

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 торцевывравнивателей ТПК-10, ЛВ-169.

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

Институт ВКНИИВОЛТ совместно с Пермским машиностроительным заводом «Коммунар», институтами ВНИИстройдормаш и МарГТУ разработали торцевывравниватели ТПК-10, ЛВ-169 к башенным и порталным кранам, которые составляют около 40 % грузоподъемного оборудования в лесопромышленном комплексе России. Торцевывравниватель 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 торцевывравниватель (2) на Кировской ЛПБ

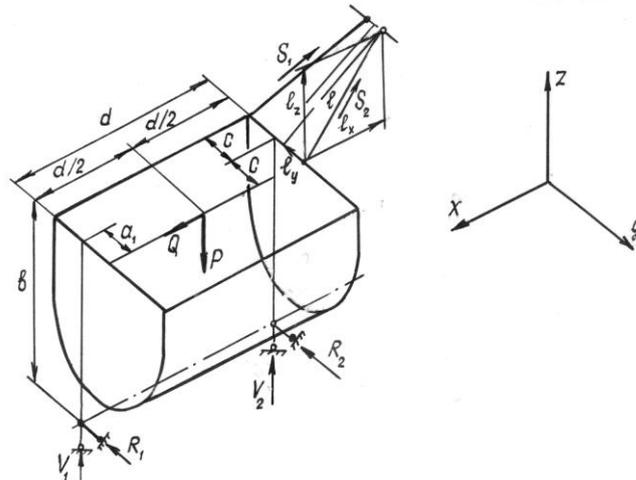


Рис. 2. Расчетная схема сил, действующих на торцевывравниватель

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

Исходные данные для расчета: масса торцевывравнивателя  $m_t = 12$  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 торцевывравнивателя  $d = 6 \dots 9$  м; коэффициент перегрузки собственного веса торцевывравнивателя  $n_t = 1,0$ ; 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 торцевывравнивателя к portalу  $l = 3,84$  м; высота торцевывравнивателя  $b = 33$  м; эксцентриситет его люльки  $a_1 = 0,425$  м; межцентровое расстояние крепления тяг к торцевывравнивателю  $2c = 1,85$  м.

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

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  $Q$ :

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

$$S_1 \frac{l_z}{l} \tilde{n} - S_2 \frac{l_z}{l} \tilde{n} + (R_1 + R_2) b = 0; \quad (3) \quad R_1 + R_2 - S_1 \frac{l_0}{l} + S_2 \frac{l_0}{l} = 0, \quad (4)$$

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:

$$\begin{aligned} R_1 &= -Qa/d; & R_2 &= -R_1 = Qa/d; \\ V_1 &= 0; & V_2 &= -2 S_1 l_z / l = -Ql_2 / l. \end{aligned}$$

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 portalу 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,  $K_p = 1,2 \dots 2,5$ ;

$\mu$  – 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, %  |            |
|--|-----------------|---------|---------|------------|---------|------------|------------|
|  | $S_1$           | $S_2$   | $S_3$   | $S_1$      | $S_2$   | $\delta_1$ | $\delta_2$ |
| 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.

