

УДК 621.873

Иваненко О. И., Дмитриев А. А., Крупко И. В.

**ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ НА БЕЗОПАСНУЮ ЭКСПЛУАТАЦИЮ ПОРТОВЫХ КРАНОВ**

В последние годы в украинских портах северо-западного побережья Черного моря участились случаи угона грузоподъемных кранов ветром. Только в мае-июне 2013 года в Ильичевском морском торговом порту (МТП) от угона ветром пострадали три контейнерных перегружателя, в Лесках (непосредственно возле Одессы) было угнано три контейнерных крана на складской площадке, в Херсонском МТП во время урагана два порталных крана опрокинулись в реку. Скорость ветра, зафиксированная при этом в Одессе, составила 31 м/с. Как считалось ранее, повторяемость таких ветров в Одесском регионе составляет порядка 30 лет, но еще в 2010 году в Одессе был зафиксирован ветер скоростью 30 м/с и спасло регион от разрушений подобных этому году только малое время действия ветровой нагрузки. Такая повторяемость, скорее всего, носила случайный характер, но невозможно не заметить, что ветровые нагрузки в регионе Черноморских портов Украины изменяются, что необходимо учитывать при проектировании и эксплуатации портовых кранов. В соответствии с этим проведены исследования по изменению скорости ветра на примере Ильичевского МТП [1].

Целью работы было определение влияния возможных изменений на условия эксплуатации грузоподъемных машин. Для этого была исследована информация по скорости ветра непосредственно в Ильичевском МТП за период июль 2012 – июль 2013 годов, и проанализирована общая тенденция изменения скорости ветра в Одесском регионе.

По результатам исследований проф. Светличного А. А. [1] среднегодовая скорость в Одесском регионе за период с 1930 по 1990 год уменьшилась на 1,5 м/с до скорости 3,9 м/с. Проф. Ивус Г. П. [2] отмечает снижение среднегодовой скорости ветра на метеостанции Одесса ГМО за период с 1991 по 2003 г. еще на 0,9 м/с до 3,0 м/с. При этом по метеостанции Ильичевск-порт за период с 1961 по 2000 г. отмечено снижение среднегодовой скорости ветра на 1,5 м/с до 3,4 м/с (табл. 1).

Однако на фоне уменьшения среднегодовых скоростей ветра на юге и севере Одесской области произошло увеличение максимальных скоростей ветра редкой повторяемости [1] (табл. 2).

Таблица 1

Среднемесячная и годовая скорость ветра (м/с) на метеостанциях г. Одессы

Станция период	месяцы												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Одесса ГМО													
1991–2003	3,1	3,0	3,4	3,0	2,9	2,5	2,3	2,4	2,8	3,0	3,8	3,7	3,0
1961–1976	6,2	6,1	6,2	5,2	4,7	4,4	4,2	4,2	4,6	5,6	6,3	6,5	5,4
ΔV	-3,1	-3,1	-2,8	-2,2	-1,8	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-2,6	-2,5	-2,8	-2,4
Ильичевск порт													
1991–2000	3,8	4,3	3,6	3,4	3,3	2,9	2,8	2,6	2,6	3,4	3,9	4,2	3,4
1963–1981	5,5	5,6	5,9	4,6	3,8	4,1	4,3	4,4	4,9	4,9	5,3	5,2	4,9
ΔV	-1,7	-1,3	-2,3	-1,2	-0,5	-1,2	-1,5	-1,8	-2,3	-1,5	-1,4	-1,0	-1,5

Таблица 2

Наибольшие скорости ветра (м/с) различной вероятности

Пункт	Период	Скорость ветра, возможная один раз за:					
		год	5 лет	10 лет	15 лет	20 лет	100 лет
Любашевка	До 1961	22	26	27	28	29	–
	1961–1990	20	24	27	28,5	30	39
	Изменение	–2	–2	0	+0,5	+1	–
Одесса	До 1961	22	26	27	28	29	–
	1961–1990	23	28	32	34	36	43
	Изменение	+1	+2	+5	+6	+7	–
Измаил	До 1961	25	30	32	33	34	–
	1961–1990	22	26	28	29	30	33
	Изменение	–3	–4	–4	–4	–4	

Увеличение максимальных скоростей ветра на фоне уменьшения их среднегодовых значений свидетельствует об увеличении неустойчивости климата и, как следствие, увеличении рисков для хозяйственной деятельности и жизни людей.

Рассматривая полученные данные с точки зрения их влияния на работу грузоподъемных машин в портах Одесского региона, в частности в Ильичевском МТП, можно утверждать, что подобная тенденция изменения скоростей ветра приводит к увеличению количества и продолжительности остановок грузовых работ по метеоусловиям. Пути решения подобной проблемы уже предлагались Иваненко О. И. [3] применительно к условиям Луганской области. Однако в условиях порта эти рекомендации возможно реализовать лишь для машин, работающих на тыловом фронте, обслуживающих складские площади. Машины же, выполняющие погрузо-разгрузочные работы непосредственно на морском грузовом фронте, должны быть установлены вдоль причальной линии порта, а, соответственно, максимально подвержены влиянию ветровой нагрузки.

Действующие сегодня нормативные документы относят основную часть территории Украины ко II-му и III-му ветровым районам [4], в которых ветровая нагрузка распределяется следующим образом (табл. 3).

Таблица 3

Значения скоростей ветра для Украины

Период времени, в течение которого скорость ветра однократно превышает, лет	Район Украины / скорость ветра, м/с	
1	20	23,5
5	23,8	27,3
10	25,8	29
20	27	31
30	27,4	31,5
50	29,2	32,8

Скорость ветра, влияющая на районирование ветровой нагрузки – скорость ветра, повторяющаяся раз в 5 лет. Как видим из табл. 2, для нашего региона эта скорость еще в 1961–1990 гг. составляла уже 28 м/с, что превышает допускаемые значения III-го ветрового района.

Анализируя же данные ветровой нагрузки по Ильичевскому МТП, было установлено, что большую часть времени в году порт работает в безветренную либо слабоветренную погоду при скорости ветра до 5,4 м/с. Наибольшая доля повторяемости ветров в году приходится на ветер скоростью 8,0–13,8 м/с – повторяемость их 22,47 %, при том, что 94 % из них – сильные ветра скоростью более 10,8 м/с. Повторяемость ветров, требующих остановки грузовых операций в порту (ветер скоростью 15–20 м/с), составила 14,79 %, а это максимальные расчетные нагрузки по действующим нормативным документам. При этом штормовые ветра, со скоростью ветра 20,8–24,4 м/с, которые для нашего региона должны встречаться не более одного раза в год, только на причалах Ильичевского МТП были зафиксированы 4 раза за год.

Проведенный анализ характера ветровых нагрузок, изменение их величины в некоторых портах Украины показал, что при общем снижении среднего скоростного напора возросли их максимальные значения, что требует более обоснованного подхода к учету нагрузок на металлоконструкции и механизмы кранов и более тщательного подхода к разработке устройств безопасности и в частности к выбору и расчету противоугонных устройств. Одним из самых перспективных способов торможения грузоподъемных кранов, при угонах ветром, можно считать устройства гравитационного торможения [3], в которых процесс торможения реализуется с помощью наклонных криволинейных профилей подкрановых путей в тупиковых участках или на металлоконструкции тележки одного из соседних кранов. Для разработки защитных систем портовых кранов, их металлоконструкции и механизмы необходимо учитывать изменения характера и величины ветровых нагрузок.

В работе [5] разработана методика для теоретических исследований процесса движения грузоподъемных кранов при действии ветровых нагрузок, при этом движение крана при уgone ветром описано уравнением вида:

$$m_k \cdot \ddot{X} = P_e - W,$$

где  $m_k$  – приведенная масса движущегося крана, т;

$\ddot{X}$  – ускорение крана,  $\text{мс}^{-2}$ ;

$P_e$  – сила ветра, кН;

$W$  – сопротивление передвижению крана, кН.

Откуда определена максимальная скорость угона центра масс крана:

$$\dot{X} = V - (W/I)^{0.5},$$

где  $V$  – оценка математического ожидания составной скорости ветра в направлении движения крана;

$I$  – аэродинамический фактор крана.

По приведенным зависимостям с учетом полученных значений скорости ветра  $V$ , для портов Украины сопротивления передвижения  $W$  и аэродинамического фактора  $I$  кранов можно определить максимальную скорость угона грузоподъемного крана ветром, а так же время и путь, необходимый для разгона крана до этой скорости.

Анализ статистических данных, приведенных в табл. 1 и 2, позволяет провести теоретические исследования устойчивости порталных кранов, уточнить нагрузки, действующие на металлоконструкции кранов, и рассчитать устройства, обеспечивающие безопасную эксплуатацию кранов в изменяющихся условиях работы, например, для ферменных металлоконструкций изменение коэффициента аэродинамической силы, нормальной к продольной оси фермы определяется по формуле [4]:

$$c_n(\theta) = c_x \sin^2 \theta + \Delta c_n(\theta);$$

$$\Delta c_n(\theta) = 0.7c_x \frac{A_p}{A} \sin^2 2\theta.$$

Коэффициент лобового сопротивления (направленного по скорости ветра) определяется по формуле:

$$c_x(\theta) = c_x[\bar{c}_{x0} + (1 - \bar{c}_{x0})\sin^3 \theta] + \Delta c_x(\theta);$$

$$\Delta c_x(\theta) = 0.7c_x \frac{A_p}{A} \sin^2 2\theta,$$

где  $\theta$  – угол между направлениями скорости ветра и продольной осью фермы длиной  $l$ ;

$$\bar{c}_{x0} = \frac{1}{2}(1 + \gamma)\bar{c}_{x0\text{ кв}} \frac{C_{x\text{ кв}}}{C_x},$$

где  $\bar{c}_{x0\text{ кв}}$  – значение  $\bar{c}_{x0}$  фермы с квадратным поперечным сечением;

$\gamma$  – отношение размеров сторон поперечного сечения фермы ( $\gamma \geq 1$ );

$C_x$  – коэффициент лобового сопротивления рассматриваемой фермы при ее поперечном обтекании;

$C_{x\text{ кв}}$  – значение  $C_x$  для фермы с квадратным поперечным сечением.

Данная формула применима к трехгранной ферме (стрелы portalного крана) с поперечным сечением в виде равностороннего треугольника и к плоской ферме.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, анализ полученных результатов показал, что в связи с изменением фактических ветровых нагрузок, которые превышают расчетные, ухудшаются условия работы приводов механизмов и уменьшается срок их службы, а такие устройства безопасности, как противоугонные устройства кранов, могут иметь недостаточное удерживающее усилие. Изменение условий эксплуатации может привести к тому, что металлические конструкции кранов (в основном пролетные части и стрелы) подвергаются нагрузкам, превышающим расчетные, что необходимо учитывать, для безопасного и эффективного выполнения грузовых работ на причалах Украины.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Светличный А. А. Изменения ветрового режима на территории Одесской области в конце XX столетия [Электронная версия] / А. А. Светличный, Н. Я. Варламова. – Одесса : Одесский национальный университет им. И. И. Мечникова.
2. Ивус Г. П. Статистические характеристики скорости ветра в районе Одессы. Проблемы материальной культуры / Г. П. Ивус, Э. В. Агайар, Н. М. Мищенко // Культура народов Причерноморья : географические науки. – 2005. – № 67. – С. 21–24.
3. Иваненко О. И. Исследования действия ветровых нагрузок на расположение грузоподъемных кранов, работающих на открытых площадках / О. И. Иваненко, М. В. Гривиченко // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2012. – № 6 (177). – Ч. 2.
4. ГОСТ 1451-77. Краны грузоподъемные. Нагрузка ветровая. Нормы и метод определения. – М. : Изд-во стандартов, 1977. – 17 с.
5. Иваненко О. И. Підвищення ефективності захисної системи вантажопідйомних кранів при угоні вітром : автореф. дис. канд. техн. наук / О. И. Иваненко. – Одеса, 1999. – 19 с.

Статья поступила в редакцию 19.09.2013 г.