

УДК 630*377.1: 621.869.7

П.Ф. Войтко

Войтко Петр Филиппович родился в 1945 г., окончил в 1968 г. Марийский политехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры транспорта леса Марийского государственного технического университета, заслуженный деятель науки Республики Марий Эл. Имеет 79 печатных работ в области водного транспорта лесоматериалов и совершенствования лесоперевалочных процессов на рейдах приплава.



РАСЧЕТ НАГРУЗКИ НА БАШЕННЫЙ КРАН ОТ ДЕЙСТВИЯ ПЕРЕДВИЖНОГО ТОРЦЕВЫРАВНИВАТЕЛЯ

Определены дополнительные нагрузки на лесопогрузчики башенного типа КБ-572, КБ-578 от действия передвижных торцевыравнивателей ТПК-10, ЛВ-169.

башенный кран, торцевыравниватель, пакет лесоматериалов, усилия в тросах крепления, тензометрические испытания.

Институт ВКНИИВОЛТ совместно с Пермским машиностроительным заводом «Коммунар», институтами ВНИИстройдормаш и МарГТУ разработали торцевыравниватели ТПК-10, ЛВ-169 к башенным и порталным кранам, которые составляют около 40 % грузоподъемного оборудования в лесопромышленном комплексе России. Торцевыравниватель круглых лесоматериалов ТПК-10 [1] представляет самостоятельный агрегат, прикрепленный тремя тросами к portalу лесопогрузчика КБ-572 (рис. 1)



Рис. 1. Система башенный кран (1) и передвижной торцевыравниватель (2) на Кировской ЛПБ

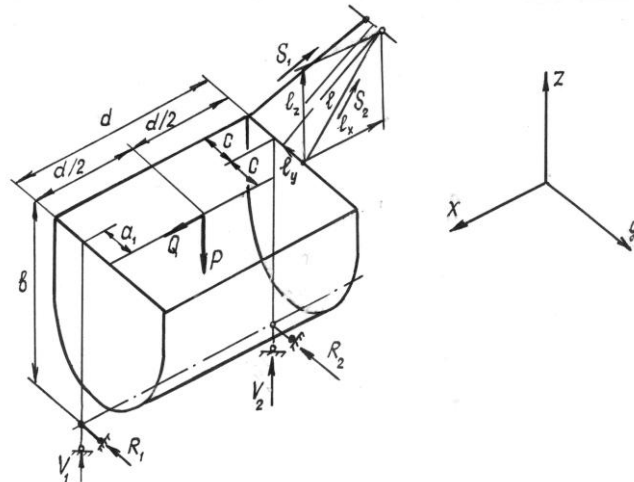


Рис. 2. Расчетная схема сил, действующих на торцевыравниватель

и перемещающийся за ним по одному из рельсов подкранового пути с помощью четырех механизмов передвижения крана. Размещение торцевыравнивателя на одном из рельсов подкранового пути обеспечивает погрузку лесоматериалов башенным краном с обеих сторон пути при минимальных затратах времени на цикл за счет перестановки торцевыравнивателя с одного рельса на другой. При передвижении крана с торцевыравнивателем на его портал воздействует дополнительная нагрузка от торцевыравнивателя (рис. 2).

Исходные данные для расчета: масса торцевыравнивателя $m_t = 12$ т; масса пакета круглых лесоматериалов $m_n = 10$ т; масса балласта на портале $m_b = 55$ т; масса крана $m_k = 122$ т; расстояние между опорами торцевыравнивателя $d = 6 \dots 9$ м; коэффициент перегрузки собственного веса торцевыравнивателя $n_t = 1,0$; коэффициент перегрузки крана (режим работы средний) $n_n = 1,25$; динамический коэффициент $n_d = 1,1$; двигатели механизма передвижения крана МТ Ш-6, развивающие максимальный момент $M_{дв} = 85,35$ Н·м; для механизма передвижения: число двигателей $n = 4$, передаточное число $i_n = 46,7$, коэффициент полезного действия $\eta_m = 0,8$, радиус ходового колеса $r_0 = 0,25$ м; длина верхних тяг крепления торцевыравнивателя к portalу $l = 3,84$ м; высота торцевыравнивателя $b = 33$ м; эксцентриситет его люльки $a_1 = 0,425$ м; межцентровое расстояние крепления тяг к торцевыравнивателю $2c = 1,85$ м.

Нагрузки на башенный кран от действия торцевыравнивателя определяли методом предельных состояний в соответствии с РД22-166-86 [2]. По существующей технологии лесоперевалочных работ загрузка торцевыравнивателя производится без сброса пачки круглых лесоматериалов в его люльку. Поэтому в расчетах принимаем минимальный динамический коэффициент [2], учитывающий случайные удары лесных грузов о торцевырав-

ниватель. Нагрузки рассчитывали для трех неблагоприятных случаев прикладывания пакета лесоматериалов: 1) к краю люльки при расстоянии между опорами торцевывравнивателя $d = 9$ м; 2) то же при $d = 6$ м; 3) в центре тяжести торцевывравнивателя при $d = 9$ м.

При передвижении башенного крана с торцевывравнивателем действуют следующие нагрузки: инерционные Q , вертикальные P , сопротивления движению W . Суммарная масса перемещаемых механизмов составит

$$m_0 = m_k + m_r + m_n = 122 + 12 + 10 = 144 \text{ т.}$$

Максимальное ускорение

$$a = nM_{дв}i_{п} \eta_{м} / (r_0 m_0) = 4 \cdot 85,35 \cdot 46,7 \cdot 0,8 / (0,25 \cdot 144000) = 0,354 \text{ м/с}^2.$$

Инерционная сила, приложенная к торцевывравнивателю в центре его масс,

$$Q_r = m_r a = 12 \cdot 0,354 = 4,248 \text{ кН.}$$

Инерционная сила, приложенная к пакету круглых лесоматериалов в торцевывравнивателе,

$$Q_n = m_n a = 10 \cdot 0,354 = 3,54 \text{ кН.}$$

Определим из условия равновесия усилия S_1 и S_2 в тросах и крепления торцевывравнивателя к portalу крана от действия инерционных нагрузок Q :

$$Q - S_1 \frac{l_x}{l} - S_2 \frac{l_x}{l} = 0; \quad (1) \quad Qa + R_1 d + S_1 \frac{l_x}{l} \tilde{n} - S_2 \frac{l_x}{l} \tilde{n} = 0; \quad (2)$$

$$S_1 \frac{l_z}{l} \tilde{n} - S_2 \frac{l_z}{l} \tilde{n} + (R_1 + R_2) b = 0; \quad (3) \quad R_1 + R_2 - S_1 \frac{l_o}{l} + S_2 \frac{l_o}{l} = 0, \quad (4)$$

где l_x, l_y, l_z – проекции трос длиной l на оси координат x, y, z , м;

R_1, R_2 – горизонтальные реакции в опорах торцевывравнивателя, кН;

S_1, S_2 – усилия в тросах, кН (растягивающее усилие считается положительным).

Преобразуя уравнения (3) и (4), находим

$$S_1 c l_z / l - S_2 c l_z / l + S_1 b l_y / l - S_2 b l_y / l = 0. \quad (5)$$

Из уравнения (5) имеем $S_1 = S_2$. Из уравнения (1) определим усилия в тросах крепления торцевывравнивателя к portalу крана:

$$S_1 = S_2 = Ql / (2l_x). \quad (6)$$

Подставив (5), (6) в (2) и (4), получим горизонтальные R и вертикальные V опорные реакции торцевывравнивателя:

$$\begin{aligned} R_1 &= -Qa/d; & R_2 &= -R_1 = Qa/d; \\ V_1 &= 0; & V_2 &= -2 S_1 l_z / l = -Ql_z / l. \end{aligned}$$

На торцевывравниватель действуют суммарные инерционные силы:

$$Q = Q_r + Q_n = 4,248 + 3,540 = 7,788 \text{ кН.}$$

Вычислим усилия в тросах S и опорные реакции R и V торцевывравнивателя от действия инерционных нагрузок для трех расчетных случаев.

1. Если $d = 9$ м, $l = 3,84$ м, $l_x = 2,62$ м, $l_z = 2,74$ м, $a_T = 0,425$ м, $a_n = 1,925$ м, то

$$S_1 = S_2 = (Q_n + Q_T)l / (2l_x) = (3,54 + 4,248) \cdot 3,84 / (2 \cdot 2,62) = 5,71 \text{ кН};$$

$$R_2 = -R_1 = (Q_n a_n + Q_T a_T) / d = (3,54 \cdot 1,925 + 4,248 \cdot 0,425) / 9 = 0,958 \text{ кН};$$

$$V_2 = - (Q_n + Q_T) l_z / l_x = - (3,54 + 4,248) \cdot 2,47 / 2,62 = - 8,145 \text{ кН}.$$

2. Если $d = 6$ м, $a_T = 0,425$ м, $a_n = 1,925$ м, то

$$S_1 = S_2 = 5,71 \text{ кН}; V_1 = 0; V_2 = - 8,145 \text{ кН};$$

$$R_2 = -R_1 = (Q_n a_n + Q_T a_T) / d = (3,54 \cdot 1,925 + 4,248 \cdot 0,425) / 6 = 1,437 \text{ кН}.$$

3. Если $d = 9$ м, $a_T = 0,425$ м, $a_n = 1,925$ м, то

$$S_1 = S_2 = 5,71 \text{ кН}; V_1 = 0; V_2 = - 8,145 \text{ кН};$$

$$R_2 = -R_1 = (Q_n a_n + Q_T a_T) / d = (3,54 \cdot 1,925 + 4,248 \cdot 0,425) / 9 = 0,958 \text{ кН}.$$

Для определения усилий в тросах S крепления торцевывравнивателя к порталу крана от действия вертикальных нагрузок P составим два уравнения равновесия:

$$D \dot{a} + S_1 \frac{l_o}{l} b - S_2 \frac{l_o}{l} b + S_1 \frac{l_z}{l} c - S_2 \frac{l_z}{l} c = 0; \quad (7)$$

$$S_1 \frac{l_x}{l} + S_2 \frac{l_x}{l} = 0. \quad (8)$$

Решая совместно (7) и (8), находим

$$S_1 = -Pa / \left[\frac{l_o}{l} b + \frac{l_z}{l} c \right];$$

$$S_2 = Pa / \left[\frac{l_o}{l} b + \frac{l_z}{l} c \right]; \quad V_1 = V_2 = P/2.$$

Значение вертикальной нагрузки от веса пакета круглых лесоматериалов с учетом коэффициентов n_n и n_d равно

$$D_1^p = m_i g \ddot{v}_i \ddot{v}_a = 10 \cdot 9,81 \cdot 1,25 \cdot 1,1 = 134,887 \text{ кН}.$$

Определим усилия в тросах S и вертикальные опорные реакции V торцевывравнивателя для трех расчетных случаев.

1. Если $a_T = 0,425$ м, $a_n = 1,925$ м, $l = 3,84$ м, $l_y = 0,61$ м, $l_z = 2,74$ м, $c = 0,925$ м, $b = 3,3$ м, то

$$S_1 = - \left(D_0 \dot{a}_0 + D_1^p \dot{a}_1 \right) / \left[\frac{l_o}{l} b + \frac{l_z}{l} c \right] = \\ = (117,72 \cdot 0,425 + 134,887 \cdot 1,925) / \left[\frac{2}{3,84} (0,61 \cdot 3,3 + 2,74 \cdot 0,925) \right] = - 130,84 \text{ кН}.$$

$$S_2 = -S_1; V_1 = -V_2 = (D_0 + D_1^{\delta})/2 = (117,75 + 134,887)/2 = 126,32 \text{ кН.}$$

2. Расчетные усилия в тросах S_1 и S_2 и вертикальные опорные реакции V_1 и V_2 такие же, как в расчетном случае 1.

3. Если $a_{\text{т}} = 0,425$ м, $l = 3,84$ м, $l_y = 0,61$ м, $l_z = 2,74$ м, $b = 3,3$ м, $c = 0,925$ м, то

$$S_1 = - \frac{D_0 + D_1^{\delta}}{2} \cdot \frac{a_{\text{т}}}{l} \cdot (b + l_z \cdot c) = - (117,72 + 134,89) \cdot 0,425 : \\ : \left[\frac{2}{3,84} (0,61 \cdot 3,3 + 2,74 \cdot 0,925) \right] = -45,357 \text{ кН;} \\ S_2 = -S_1; V_1 = V_2 = 126,32 \text{ кН.}$$

Определим силы сопротивления W движению торцевывравнителя, которые возникают вследствие трения качения ходовых колес и трения реборд ходовых колес о головку рельса подкранового пути:

$$W = K_p W_T = K_p V_2 \mu / D_x = 2,5(2 \cdot 126,32 + 8,145) \cdot 2 \cdot 0,05 / 50 = 1,3 \text{ кН,}$$

где K_p – коэффициент, учитывающий трение реборд о головку рельса, $K_p = 1,2 \dots 2,5$;

μ – плечо трения качения, $\mu = 0,05$ см;

D_x – диаметр ходового колеса, $D_x = 50$ см;

V – суммарная вертикальная опорная реакция, кН.

Вследствие малости силы сопротивления движению торцевывравнителя в дальнейших расчетах ее можно не учитывать. Значения расчетных усилий в тросах крепления торцевывравнителя ТПК-10 к порталу крана КБ-572 приведены в табл. 1.

Для проверки соответствия действующих нагрузок на башенный кран расчетным в условиях эксплуатации на лесопромышленных предприятиях проводили производственные тензометрические испытания лесопогрузчика КБ-572 и торцевывравнителя ТПК-10 на Кировской ЛПБ согласно РТМ 2201-70-93 [4]. Результаты проверки [1] подтвердили правильность

Таблица 1

Показатели	Расчетные усилия, кН, для случаев					
	1		2		3	
	S_1	S_2	S_1	S_2	S_1	S_2
Нагрузка:						
инерционная	5,71	5,51	5,71	5,71	5,71	5,71
вертикальная	-130,84	130,84	-130,84	130,84	-45,357	45,357
Направление инерционных нагрузок:						
к крану	-125,13	136,55	-125,13	136,55	-39,647	51,067
от крана	-136,55	125,13	-136,55	125,13	-51,067	39,647

Таблица 2

Показатели	Эксперимент, кН			Расчет, кН		Ошибка, %	
	S_1	S_2	S_3	S_1	S_2	δ_1	δ_2
Статические испытания							
Влияние собственной массы торцевывравнителя на кран	9,947	-1,364	0,343	21,190	21,190	53	87
Опускание груза в торцевывравнители	27,193	-11,203	3,591	36,297	36,297	25	69
Подъем груза из торцевывравнителя	19,905	-3,571	-1,069	21,190	21,190	6	83
Опускание груза на край торцевывравнителя	48,098	-30,009	10,644	121,644	121,644	66	75
Удар груза о торцевывравнитель	41,791	-30,843	5,337	121,644	121,644	66	74
Динамические испытания							
Передвижение крана, если стрела расположена перпендикулярно подкрановым путям:							
тянули	66,345	-51,179	-24,888	121,644	121,644	45	58
толкали	23,220	-27,301	-14,215	121,644	121,644	59	41
То же параллельно:							
тянули	89,565	-7,848	-10,664	121,644	121,644	56	53
толкали	-23,220	-13,656	-21,337	121,644	121,644	24	93
Аварийная ситуация наезда на башмак (толкали)	-66,345	-34,119	-10,664	121,644	121,644	45	72

выполненных расчетов (табл. 2). Статические испытания крана и торцевывравнителя в рабочем состоянии показали, что усилия, передаваемые тьями торцевывравнителя без груза на кран, составляют: $S_1 = 9,947$ кН; $S_2 = -1,364$ кН; $S_3 = 0,343$ кН. Более нагруженным является процесс опускания груза в торцевывравнитель (расчетный случай 3): $S_1 = 27,193$ кН, $S_2 = -11,2$ кН, $S_3 = -3,59$ кН. Наиболее нагруженным расчетным случаем при статических испытаниях являлся второй, когда пакет круглых лесоматериалов опускался на удаленный край торцевывравнителя: $S_1 = 48,098$ кН; $S_2 = 30,009$ кН; $S_3 = 10,643$ кН.

Во всех расчетных случаях максимальное усилие в третьей тьяе, расположенной на высоте 0,7 м от рельса, не превышало 22 % S_1 . Это позволило принять расчетную схему (рис. 2) крепления торцевывравнителя к порталу крана с двумя верхними тьями S_1 и S_2 .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.В. Мишин, П.Ф. Войтко. Экспериментальное определение нагрузок, передаваемых торцевателем ТПК-10 на кран КБ-572 // Сб.тр. / ЦНИИлесосплава, 1980. – С. 59–61.
2. РД 22-166-86. Краны башенные строительные. Нормы расчета. – М.: СКТБ «Стройдормаш», 1986. – 61 с.

3. Расчеты крановых механизмов и их деталей. –3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1971. – 495 с.

4. РТМ 2201-70-93. Краны башенные строительные. Нагрузки. Методы испытаний. – М.: ВНИИстройдормаш, 1993. – 29 с.

P.F. Voitko

Calculation of Load on Tower Crane Resulting from Mobile Trimmer Operation

The additional loads on log loaders of tower type KB-572, KB-578 received from the operation of mobile trimmers ТРК-10, LV-169 are calculated.

