмівний шлях крана.

Таким чином, для оцінки максимальної швидкості уgonу крана вітром необхідно знати статичну складову швидкості вітру в напрямку руху крана  $V$ , опір пересуванню крана при уgonі вітром  $W$  і аеродинамічний фактор крана  $I$ .

На основі отриманого розв'язку диференціального рівняння [4] встановлює основні співвідношення між параметрами і визначальними факторами уgonу крана вітром:

- Найбільша швидкість пересування крана при уgonі вітром ( $\ddot{x} = 0$ ), якщо відсутні додаткові умови, пов'язані з обмеженням шляху пересування крану і часу дії вітру

$$\dot{x}_m = V - \sqrt{\frac{w}{I}}; \quad (6)$$

- Час розгону крана до швидкості  $\dot{x}$  із [6]

$$t = \frac{m}{2 \cdot \sqrt{w \cdot I}} \cdot \ln \left[ \frac{\left( \dot{x} - V - \sqrt{\frac{w}{I}} \right) \left( V - \sqrt{\frac{w}{I}} \right)}{\left( \dot{x} - V + \sqrt{\frac{w}{I}} \right) \left( V + \sqrt{\frac{w}{I}} \right)} \right]; \quad (7)$$

- Довжина шляху розгону крана вітром до обумовленої швидкості

$$S_p = \frac{m}{2I} \cdot \ln \left\{ \left[ \left( \dot{x} - v^2 \right) - \frac{W}{I} \right] \cdot \left( v^2 - \frac{W}{I} \right)^{-1} \right\} + \frac{0,5m \cdot v}{(I \cdot W)^{0,5}} \cdot \ln \left[ v - \left( \frac{W}{I} \right)^{0,5} \right] \times \\ \times \left[ \dot{x} - v - \left( \frac{W}{I} \right)^{0,5} \right] \cdot \left[ v + \left( \frac{W}{I} \right)^{0,5} \right]^{-1} \cdot \left[ \dot{x} - v + \left( \frac{W}{I} \right)^{0,5} \right]^{-1} \quad ; \quad (8)$$

- Критична швидкість наїзду крана на тупикові упори  $x_k$ , що призводять до втрати стійкості

$$\dot{x}_k = \sqrt{g \cdot \Delta h - \frac{w-b}{m_k}}, \quad (9)$$

де  $g$  - прискорення вільного падіння;

$\Delta h$  - висота підйому центру мас крана при перекиданні щодо передніх по ходу коліс;

$b$  - база крана.

Дослідження руху вантажопідійомного крану було виконано при більшому діапазоні вітру робочого стану при швидкості вітру 21, 24 та 27 м/с на прикладі порталного крана типу ККД - 5 / 3,2 (рис. 1,2).



Рисунок 1

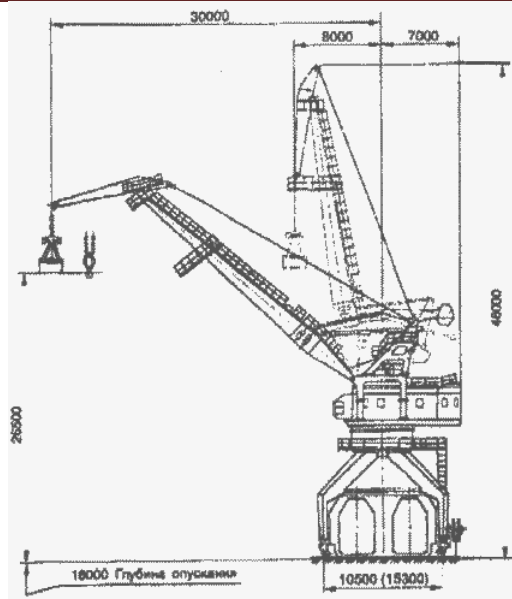


Рисунок 2

У таблиці представлені результати визначення параметрів пересування вітром порталного крана типу КПД-5 / 3,2 - швидкості, часу і довжини розгону - при наступних вихідних даних: маса крана 80000 кг; швидкість пересування 0,5 м / с; гальмівний шлях 0,5 м; аеродинамічний фактор 37,1 кг / м, база крана 4,5 м; колія крана 3,4 м; висота підйому вантажу 22,4 м.

Розрахунки параметрів пересування крана виконано за формулами (6), (7), (8).

Таблиця 1 - Параметри угону крана вітром

Кран порталний КПД 5/3,2				
Параметри угону		Найбільша швидкість вітру, м/с / швидкість пересування крана, м/с		
		21	24	27
До швидкості пересування крана, м/с		-	2,8	5,8
Час (с)/шлях розгону крану (м) до швидкості $\dot{x}$ (м/с)	0,9 $\dot{x}$	-	114/232,3	111/416,3
	4	-	-	55/137,6
	2	-	61/84,9	19/22,0
	1	-	21/13,9	8,5/4,9

**Висновки.**

Згідно з отриманими даними при дії вітру зі швидкістю 21 м / с угону порталного крана не буде. При вітрі 27 м / с і нормально

відрегульованих гальмах механізму пересування найбільша швидкість угону крана складе 5,8 м / с, протягом 8,5 с на довжині шляху 4,9 м станеться розгін крана до швидкості 1 м / с. Розгін крана до швидкості 2,2 м / с, визначається формулою (9), при якій втрачається стійкість крана у разі наїзду на тупикові упори відбудеться протягом 19 с на довжині шляху 22 м.

Отримані залежності (6),(7) і (8) дозволяють за відомими швидкостями вітру  $V$ , опору пересування  $W$  і аеродинамічному фактору крана  $I$  знаходити найбільшу швидкість пересування вантажопідйомного крана вітром і необхідний шлях розгону крана або вирішувати одну із задач ідентифікації швидкості вітру, що дає можливість прогнозувати рух крана згідно з вітровими картами району.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Гайдамака В.Ф. Работа грузоподъемных машин при бесступенчатом торможении. – Харьков: Вища школа, 1988. – 141с.
2. Ерофеев Н.И. Определение допустимых рабочих скоростей ветра грузоподъемных кранов / Н.И.Ерофеев, В.А. Подобед, П.Я. Лисовой // Судостроение и судоремонт. – Одесса. - №9. – 1977. – с.101-107.
3. Зубко Н.Ф. Нормирование ветровых нагрузок для рабочего состояния грузоподъемных кранов / Н.Ф. Зубко, В.А. Подобед // Безопасность труда в промышленности. – 1982. - №5 – с.54-55.
4. Спицына Д.Н. Исследование динамических напряжений в элементах козловых кранов, вызываемых пульсациями скорости ветра / Д.Н. Спицына, В.Ф. Фомичева // Вест. Машиностроителя. – 1991. - №1. – с.22-27.
5. Подобед В.А. Повышение эффективности использования портовых кранов при ветровых нагрузках: автореф. дис. докт. техн. наук. 05.22.19 / Виталий Александрович Подобед. – 2007. – 41с.
6. Иваненко О.И. Определение параметров угона грузоподъемных кранов ветром. / О.И. Иваненко, А.В. Мартынов // Конструирование и производство транспортных машин. – Харьков. 1989. – Вип.21 – с.47-52.
7. ГОСТ 1451-77. Краны грузоподъемные. Нагрузка ветровая. Нормы и метод определения. – М.: Изд-во стандартов. 1977. – 17 с.