

УДК 621.873

## УЧЕТ ДЕЙСТВИЯ ВЕТРОВЫХ НАГРУЗОК ПРИ РАСЧЕТАХ И РАБОТЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ КОЗЛОВЫХ КРАНОВ

**О.И. Иваненко, доц., к.т.н., А.А. Мирошников, студ., Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля, г. Луганск**

*Аннотация.* Рассматривается вопрос расширения диапазона ветровых нагрузок, при которых возможна эксплуатация козловых кранов, с учетом вероятного характера этих нагрузок как случайного процесса.

*Ключевые слова:* кран, ветер, расчет, нормы, математическая модель, рекомендации, эксплуатация.

## ВРАХУВАННЯ ДІЇ ВІТРОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПРИ РОЗРАХУНКАХ І РОБОТІ СПЕЦІАЛЬНИХ КОЗЛОВИХ КРАНІВ

**О.І. Иваненко, доц., к.т.н., О.О. Мірошніков, студ., Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Луганськ**

*Анотація.* Розглядається питання розширення діапазону вітрових навантажень, за яких можлива експлуатація козлових кранів, з урахуванням імовірного характеру цих навантажень як випадкового процесу.

*Ключові слова:* кран, вітер, розрахунок, норми, математична модель, рекомендації, експлуатація.

## CONSIDERING WIND LOADS IN CALCULATIONS AND OPERATION OF SPECIAL GANTRY CRANES

**O. Ivanenko, Assoc. Prof., Cand., Eng. Sc., O. Miroshnikov, student, East Ukraine Volodymyr Dahl National University, Luhansk**

*Abstract.* The extension of the range of wind loads under which gantry cranes can operate has been studied considering the possible nature of loads as a random process.

*Key words:* crane, wind, calculation, standards, mathematical model, recommendations, maintenance.

### Введение

В настоящее время развитие специальных козловых кранов характеризуется созданием уникальных образцов машин большой грузоподъемности. Эти краны изготавливаются мелкосерийно или по индивидуальным заказам и предназначены для обслуживания гидротехнических сооружений, строительных и монтажных работ, сборки судов, а также перегрузки крупногабаритного оборудования. Эти краны оборудуются, как правило, несколькими подъемными механизмами и обладают весьма значительными конструктивными размерами и массами металлоконструкций.

Грузоподъемность этих кранов находится в пределах от 190 т до 630 т и выше; пролет – от 20 м до 115 м, высота конструкции – от 20 м до 90 м. Основным недостатком существующих норм расчета ветровых нагрузок является то, что они не учитывают в необходимой степени надежность и свойства конструкции кранов, особенностей их эксплуатации и геоморфологических условий региона их установки. Учет указанных обстоятельств позволяет с наименьшей погрешностью определить расчетные ветровые нагрузки с целью расширения их диапазона, при котором возможна их дальнейшая работа.

### Анализ публикаций

Исследование ветровых воздействий на инженерные сооружения – задача многоплановая, требующая рассмотрения различных аспектов научной деятельности: математического описания движения воздушных масс; описания основных характеристик ветра и их распределения на территории страны; решения прикладных задач воздействия ветра на различные сооружения и др. Поиск решений прикладных задач проходит, как правило, на стыке различных наук: математики, прикладной метеорологии и соответствующих инженерных дисциплин.

Несмотря на важность проблемы влияния и учета ветровых нагрузок на работу грузоподъемных кранов, публикаций на эту тему недостаточно.

Анализ литературных источников позволяет выделить три основных компонента, используемых при изучении влияния ветра на сооружения и конструкции:

- фундаментальные положения статистической теории турбулентности;
- положения прикладной метеорологии, касающиеся характеристик ветра и их распределения по территории и временам года;
- конструктивные и эксплуатационные особенности рассматриваемой конструкции или сооружения.

Эти компоненты просматриваются в группе работ, посвященных исследованию воздействия ветровых нагрузок на инженерные сооружения, – Барштейна М.Ф., Давенпорта А.Г. [1] и на грузоподъемные краны, а именно: Ерофеева Н.И. [2], Зубко Н.Ф. [3], Подобеда В.Б. [4], Гайдамаки В.Ф. [5], Спицыной Д.Н., Буланова В.Б., Абрамовича И.И. [6] и др.

Все эти работы дополняют друг друга, но, к сожалению, не дают целостного подхода учета и влияния ветровых нагрузок на работу грузоподъемных кранов.

### Цель и постановка задачи

Целью данной работы является совершенствование методики учета влияния ветровых нагрузок при расчетах специальных козловых кранов для возможного рассмотрения диапазона ветровых нагрузок при их эксплу-

атации. В соответствии с этим в работе поставлены основные задачи:

- разработка методики определения ветровых нагрузок на основе регионального подхода;
- разработка рекомендаций по учету динамической составляющей ветровой нагрузки;
- исследование воздействия ветровых нагрузок на козловые краны.

### Основные результаты исследований

Анализ нормативных документов по ветровым нагрузкам, исследование влияния ветра на инженерные сооружения, учет изменения климатических условий на территории Украины, а также практическое состояние эксплуатируемых кранов позволяет, относительно грузоподъемных кранов, сделать следующие выводы:

1. Существующие нормы расчетов ветровых нагрузок носят общекрановый характер, они не учитывают в необходимой степени надежность и особенности конкретных конструкций кранов, особенностей их эксплуатации и геоморфологических условий региона их установки.
2. В настоящее время не имеется строго обоснованных научных рекомендаций по расчетам и эксплуатации специальных козловых кранов при влиянии ветровой нагрузки.
3. Отсутствуют рекомендации по безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов при различном характере действия ветра, а также по устройствам, снижающим неблагоприятное влияние ветра на краны.

Влияние ветра характеризуется следующими параметрами: средней скоростью, направлением, максимальной скоростью в час, периодом одноразового действия сильного ветра за год или несколько лет, пульсацией и периодом пульсации.

Действующие нормативные документы можно разделить на четыре группы:

- к первой группе относятся общекрановые нормы расчета ветровых нагрузок;
- ко второй можно отнести нормы ветровых воздействий, которые относятся непосредственно к определенным типам грузоподъемных кранов;
- к третьей группе относятся нормы, которые определяют распределение ветровых воздействий на территории СНГ;
- к четвертой – иностранные нормы.

Анализ действующих норм указывает на имеющиеся противоречия и расхождения в рекомендованных значениях относительно скоростей ветра.

Основным документом, которым пользуются при определении ветровых нагрузок на грузоподъемные краны, является ГОСТ 1451-77 «Краны грузоподъемные. Нагрузка ветровая. Нормы и метод определения». В нем изложен общий порядок определения ветровых нагрузок на краны. При разработке конструкций специальных козловых кранов был выявлен ряд неясностей в положениях ГОСТа, о которых говорилось выше. Кроме того, он не учитывает конструктивных особенностей вновь создаваемых машин, особенностей регионов, эксплуатации и технологии производимых работ. Поэтому необходимо на основе исследований в области прикладной метеорологии подробнее рассмотреть положения ГОСТа применительно к специальным козловым кранам.

Диапазон расчетных скоростей ветра для специальных козловых кранов лежит в пределах от 7,5 до 28,5 м/с. Это следует из анализа нормативных документов. При эксплуатации кранов имеются случаи угона кранов ветром и их опрокидывания. Угоны происходят, как правило, при действии внезапных порывов ветра. Скорость ветра во время угона не фиксируется, а это создает трудности при выявлении причин аварии. Также значительны простои кранов при действии нерасчетных ветровых нагрузок.

При проектировании возникает ряд вопросов, на которые ГОСТ ответа не дает. Наиболее спорным является вопрос об определении и учете динамической составляющей ветровой нагрузки. Имеющиеся рекомендации по этому вопросу [6] относятся к козловым кранам общего назначения, и их перенос на специальные краны без дополнительных исследований не возможен.

Согласно ГОСТ 1451-77 ветровая нагрузка на кран определяется как сумма статической и динамической составляющих. Статическая составляющая определяется произведением динамического давления ветра на площадь расчетного элемента и ряд коэффициентов. Для определения динамической составляющей конкретных рекомендаций не имеется. Однако, раскрывая её физическую сущность, можно сказать, что динамическая добавка к

статической ветровой нагрузке определяется инерционными силами, возникающими при горизонтальных колебаниях крановых конструкций, и зависит от интенсивности и спектрального состава пульсаций динамического давления ветра и от периодов и форм собственных колебаний кранов.

Ветровые воздействия на краны характеризуются следующими параметрами: средней скоростью; направлением; максимальной скоростью за час, периодом разового действия сильного ветра за год или несколько лет; пульсацией; периодом пульсации.

Специальные козловые краны испытывают высокие ветровые нагрузки. Это обусловлено местом их установки: приморские районы, гребни плотин, а также значительными конструктивными размерами. Большие размеры пролетных строений, тележек, грузов обуславливают значительную наветренную площадь. При расчетах необходимо принимать во внимание такую особенность, как распределение подветренной площади по высоте крана. Наветренные площади некоторых специальных козловых кранов приведены в табл. 1.

Таблица 1 Подветренные площади специальных козловых кранов

Грузоподъемность крана, т	Подветренные площади, м <sup>2</sup>	
	крана в целом	груза
2x160	232	48
100	350	36
2x160	988	365
2x160+160	1881	416
630/50	351	97
500	271 – вдоль пути 348 поперек пути	80
500/63/5	222	19

У козлового крана грузоподъемностью 2x160+160 т из общей наветренной площади 1881 м<sup>2</sup> 73 % (пролетное строение, тележки, груз) расположены на высоте 50 м, т.е. в зоне, где расчетное динамическое давление ветра возрастает в сравнении с базовой высотой  $h = 10$  м.

Это обстоятельство необходимо учитывать при расчетах устойчивости, а также в аварийных ситуациях, например, наезде на тупиковые упоры.

В расчетах ветровых нагрузок в настоящее время рассматривают три закона распределения динамического давления ветра по высоте (рис. 1):

- 1) прямоугольный, соответствующий динамическому давлению в аэродинамической трубе;
- 2) ступенчатый – соответствует ГОСТ 1451-77;
- 3) степенной, соответствующий реальному распределению динамического давления ветра по высоте [1].

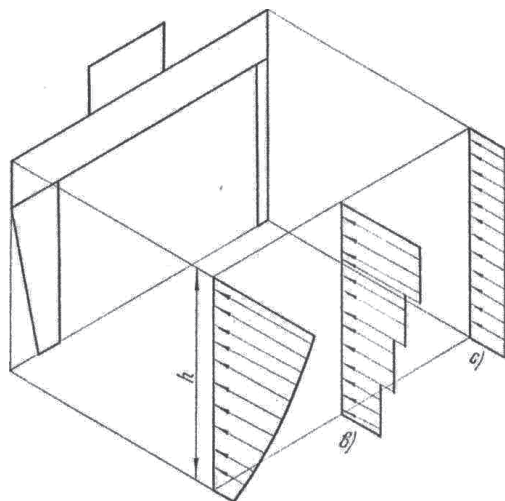


Рис. 1. Распределение динамического давления ветра

Первый закон применяется при продувке моделей кранов в аэродинамической трубе с целью получения осредненного коэффициента аэродинамического сопротивления. В практике краностроения его применение трудоёмко и требует специального оборудования. Ступенчатый закон соответствует ГОСТ 1451-77. Динамическое давление ветра  $q$  на  $i$ -й высоте определяется по формуле

$$q_i = q_0 \cdot k_i, \quad (1)$$

где  $q_0$  – динамическое давление на высоте 10 м;  $k_i$  – коэффициент, учитывающий изменение динамического давления в зависимости от высоты расположения расчетных элементов; определяется по ГОСТ 1451-77.

Степенной закон описывает реальное распределение динамического давления ветра по высоте и определяется по формуле

$$q_i = q_0 \cdot k_i = q_0 \cdot a \cdot h_i^\alpha, \quad (2)$$

где  $h_i$  – высота расположения расчетного элемента;  $a$  и  $\alpha$  – коэффициенты, зависящие от местных метеоусловий.

Для береговой полосы северных и восточных морей, пустынь и полупустынь;  $\alpha = 0,26^\circ$ .

Для остальной территории СНГ  $a = 0,4$ ;  $\alpha = 0,4$ .

При расчетах можно пользоваться средним значением коэффициента  $k_i$

$$k_{срi} = 0,49 \cdot h_i^{0,33}, \quad (3)$$

Для описания вертикального профиля средних скоростей ветра (динамического давления) используют еще и логарифмический закон. Однако установлено, что до высоты 300 м степенной закон несколько точнее.

Наиболее опасным параметром ветрового воздействия является пульсация ветра (колебание скорости ветра от минимума к максимуму и обратно). Её характеристикой является коэффициент пульсации, равный отношению максимума скорости в порыве к средней скорости

$$K_n = \frac{V_{\max}}{V_{\text{ср}}}. \quad (4)$$

Регулярные пульсации составляют 1,2–1,3 среднего значения, отдельные кратковременные порывы могут в 1,5 раза превышать средние значения. Установлено, что кратковременные пульсации (частотой менее 1 с) не оказывают заметного влияния на общее ветровое давление, учитываемое при расчетах механизмов. Это связано с тем, что длительность переходных процессов в механизмах в период пусков и установок выше.

Вероятность пульсации ветра подчиняется распределению Гаусса и может быть рассчитана по формуле

$$f(\Delta V) = 0,33 \exp \left[ -\frac{(\Delta V - 4,3)^2}{2,88} \right], \quad (5)$$

где  $\Delta V = V_{\max} - V_{\text{ср}}$  – разница между максимальной скоростью ветра в порыве и средней скоростью за некоторый интервал осреднения.

На рис. 2 приведена кривая вероятности пульсации ветра при  $V_{cp} = 20$  м/с. Анализ кривой показывает, что наиболее вероятными являются порывы ветра, которые характеризуются коэффициентом пульсации  $K_{п} = 1,2 - 1,22$ . Вероятность таких пульсаций 0,32. Вопрос учета временной пульсации ветра на специальные козловые краны остается открытым.

Анализ опыта эксплуатации специальных козловых кранов указывает, что влияние динамической составляющей наиболее существенно в следующих ситуациях:

#### 1. Рабочее состояние крана:

- работа происходит при скоростях ветра, близких к предельным рабочим;
- неблагоприятное сочетание нагрузок от ветра и других в периоды пуска и торможения механизма передвижения, а также при аварийных ситуациях, например, наезд на упоры, препятствия и т.п.;
- проведение монтажных работ, особенно крупногабаритных конструкций;

#### 2. Нерабочее состояние крана:

- пульсация ветровой нагрузки увеличивает реакции в противоугонных захватах.

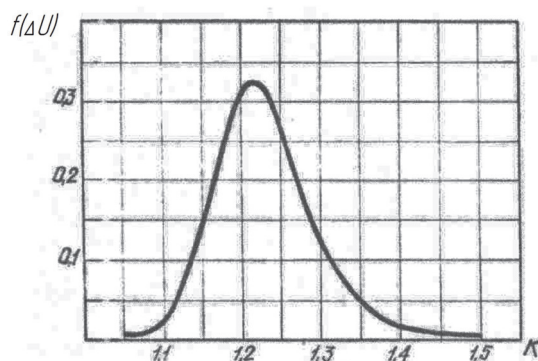


Рис. 2. Кривая распределения коэффициента пульсации

Исходя из обоих состояний крана, результаты необходимо учитывать при расчете устойчивости крана. Для специальных козловых кранов этот вопрос остается открытым.

Выработка конкретных рекомендаций по учету пульсации ветра в зависимости от величины скоростей ветра, конструктивных особенностей кранов и их состояния требует проведения объемных исследований.

В данном случае речь шла о временной пульсации. Однако ветровая нагрузка характеризуется еще и пространственной пульсацией. Согласно [1] пространственная пульсация не оказывает существенного влияния на крановые конструкции. Для специальных козловых кранов, характеризующихся большими размерами, это обстоятельство требует дополнительной проверки.

### Выводы

Исследование работы специальных козловых кранов в условиях ветра – сложная и многокомпонентная задача. Определение расчетных ветровых нагрузок на специальные козловые краны должно осуществляться на основе регионального подхода, учитывающего конструктивные особенности кранов, а также особенности технологии обслуживаемого ими производства и мест их установки. На основе такого подхода, даже с использованием действующих нормативных документов, можно уточнить и, что особенно важно, уменьшить в ряде случаев расчетные скорости ветра.

Наряду с совершенствованием расчетов козловых кранов на ветровые нагрузки необходимо разрабатывать конструктивные мероприятия по уменьшению неблагоприятного воздействия ветра на краны, повышению безопасности их эксплуатации в условиях ветра.

Практические рекомендации по этому вопросу должны носить комплексный характер. Поэтому необходимо рассматривать вопросы динамического воздействия ветра на специальные козловые краны на основе рассмотренных математических моделей.

### Литература

1. Барштейн М.Ф. Динамический расчет сооружений на специальные воздействия / М.Ф. Барштейн. – М.: Стройиздат, 1981. – 216 с.
2. Ерофеев Н.И. Определение допустимых рабочих скоростей ветра грузоподъемных кранов / Н.И. Ерофеев, В.А. Подобед, П.Я. Лисовой // Судостроение и судоремонт: сборник научных трудов. – Одесса. – 1977. – №9. – С. 11–107.
3. Зубко Н.Ф. Нормирование ветровых нагрузок для рабочего состояния грузо-

- подъемных кранов / Н.Ф. Зубко, В.А. Подобед // Безопасность труда в промышленности. – 1982. – №5. – С. 54–55.
4. Подобед В.А. Вопросы эксплуатации грузоподъемных кранов, находящихся в различных ветровых условиях / В.А. Подобед, Н.Е. Соловьева // Проблемы создания и эксплуатации ПТМ в условиях Дальнего Востока и Восточной Сибири: тезисы докл. IV регион. научн.-техн. конференции: – Артем, 1983. – 128 с.
5. Гайдамака В.Ф. Работа грузоподъемных машин при бесступенчатом торможении / В.Ф. Гайдамака. – Х.: Выща школа, 1988. – 141 с.
6. Спицына Д.Н. Динамические воздействия ветровой нагрузки на козловые краны / Д.Н. Спицына, В.Б. Буланов, И.И. Абрамович. – М.: Труды ВНИИПТМАШ. – 1976. – №1. – С. 88–96.

Рецензент: И.Г. Миренский, профессор, д.т.н. ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 29 апреля 2014 г.

---