

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2024-23-1-33-45>

УДК 621.873.2

Определение предельных расчетных суммарных значений ветровых нагрузок на элементы противоугонного устройства из эксцентрикового и клинового механизмов

Н. М. Селивончик¹⁾, канд. техн. наук, доц. Н. Л. Нестеренко¹⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2024
Belarusian National Technical University, 2024

Реферат. Согласно требованиям Правил по обеспечению промышленной безопасности грузоподъемных кранов, противоугонные устройства должны обеспечивать останов последних, находящихся под действием силы ветра, в любой точке рельсового пути, в том числе в месте стыка рельсов, соединяемых боковыми планками. Рекомендованные к применению различные типы противоугонных крановых устройств имеют ряд недостатков, о которых писали в предыдущих статьях. Известны также противоугонные крановые устройства, у которых останов грузоподъемных кранов на рельсовом пути осуществляется стопорным эксцентриком, взаимодействующим с поверхностью головки рельса. Надежность подобных устройств недостаточна, так как из-за постоянного усилия пружины сила сцепления эксцентрика с рельсом не зависит от изменяющейся силы ветра. Для проведения силового расчета противоугонного устройства грузоподъемных кранов, работающих на открытом воздухе, необходимо знать максимальное расчетное значение силы ветра, действующей на его элементы, удерживающие грузоподъемные краны на рельсах при нахождении в нерабочем состоянии. При движении крана, перемещающегося по рельсам под действием силы ветра P_w , эксцентрик, поворачиваясь, передает силу давления со стороны рельса на двуплечий рычаг, соединяющий эксцентриковый механизм с клиновым механизмом. Эксцентриковый механизм, по сути, является приводом вертикального перемещения клина, вследствие которого происходит замыкание клещевого захвата на головке рельса и останов крана. Таким образом, энергия, развиваемая краном, двигаемым силой P_w , используется на его останов. Для этого в статье рассмотрены вопросы определения предельных расчетных значений силы ветра, действующей на суммарные боковые поверхности различных типов грузоподъемных кранов, при разных климатических, аэродинамических, вероятностных и других ветровых нагрузках. Приведена методика определения предельных расчетных суммарных значений ветровых нагрузок на элементы разработанного противоугонного устройства для грузоподъемных кранов, перемещающихся по подкрановым рельсовым путям. Определены расчетные суммарные боковые площади и ветровые нагрузки на мостовые опорные одно- и двухбалочные краны, козловые и башенные краны для разных исполнений, пролетов, грузоподъемностей и других параметров. На основе выполненных расчетов возможно создание модельного ряда противоугонных устройств для различных конструкций грузоподъемных кранов, перемещающихся по подкрановым рельсам, при разных условиях эксплуатации.

Ключевые слова: грузоподъемные краны, эксцентриковый механизм, клещевой механизм, ветровые нагрузки, плотность воздуха, динамический и аэродинамический коэффициенты, коэффициенты перегрузки, надежности, пульсации ветра

Для цитирования: Селивончик, Н. М. Определение предельных расчетных суммарных значений ветровых нагрузок на элементы противоугонного устройства из эксцентрикового и клинового механизмов / Н. М. Селивончик, Н. Л. Нестеренко // *Наука и техника*. 2024. Т. 23, № 1. С. 33–45. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2024-23-1-33-45>

Determination of Maximum Calculated Total Values of Wind Loads on the Elements of Anti-Theft Device from Eccentric and Wedge Mechanism

N. M. Selivonchik¹⁾, N. L. Nesterenko¹⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. To carry out a power calculation of the anti-driveaway device (from now on referred to as – AD) of lifting cranes operating in the open air, it is necessary to know the maximum calculated value of the wind force on the elements of the AD

Адрес для переписки
Селивончик Николай Михайлович
Белорусский национальный технический университет
просп. Партизанский, 77,
220107, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 350-71-55
selivonchik@mipk.by

Address for correspondence
Selivonchik Nikolay M.
Belarusian National Technical University
77, Partizansky Ave.,
220107, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 350-71-55
selivonchik@mipk.by

According to the requirements of the Rules for ensuring the industrial safety of load-lifting cranes, anti-theft devices must ensure stopping of the latter, which are under the influence of wind, at any point on the rail track, including at the junction of rails connected by side bars. The various types of anti-theft crane devices recommended for use have a number of disadvantages, which have been written about in previous papers. Anti-theft crane devices are also known, in which the stop of lifting cranes on the rail track is carried out by a locking eccentric interacting with the surface of the rail head. The reliability of such devices is insufficient, since due to the constant force of the spring, the adhesion force of the eccentric to the rail does not depend on the changing wind force. To carry out a power calculation of the anti-theft device for cranes operating in the open air, it is necessary to know the maximum calculated value of the wind force acting on its elements that hold the cranes on the rails when the cranes are inoperative. When a crane moves along rails under the influence of wind force P_w , the eccentric, turning, transmits the pressure force from the rail to the double-arm lever connecting the eccentric mechanism to the wedge mechanism. The eccentric mechanism is essentially a drive for the vertical movement of the wedge, as a result of which the pincer clamp closes on the rail head and the crane stops. Thus, the energy developed by the crane, driven by the force P_w , is used to stop it. For this purpose, the paper deals with the issues of determining the maximum design values of the wind force acting on the total lateral surfaces of various types of cranes under different climatic, aerodynamic, probabilistic and other wind loads. A methodology is given for determining the maximum calculated total values of wind loads on the elements of the developed anti-theft device for lifting cranes moving along crane rail tracks. The calculated total lateral areas and wind loads on bridge support single- and double-girder cranes, gantry and tower cranes for various designs, spans, load capacities and other parameters have been determined. Based on the calculations performed, it is possible to create a model range of anti-theft devices for various designs of load-lifting cranes moving on crane rails under various operating conditions.

Keywords: lifting cranes, anti-theft device, eccentric mechanism, tong mechanism, wind loads, air density, dynamic and aerodynamic coefficients, overload coefficients, reliability, wind pulsations.

For citation: Selivonchik N. M., Nesterenko N. L. (2024) Determination of Maximum Calculated Total Values of Wind Loads on the Elements of Anti-Theft Device from Eccentric and Wedge Mechanism. *Science and Technique*. 23 (1), 33–45. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2024-23-1-33-45> (in Russian)

Введение

Данная статья является продолжением идей, изложенных в патенте на полезную модель «Автоматическое противоугонное устройство для грузоподъемных кранов» [1], а также в статьях [2, 3].

Грузоподъемный кран, оснащенный таким противоугонным устройством (ПУ), приобретает возможность самоостанова с учетом требований «Правил по обеспечению промышленной безопасности грузоподъемных кранов» [4]. При движении крана, перемещающегося по рельсам под действием силы ветра P_w , эксцентрик, поворачиваясь, передает силу давления со стороны рельса на двуплечий рычаг, соединяющий эксцентриковый механизм с клиновым механизмом.

Эксцентриковый механизм, по сути, является приводом вертикального перемещения клина, вследствие которого происходят замыкание клещевого захвата на головке рельса и останов крана. Таким образом, энергия, развиваемая краном,двигаемым силой P_w , используется на его останов.

Основная часть

Противоугонное устройство, представляющее собой кинематическое соединение двух механизмов – эксцентрикового и клинового, – показано на рис. 1.

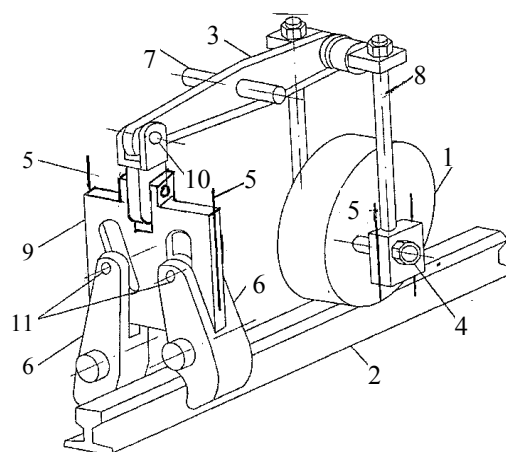


Рис. 1. Схема взаимодействия эксцентрикового и клинового механизмов в противоугонном крановом устройстве: 1 – эксцентрик, находящийся на рельсе; 2 – рельс кранового пути; 3 – рычаг; 4 – ползун; 5 – прорези в корпусе противоугонного устройства; 6 – рычаги клещевого захвата; 7 – ось поворота; 8 – тяга; 9 – клин; 10 – шарниры; 11 – ролики рычагов захвата

Fig. 1. Scheme of eccentric and wedge mechanisms interaction in anti-theft crane device: 1 – eccentric located on the rail; 2 – rail of crane runway; 3 – lever; 4 – slider; 5 – slots in the body of anti-theft device; 6 – grab levers; 7 – rotation axis; 8 – thrust; 9 – wedge; 10 – pivots; 11 – rollers of grab levers

Предельные расчетные суммарные значения ветровых нагрузок на элементы рассматриваемого противоугонного устройства, согласно приложению В, ГОСТ 32579.1–2013 [5], вычисляются по формуле

$$\Sigma P_w = P_w \Sigma A, \quad (1)$$

где P_w – суммарная распределенная расчетная ветровая нагрузка на единицу наветренной площади грузоподъемных устройств; ΣA – суммарная наветренная площадь грузоподъемных устройств (приложение 1, ГОСТ 1451–77 [6]).

Суммарная распределенная расчетная ветровая нагрузка на единицу площади для нерабочего состояния грузоподъемных устройств определяется по приложению В, ГОСТ 32579.1–2013 [5], как

$$P_w = (1 + 3 + m_n \varepsilon) K \gamma_p p = (1 + 3 + m_n \varepsilon) p_1, \quad (2)$$

где $p = g k c n$ – распределенная ветровая нагрузка на единицу наветренной площади грузоподъемных устройств, согласно ГОСТ 1451–77 [6]; $p_1 = p \gamma_p K$ – то же, что и параметр p , но с учетом коэффициентов γ_p и K ; $\rho = 1,225 \text{ кг/м}^3$ – плотность воздуха, согласно разделу 2, ГОСТ 1451–77 [6]; H – высота расположения от поверхности земли элементов грузоподъемных устройств; $c = 0,1 : 4$ – коэффициент аэродинамической силы, принимаемый по приложению 1, ГОСТ 1451–77 [6]; $n = 1,1$ – то же перегрузки, учитываемый при расчете элементов грузоподъемных устройств по методу предельных состояний, если в нормах на проектирование грузоподъемных устройств не приводится его другое значение согласно п. 5.3 ГОСТ 1451–77 [6]; $\gamma_p = 1,16$ – частный коэффициент надежности по нагрузке табл. 1 для ветровых нагрузок нерабочего состояния [5, табл. 1, 4] для комбинаций нагрузок группы С2 [5, табл. 5]; m_n – коэффициент пульсации ветра, зависящий от высоты расположения наветренной площади, согласно табл. В.2, ГОСТ 32579–2013 [5], или рис. 2; $g = \rho v^2 / 2$ – динамическое давление ветра, Па, на высоте 10 м от поверхности земли для конкретной точки ее поверхности, принимаемое для нерабочего состояния грузоподъемных устройств в зависимости от скорости ветра v в соответствии с табл. 2, ГОСТ 1451–77 [6], или рис. 3; v – скорость ветра, м/с, на высоте 10 м от земли для конкретной точки ее поверхности для нерабочего состояния грузоподъемных устройств, принимаемая в соответствии с табл. 2, ГОСТ 1451–77 [6], или рис. 3; K – коэффициент, учитывающий изменение динамического давления ветра g по высоте H в соответствии

с табл. 1, ГОСТ 1451–77 [6], или рис. 4; K – коэффициент, учитывающий вероятность появления ветра максимальной скорости в зависимости от срока эксплуатации грузоподъемных устройств для ветровой нагрузки нерабочего состояния этих устройств, согласно табл. В.1, ГОСТ 32579.1 [5], или рис. 5; $\varepsilon = 3,4(1 - 0,7e^{-0,4\tau}) = 1/2,68$ – коэффициент динамичности для ПУ грузоподъемных устройств, кроме свободно стоящих башенных кранов; $\tau = 0 - 3$ – период свободных колебаний грузоподъемных устройств по первому тону, в с, для устройств, рассмотренных в сопутствующей литературе [5, 7–10]; $e = 2,718$ – экспонента;

$\varepsilon = 3 \sqrt{\frac{G_{кн} h_k + q Q h_Q}{J_k}}$ – коэффициент динамичности для свободно стоящих башенных кранов, согласно п. 7.3 ГОСТ 32579.1–2013 [5]; $G_{кн}$ – вес кранов, кН; h_k – высота центра тяжести крана над плоскостью его опорного контура, м; q – ускорение свободного падения, м/с²; Q – грузоподъемность крана, т; h_Q – высота точки подвеса грузового полиспаста над плоскостью опорного контура крана, м; J_k – момент инерции крана относительно ребра опрокидывания, т·м² (схемы определения ребер опрокидывания кранов – ГОСТ 32579.1–2013 [5, рис. 1]).

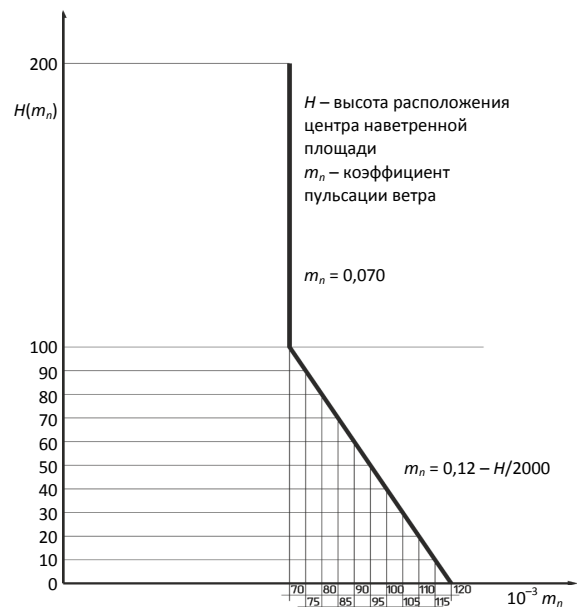


Рис. 2. Графическая и математическая зависимости между параметрами $H(m_n)$

Fig. 2. Graphic and mathematical dependencies between parameters $H(m_n)$

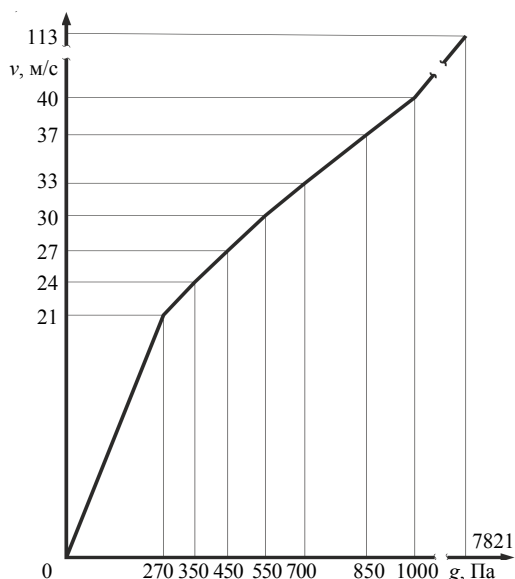


Рис. 3. Графическая зависимость динамического давления ветра g и скорости ветра v на высоте 10 м от поверхности земли для конкретной точки ее поверхности

Fig. 3. Graphic dependence of dynamic wind pressure g and wind speed v at height of 10 m from the earth surface for a specific point on its surface

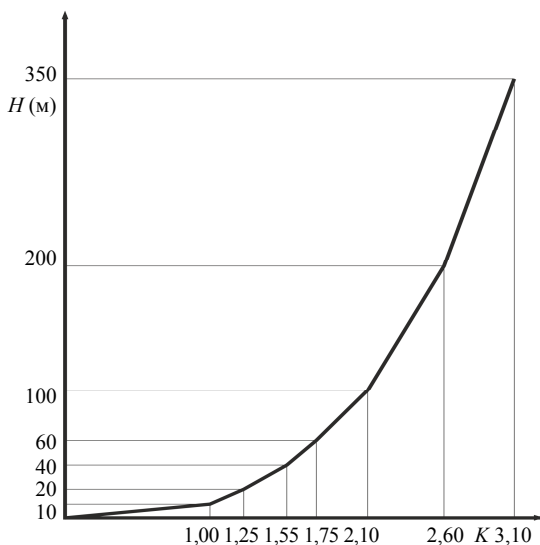


Рис. 4. Графическая зависимость коэффициента K , учитывающего изменение динамического давления ветра по высоте H , м

Fig. 4. Graphic dependence of coefficient K , taking into account the change in dynamic wind pressure along height H , m

Результаты вычислений параметра $(3m_n \epsilon)$ для значений ϵ от 0,25 до 4,0 с интервалом 0,25 для высот H от 10 до 100 м и свыше с интервалом 10 м при значениях m_n от 0,115 до 0,7 с интервалом 0,005 приведены на рис. 6.

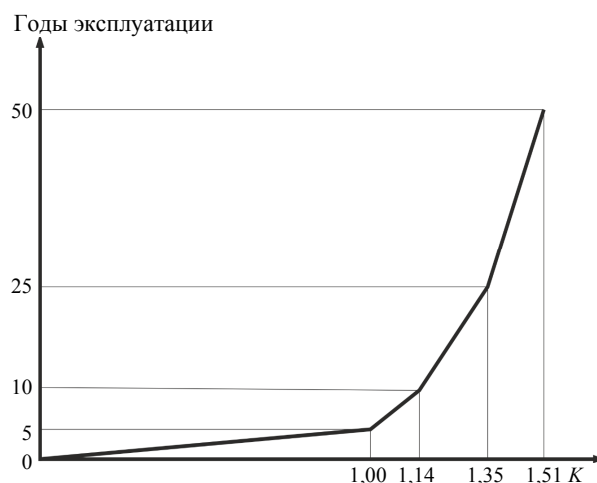


Рис. 5. Графическая зависимость динамического коэффициента K , учитывающего вероятность появления ветра максимальной скорости, от срока эксплуатации грузоподъемных устройств в годах для ветровой нагрузки нерабочего состояния

Fig. 5. Graphic dependence of dynamic coefficient K , which takes into account the probability of occurrence of wind of maximum speed, from the service life of lifting devices in years for the wind load of the non-operating state

Результаты вычислений зависимости параметра P_w от v , g , ϵ , c , K и H с учетом вероятности появления ветровой нагрузки нерабочего состояния максимальной скорости в зависимости от срока эксплуатации грузоподъемных устройств в течение 25 лет приведены на рис. 7.

Согласно разделу 1 ГОСТ 22045–89 [11], краны мостовые электрические однобалочные опорные должны изготавливаться типов:

- 1 – для работы в помещениях;
- 2 – для работы на открытом воздухе.

Каждый тип крана изготавливается двух исполнений:

- А – управление с пола;
- Б – управление из кабины.

Для рассматриваемого случая нас интересуют краны типа 2 в исполнении А и Б.

Основные параметры и размеры данных кранов приведены на рис. 5, 6 и в табл. 9–14 ГОСТ 22045–89 [11].

Из анализа рисунков и таблиц установлены суммарные наветренные площади кранов ΣA (m^2), включающие боковые площади кранов, кабины, электротали и других элементов в зависимости от применяемых пролетов L_k (м), исполнений и грузоподъемности Q (т). Эти данные приведены на рис. 8.

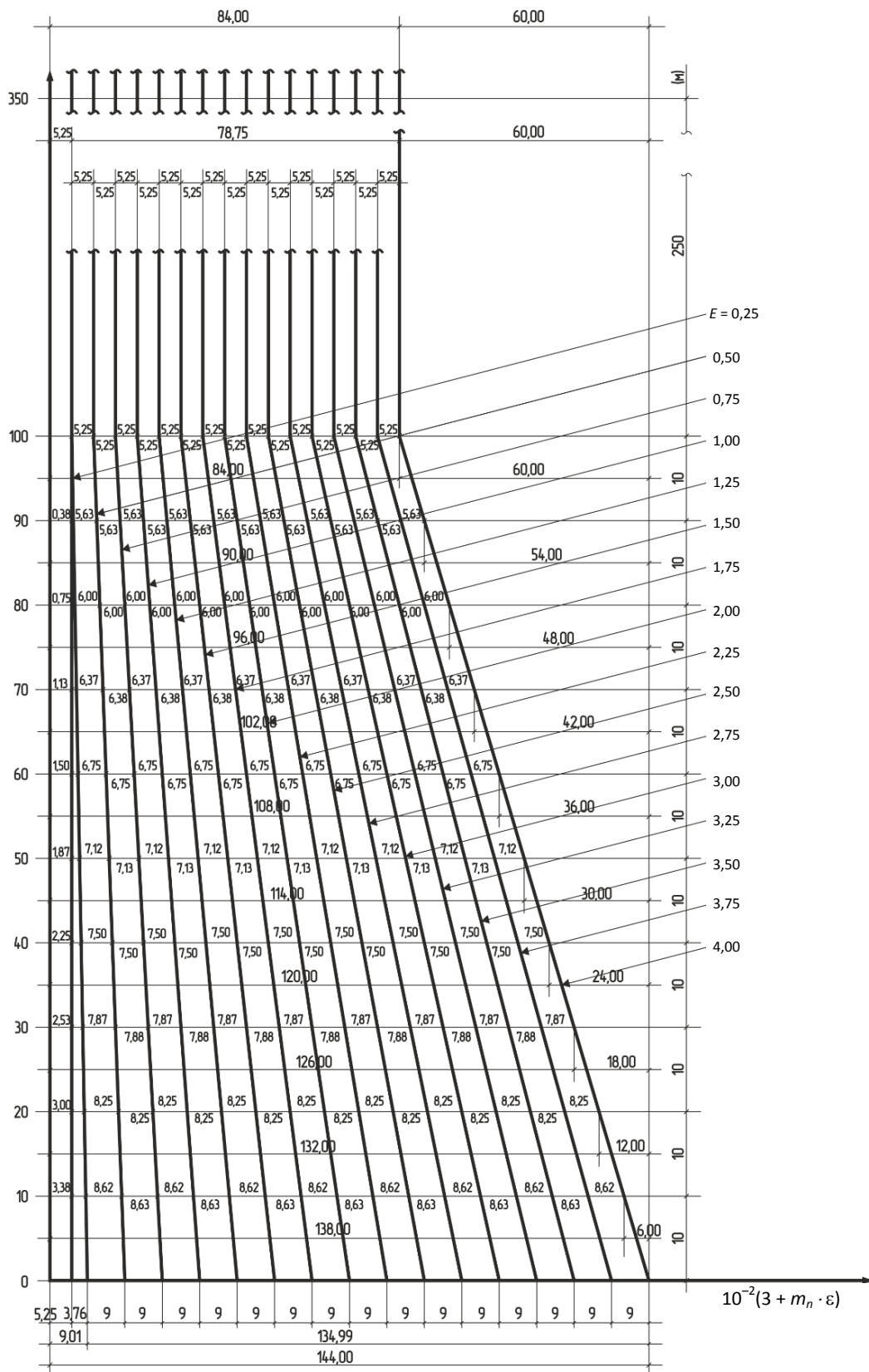


Рис. 6. Зависимости между параметрами H и $10^{-2}(3 + m_n \cdot \epsilon)$

Fig. 6. Dependencies between parameters H and $10^{-2}(3 + m_n \cdot \epsilon)$

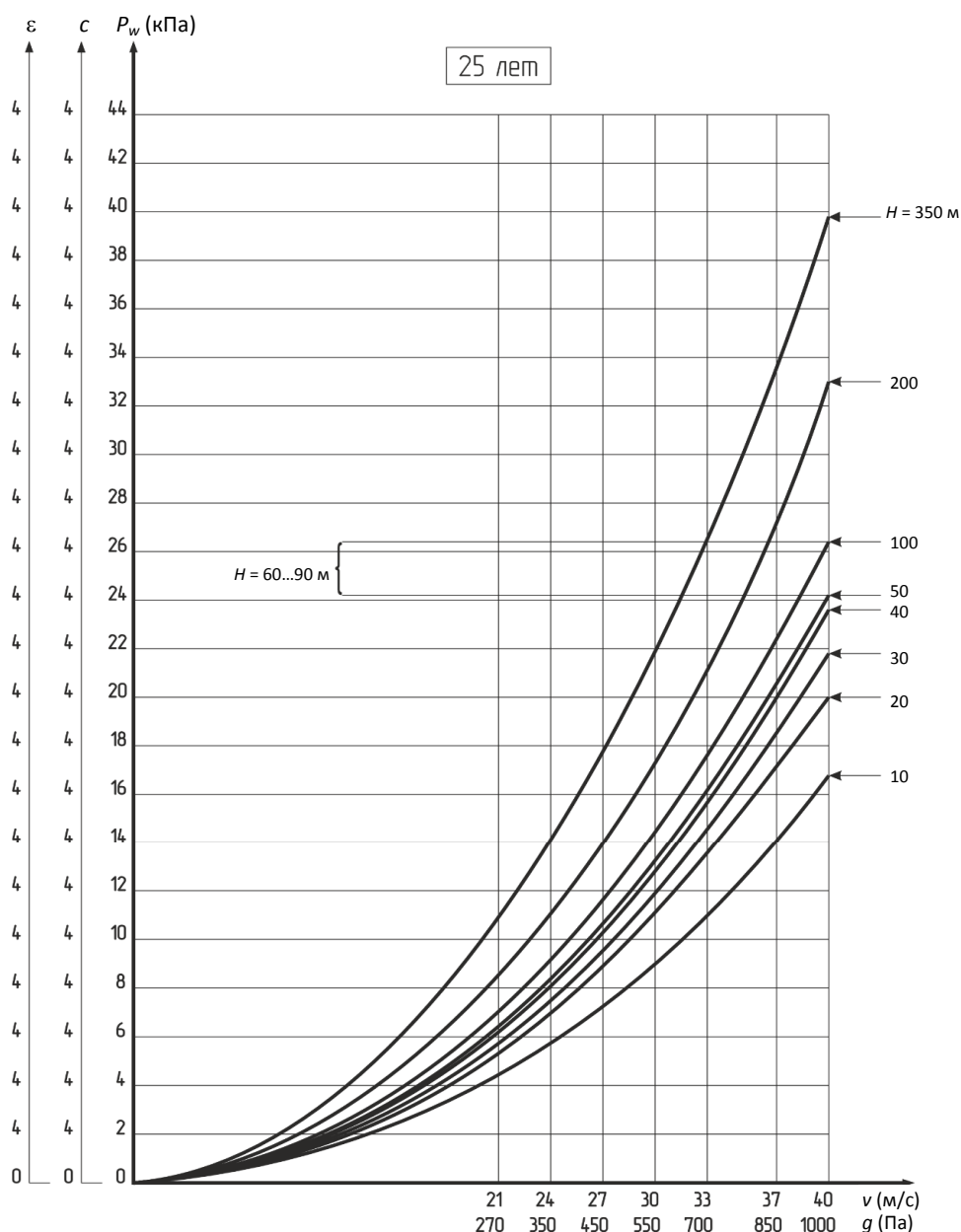


Рис. 7. Графические зависимости параметра P_w от g , ϵ , c , H

Fig. 7. Graphic dependencies of parameter P_w on g , ϵ , c , H

В соответствии с п. 1.5 ГОСТ 22045–89 [11] рекомендуется применять рассматриваемые краны для высоты H от поверхности земли до 40 м, а согласно п. 1.6 для кранового пути следует применять железнодорожные рельсы узкой колеи Р24 по ГОСТ 6368–82 [12] или квадрат 50 по ГОСТ 2591–2006 [13].

Согласно п. 2.12.1 ГОСТ 22045–89 [11], полный установленный срок службы кранов на открытом воздухе – 15 лет.

Согласно п. 2, 3, 11 и табл. 6 ГОСТ 25711–83 [14], краны мостовые электрические опорные двухбалочные общего назначения грузоподъемностью от 5 до 50 т должны изготавливаться типов: О – облегченный, режимная группа 3К; Н – нормальный, режимная группа 5К; Т – тяжелый, режимная группа 7К.

В зависимости от механизмов подъема краны изготавливают в следующих исполнениях:

- 1 – с одним механизмом подъема;
- 2 – с одним главным и одним вспомогательными механизмами подъема.

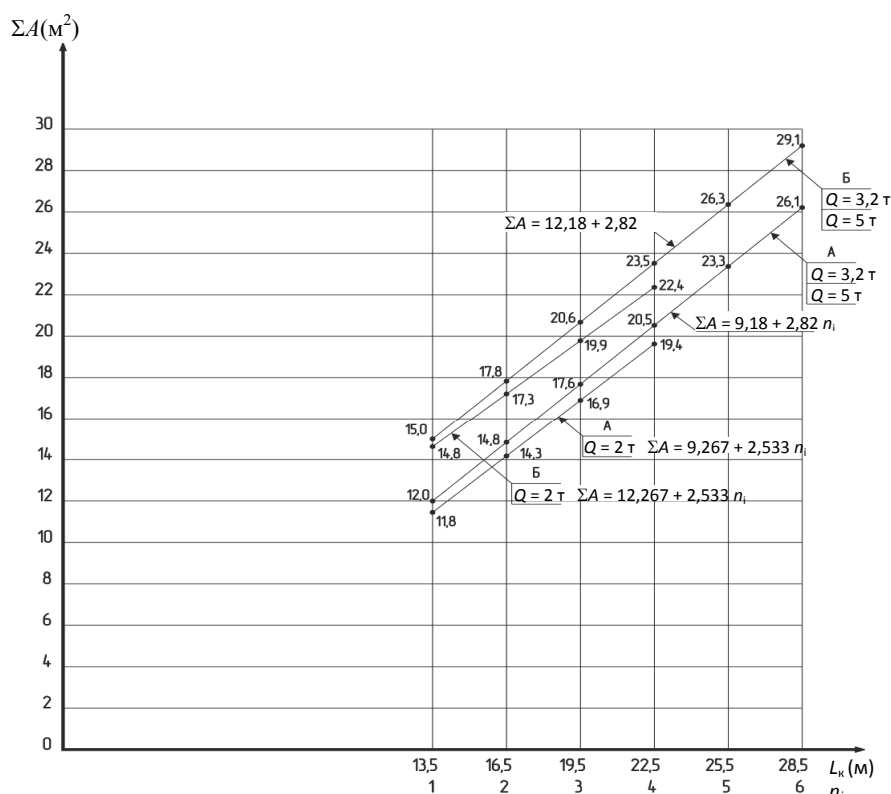


Рис. 8. Предельные расчетные суммарные боковые площади ΣA , m^2 , мостовых электрических однобалочных опорных кранов пролетом $L_k = 13,5\text{--}28,5$ м

Fig. 8. Maximum calculated total lateral areas ΣA , m^2 , of overhead electric single-girder support cranes with a span $L_k = 13.5\text{--}28.5$ m

В зависимости от места, с которого управляют краном, устанавливаются следующие исполнения: А – управление с пола; Б – управление из кабины.

Краны типа Н изготавливаются не менее чем с одной площадкой обслуживания, типа Т – с двумя площадками обслуживания.

Полный установленный срок службы кранов, размещенных в помещениях, должен быть не менее значений, приведенных в табл. 1 [15].

Срок службы крана определяется сроком службы несущих металлических конструкций.

Таблица 1

Наименование крана	Нормы для групп режима (лет)			
	1К, 2К	3К	4К, 5К	6К, 7К
Краны мостовые и козловые с грузовой тележкой	30	25	25	20
Козловые краны с электроталью	25	20	–	–

Для кранов, устанавливаемых на открытом воздухе, допускается уменьшать срок службы до 25 %.

Согласно прил. 4 ГОСТ 25711–83 [14], для кранового пути следует применять железнодо-

рожные рельсы типов Р43 и Р50 или крановые рельсы типов КР70 и КР80.

Основные параметры и размеры кранов по ГОСТ 25711–83 [14] приведены на рис. и в табл. 1–3 этого ГОСТа.

Из анализа рисунков и таблиц по аналогии с однобалочными кранами установлены суммарные наветренные площади кранов ΣA (m^2). Эти данные приведены на рис. 9.

Основные параметры и размеры мостовых электрических двухбалочных опорных кранов общего назначения грузоподъемностью от 80 до 500 т по ГОСТ 15150–69 [15] приведены на рис. 1–3 и в табл. 1–23 ГОСТ 6711–81 [16].

Из анализа рисунков и таблиц установлены предельные расчетные суммарные боковые площади ΣA m^2 мостовых электрических двухбалочных опорных кранов общего назначения, управляемых из кабины, при высоте подъема груза до 40 м и группах режима работы 3К, 5К, 6К для грузоподъемности $Q = 80/20, 100/20, 125/20$ т при пролетах $L_k = 10\text{--}43$ м с шагом 3 м. Эти данные приведены на рис. 10.

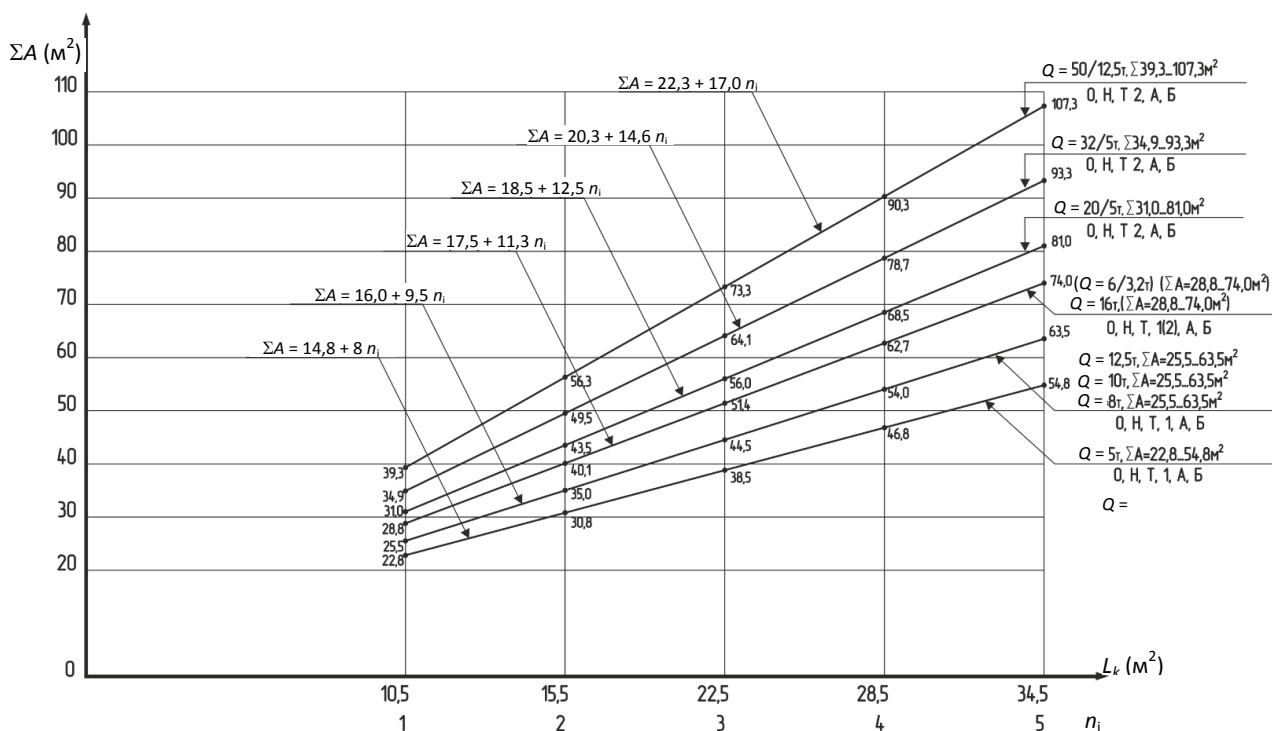


Рис. 9. Предельные расчетные суммарные боковые площади ΣA , m^2 , мостовых электрических двухбалочных опорных кранов пролетом $L_k = 10,5-34,5$ м

Fig. 9. Maximum calculated total lateral areas ΣA , m^2 , of overhead electric double-girder support cranes with a span $L_k = 10,5-34,5$ m

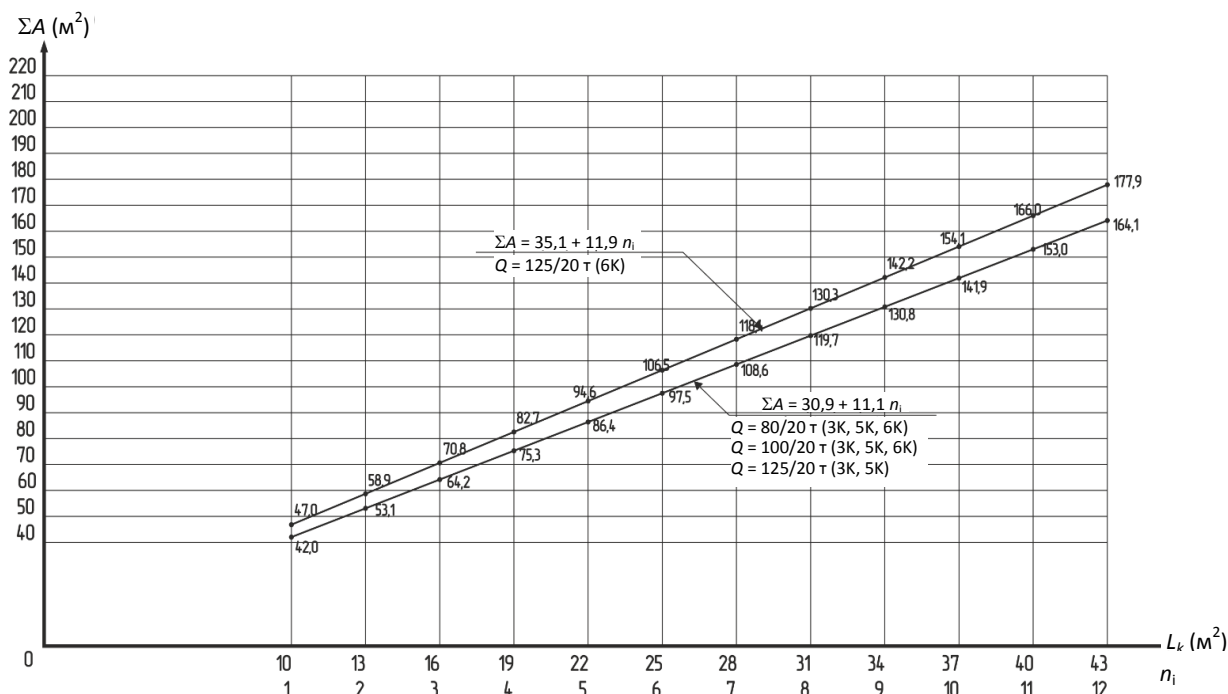


Рис. 10. Предельные расчетные суммарные боковые площади ΣA , m^2 , мостовых электрических двухбалочных опорных кранов грузоподъемностью $Q = 200/20, 100/10, 125/20$ т

Fig. 10. Maximum calculated total lateral areas ΣA , m^2 , of overhead electric double-girder support cranes $Q = 200/20, 100/10, 125/20$ t

На рис. 11 представлены аналогичные данные для кранов грузоподъемностью $Q = 160/32, 200/32, 250/32, 320/32, 400/80, 500/80$ т при пролетах $L_k = 9,5-33,5$ и $15,5-33,5$ м.

Для рассмотренных мостовых электрических одно- и двухбалочных опорных грузоподъемных кранов при определении суммарных распределенных расчетных ветровых нагрузок P_w на единицу площади для неработающего состояния кранов в запас прочности и для унификации ПУ принимаем срок эксплуатации грузоподъемных кранов 25 лет, тогда коэффициент $K = 1,35$; высота эксплуатации грузоподъемных кранов $H = 40$ м, тогда коэффициент $k = 1,55$; частный коэффициент надежности по нагрузке $\gamma_p = 1,16$; коэффициент перегрузки $n = 1,1$; коэффициент аэродинамической силы $c = 2$; коэффициент динамичности $\varepsilon = 0$; распределенная ветровая нагрузка на единицу площади грузоподъемных кранов $p = gkc n = g \cdot 1,55 \cdot 2 \cdot 1,1 = 3,41g$; распределенная ветровая нагрузка на единицу площади грузоподъемных кранов с учетом частного коэффициента надежности по нагрузке и коэффициента срока эксплуатации грузоподъем-

ных кранов $p_1 = p\gamma_p K = 3,41g \cdot 1,16 \cdot 1,35 = 5,34g$; g – динамическое давление ветра (Па) на высоте 10 м от поверхности земли в соответствии с рис. 3; коэффициент пульсации ветра на высоте 40 м $m_n = 0,1$; величина $(1 + 3m_n\varepsilon)$ в формуле (2) равна $(1 + 3 \cdot 0,1 \cdot 0) = 1$.

Тогда, согласно формуле (2), $P_w = (1 + 3m_n\varepsilon) \times p_1 = 1 \cdot 5,34g = 5,34g$.

Численные значения P_w для различных g приведены в табл. 2.

Таблица 2

g (кПа)	270	350	450	550	700	850	1000
P_w (кПа)	1,442	1,869	2,403	2,937	3,738	4,539	5,340

Учитывая полученные значения P_w и ΣA , приведенные на рис. 8–11, согласно формуле (1), получим предельные расчетные суммарные значения ветровых нагрузок ΣP_w на элементы ПУ, устанавливаемые на мостовые электрические одно- и двухбалочные опорные краны разных типов, исполнений, грузоподъемности пролетов, режимных групп и других параметров, оговоренных в табл. 3–6.

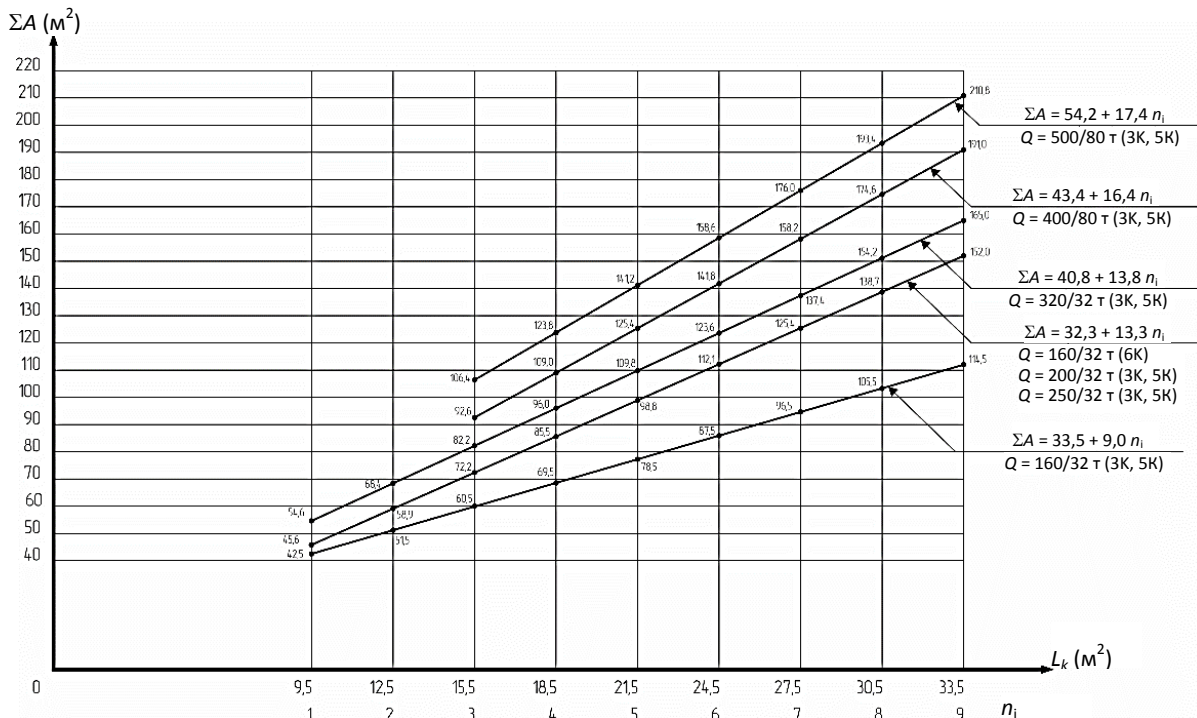


Рис. 11. Предельные расчетные суммарные боковые площади ΣA , м², мостовых электрических двухбалочных опорных кранов грузоподъемностью $Q = 160/30, 250/32, 320/32, 900/80, 500/180$ т

Fig. 11. Maximum calculated total lateral areas ΣA , m², of overhead electric double-girder support cranes $Q = 160/30, 250/32, 320/32, 900/80, 500/180$ t

Конструктивные решения козловых и башенных кранов настолько разнообразны, что их суммарные наветренные площади необходимо определять для каждого крана индивидуально с учетом высотного расположения их отдельных частей.

В общем виде для козловых и башенных кранов это решается по формуле

$$\Sigma A = A_i \Delta_i. \quad (3)$$

Здесь A_i – максимальные наветренные площади элементов кранов на каждой из отметок 10 м от уровня земли; Δ_i – процент дырчатости конструкций кранов, высчитанный по их фактическому конструктивному решению или взятый из паспортов кранов или других документов при их наличии.

Далее величина ΣP_w для данных кранов, как и для нерассмотренных, определяется с учетом рекомендаций данной статьи.

Таблица 3

g (Па)	P _w (кПа)	L _к (м)	ΣP _w (кН)	
			Q = 2 т	
			Исполнение	
			А	Б
270	1,442	13,5	17,016	21,342
		22,5	27,975	32,301
350	1,869	13,5	22,054	27,661
		22,5	36,259	41,886
450	2,403	13,5	28,355	35,564
		22,5	46,618	53,827
550	2,937	13,5	34,657	43,468
		22,5	56,978	65,789
700	3,738	13,5	44,108	55,322
		22,5	72,517	83,731
850	4,539	13,5	53,560	67,177
		22,5	88,057	101,674
1000	5,340	13,5	63,012	79,032
		22,5	103,596	119,616

g (Па)	P _w (кПа)	L _к (м)	ΣP _w (кН)	
			Q = 3,2 т; 5 т	
			Исполнение	
			А	Б
270	1,442	13,5	17,304	21,630
		28,5	37,636	41,962
350	1,869	13,5	22,428	28,035
		28,5	48,781	54,388
450	2,403	13,5	28,836	36,045
		28,5	62,718	69,927
550	2,937	13,5	35,244	44,055
		28,5	76,656	85,467
700	3,738	13,5	44,856	56,070
		28,5	97,562	108,776
850	4,539	13,5	54,468	68,085
		28,5	118,468	132,085
1000	5,340	13,5	64,080	80,100
		28,5	139,374	155,394

Таблица 4

g (Па)	P _w (кПа)	L _к (м)	ΣP _w (кН)					
			Q (т)					
			5	8; 10; 12,5	16; 16/3,2	20/5	32/5	50/12,5
270	1,442	10,5	32,878	36,771	41,530	44,702	50,326	56,671
		34,5	79,022	91,567	106,708	116,802	134,539	154,727
350	1,869	10,5	42,613	47,660	53,827	57,939	65,228	73,452
		34,5	102,421	118,682	138,306	151,389	174,378	200,544
450	2,403	10,5	54,788	61,277	69,206	74,493	83,865	94,438
		34,5	131,684	152,591	177,822	194,643	224,200	257,842
550	2,937	10,5	66,964	74,894	84,586	91,047	102,501	115,424
		34,5	160,948	186,500	217,338	237,897	274,022	315,140
700	3,738	10,5	85,226	95,319	107,654	115,878	130,456	146,903
		34,5	204,842	237,363	276,612	302,778	348,755	401,087
850	4,539	10,5	103,489	115,745	130,723	140,709	158,411	178,383
		34,5	248,737	288,227	335,886	367,659	423,489	487,035
1000	5,340	10,5	121,752	136,170	153,792	165,540	186,366	209,862
		34,5	292,632	339,090	395,160	432,540	498,222	572,982

Таблица 5

g (Па)	P _w (кПа)	L _к (м)	ΣP _w (кН)			
			Группы режимов работы			
			3К; 5К; 6К		3К; 5К	6К
			Q = 80/20 т	Q = 100/20 т	Q = 125/20 т	Q = 125/20 т
270	1,442	10	60,564		67,774	
		43	236,632		256,532	
350	1,869	10	78,498		87,843	
		43	306,703		332,495	
450	2,403	10	100,926		112,941	
		43	394,332		427,493	
550	2,937	10	123,354		138,039	
		43	481,962		522,492	
700	3,738	10	156,996		175,686	
		43	613,406		664,990	
850	4,539	10	190,638		213,333	
		43	744,850		807,488	
1000	5,340	10	224,280		250,980	
		43	876,294		949,986	

Таблица 6

g (Па)	P _w (кПа)	L _к (м)	ΣP _w (кН)				
			Группы режимов работы				
			3К; 5К	6К	3К; 5К		
			Q = 160/ 32 т	Q = 160/ 32 т	Q = 200/ 32 т	Q = 250/ 32 т	Q = 320/ 32 т
270	1,442	9,5	61,285	69,755		78,733	
		33,5	165,109	219,184		237,930	
350	1,869	9,5	79,433	85,226		102,047	
		33,5	214,001	284,088		308,385	
450	2,403	9,5	102,128	109,577		131,204	
		33,5	275,144	365,256		396,495	
550	2,937	9,5	124,823	133,927		160,360	
		33,5	336,287	446,424		484,605	
700	3,738	9,5	158,865	170,453		204,095	
		33,5	428,001	568,176		616,770	
850	4,539	9,5	192,908	206,978		247,829	
		33,5	519,716	689,928		748,935	
1000	5,340	9,5	226,950	243,504		291,564	
		33,5	611,430	811,680		881,100	

g (Па)	P _w (кПа)	L _к (м)	ΣP _w (кН)	
			Группы режимов работы	
			3К; 5К	
			Q = 400/ 80 т	Q = 500/ 80 т
270	1,442	15,5	133,529	153,429
		33,5	275,422	303,974
350	1,869	15,5	173,060	198,862
		33,5	356,979	393,985
450	2,403	15,5	222,518	255,679
		33,5	458,973	506,552
550	2,937	15,5	271,966	312,497
		33,5	560,967	619,120
700	3,738	15,5	346,139	397,723
		33,5	713,958	787,970
850	4,539	15,5	420,311	482,950
		33,5	866,949	956,821
1000	5,340	15,5	494,484	568,176
		33,5	1019,940	1125,672

ВЫВОДЫ

1. Рассмотрена методика определения предельных расчетных суммарных значений ветровых нагрузок на элементы разработанного противоугонного устройства для грузоподъемных кранов, перемещающихся по подкрановым рельсовым путям.

2. Установлены математические и графические зависимости динамического давления и скорости ветра на высоте 10 м от поверхности земли, коэффициентов, учитывающих изменение динамического давления ветра и пульсации, от высоты расположения наветренной площади, динамического коэффициента, учитывающего вероятность появления ветра максимальной скорости в зависимости от срока эксплуатации грузоподъемных устройств, другие зависимости.

3. Определены расчетные суммарные боковые площади и ветровые нагрузки на мостовые опорные одно- и двухбалочные краны, козловые и башенные краны для различных исполнений, пролетов, грузоподъемностей и других параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматическое противоугонное устройство для грузоподъемных кранов: пат. ВУ 12950 / А. Н. Наталевич, Н. Л. Нестеренко, Н. М. Селивончик. Оpubл. 30.08.2022.
2. Селивончик, Н. М. Основы расчета противоугонного кранового устройства из эксцентрикового и клещевого механизмов / Н. М. Селивончик, Н. Л. Нестеренко // Наука и техника. 2021. Т. 20, № 4. С. 296–301. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2021-20-4-296-301>.
3. Селивончик, Н. М. Силовой расчет противоугонного кранового устройства из эксцентрикового и клинового механизмов / Н. М. Селивончик, Н. Л. Нестеренко // Наука и техника. 2023. Т. 22, № 2. С. 113–118. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2023-22-2-113-118>.
4. Правила по обеспечению промышленной безопасности грузоподъемных кранов [Электронный ресурс]: утв. постановлением Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 22.12.2018, № 66 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21934170p&p1=1>. Дата доступа: 14.04.2021.
5. Краны грузоподъемные. Принципы формирования расчетных нагрузок и комбинаций нагрузок. Ч. 1:

Общие положения: ГОСТ 32579.1–2013. М.: Стандартинформ, 2015. 30 с. Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data/577/57770.pdf>.

6. Краны грузоподъемные. Нагрузка ветровая. Нормы и метод определения: ГОСТ 1451–77. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. 13 с.
7. Краны грузоподъемные. Принципы формирования расчетных нагрузок и комбинаций нагрузок. Ч. 2: Краны стреловые самоходные: ГОСТ 32579.2–2013. М.: Стандартинформ, 2015. 8 с. Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293769/4293769479.pdf>.
8. Краны грузоподъемные. Принципы формирования расчетных нагрузок и комбинаций нагрузок. Ч. 3: Краны башенные: ГОСТ 32579.3–2013. М.: Стандартинформ, 2015. 8 с. Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293769/4293769479.pdf>.
9. Краны грузоподъемные. Принципы формирования расчетных нагрузок и комбинаций нагрузок. Ч. 4: Краны стреловые: ГОСТ 32579.4–2013. М.: Стандартинформ, 2015. 10 с. Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data/577/57766.pdf>.
10. Краны грузоподъемные. Принципы формирования расчетных нагрузок и комбинаций нагрузок. Ч. 5: Краны мостового типа. ГОСТ 32579.5–2013. М.: Стандартинформ, 2015. 14 с. Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293769/4293769477.pdf>.
11. Краны мостовые электрические однобалочные опорные. Технические условия: ГОСТ 22045–89. М.: ИПК Издательство стандартов, 1999. 26 с.
12. Рельсы железнодорожные узкой колеи типов Р8, Р11, Р18 и Р24. Конструкция и размеры: ГОСТ 6368–82. М.: Изд-во стандартов, 1989. 6 с. Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294852/4294852756.pdf>.
13. Прокат сортовой стальной горячекатаный квадратный. Сортамент: ГОСТ 2591–2006. М.: Стандартинформ, 2006. 17 с. Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293832/4293832576.pdf>.
14. Краны мостовые электрические общего назначения грузоподъемностью от 5 до 50 т. Типы, основные параметры и размеры: ГОСТ 25711–83. Введ. 01.07.1985. М.: Изд-во стандартов, 1983. 20 с. Режим доступа: https://simkran.ru/upload/doc/gost/GOST_25711-83_ww-simkran-ru.pdf.
15. Машины, приборы и другие технические изделия Исполнения для различных климатических районов, категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды: ГОСТ 15150–69. Введ. 01.01.1971. М.: Стандартинформ, 2010. 71 с. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200003320>.
16. Краны мостовые электрические общего назначения грузоподъемностью от 80 до 500 т. Основные параметры и размеры: ГОСТ 6711–81. Введ. 01.01.1982. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1985. 35 с. Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293802/4293802565.pdf>.

Поступила 03.10.2023

Подписана к печати 14.12.2023

Опубликована онлайн 31.01.2024

REFERENCES

1. Natalevich A. N., Nesterenko N. L., Selivonchik N. M. (2022). *Automatic Anti-Theft Device Fore Cranes*. Patent BY No 12950 (in Russian).
2. Selivonchik N. M., Nesterenko N. L. (2021) Basics of Calculating Anti-Theft Crane Device from Eccentric and Tick-Borne Mechanisms. *Nauka i Tekhnika = Science and Technique*, 20 (4), 296–301. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2021-20-4-296-301> (in Russian).
3. Selivonchik N. M., Nesterenko N. L. (2023) Power Calculation of Anti-Driveaway Crane Device from Eccentric and Wedge Mechanisms. *Nauka i Tekhnika = Science and Technique*. 22 (2), 113–118. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2023-22-2-113-118> (in Russian).
4. Rules on Ensuring Industrial Safety of Hoisting Cranes: Resolution of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus of December 22, 2018 No 66. *National Legal Internet Portal of the Republic of Belarus*. Available at: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21934170p&p1=1> (accessed 14 April 2021) (in Russian).
5. State Standard 32579.1–2013. *Cranes. Design Principles for Loads and Load Combinations. Part 1. General*. Moscow, Standartinform Publ., 2015. 30. Available at: <https://files.stroyinf.ru/Data/577/57770.pdf> (in Russian).
6. State Standard 1451–77. *Cranes. Wind Load. Norms and Method of Determination*. Moscow, Publishing House of Standards, 2003. 13 (in Russian).
7. State Standard 32579.2–2013. *Cranes. Design Principles for Loads and Load Combinations Part 3. Tower Cranes*. Moscow, Standartinform Publ., 2015. 8. Available at: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293769/4293769479.pdf> (in Russian).
8. State Standard 32579.3–2013. *Cranes. Design Principles for Loads and Load Combinations Part 3. Tower Cranes*. Moscow, Standartinform Publ., 2015. 8. Available at: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293769/4293769479.pdf> (in Russian).
9. State Standard 32579.4–2013. *Cranes. Design Principles for Loads and Load Combinations. Part 4: Jib Cranes*. Moscow, Standartinform Publ., 2015. 10. Available at: <https://files.stroyinf.ru/Data/577/57766.pdf> (in Russian).
10. State Standard 32579.5–2013. *Cranes. Design Principles for Loads and Load Combinations. Part 5. Overhead Type Crane*. Moscow, Standartinform Publ., 2015. 14. Available at: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293769/4293769477.pdf> (in Russian).
11. State Standard 22045–89. *Interstate Standard. Single-beam Electric Overhead Cranes. Technical Specifications*. Moscow, Publishing House of Standards, 1999. 26 (in Russian).
12. State Standard 6368–82. *Type R8, R11, R18 and R24 Narrow-Gauge Railway Rails. Design and Dimensions*. Moscow, Publishing House of Standards, 1989. 6. Available at: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294852/4294852756.pdf> (in Russian).
13. State Standard 2591–2006. *Square Hot-Rolled Steel Bars. Dimensions*. Moscow, Standartinform Publ., 2006. 17. Available at: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293832/4293832576.pdf> (in Russian).
14. State Standard 25711–83. *Electrical Overhead Travelling type Cranes for General Purposes. Types, Basic parameters and Dimensions*. Moscow, Publishing House of Standards, 1983. 20. Available at: https://simkran.ru/upload/doc/gost/GOST_25711-83www-simkran-ru.pdf (in Russian).
15. State Standard 15150–69. *Machines, Instruments and Other Industrial Products. Modifications for Different Climatic regions. Categories, Operating, Storage and Transportation Conditions as to Environment Climatic Aspects Influence*. Moscow, Standartinform Publ., 2010. 71. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200003320> (in Russian).
16. State Standard 6711–81. *General-Purpose Electric Bridge Cranes of Load Capacity From 80 to 500 tn* Basic Parameters and Dimensions*. Moscow, Publishing House of Standards, 1985. 35. Available at: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293802/4293802565.pdf> (in Russian).

Received: 03.10.2023

Accepted: 14.12.2023

Published online: 31.01.2024