

УДК 622.647.2:622.023.65

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ УСИЛИЙ НА РОЛИКООПОРЫ ПРИ ДВИЖЕНИИ ЛЕНТЫ И ГРУЗА ПО КРИВОЛИНЕЙНОМУ УЧАСТКУ ТРУБЧАТОГО КОНВЕЙЕРА**<sup>1</sup>*Кирия Р. В., <sup>1</sup>Смирнов А. Н.*<sup>1</sup>*Институт геотехнической механики им. Н. С. Полякова НАН Украины***ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ЗУСИЛЬ НА РОЛІКООПОРИ ПРИ РУСІ СТРІЧКИ І ВАНТАЖУ ПО КРИВОЛІНІЙНІЙ ДІЛЯНЦІ ТРУБЧАТОГО КОНВЕЄРА**<sup>1</sup>*Кірія Р. В., <sup>1</sup>Смірнов А. М.*<sup>1</sup>*Институт геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України)***DETERMINATION OF DYNAMIC FORCE ACTING ON ROLLER SUPPORTS WHEN BELT AND WEIGHT MOVE ALONG CURVED SECTION OF THE TUBULAR CONVEYER**<sup>1</sup>*Kiriya R. V., <sup>1</sup>Smirnov A. N.*<sup>1</sup>*Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine*

**Аннотация.** В связи с повышением требований экологии в настоящее время получили распространение трубчатые ленточные конвейеры. Одним из главных достоинств трубчатого ленточного конвейера является возможность транспортировать сыпучий груз по криволинейным трассам, как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости. При движении ленты и груза по криволинейному участку трубчатого конвейера возникают дополнительные динамические усилия на роликоопоры конвейера, обусловленные силами инерции. Как показал анализ литературы по данной теме, этот вопрос недостаточно изучен.

В статье рассмотрен вопрос определения динамических усилий на роликоопоры трубчатого ленточного конвейера со ставом, криволинейным в вертикальной плоскости. Получены уравнения колебаний ленты с грузом при ее движении по роликоопорам криволинейного участка става конвейера. С использованием метода Ритца получены аналитические зависимости динамических усилий, действующих на роликоопоры конвейера, от параметров конвейера, става и ленты. Установлено, что динамические усилия, действующие на роликоопоры криволинейного участка става трубчатого конвейера, с увеличением угла поворота става уменьшаются, а с увеличением веса крупных кусков груза – увеличиваются. При этом динамические усилия на роликоопоры криволинейного участка става трубчатого конвейера с увеличением скорости ленты увеличиваются и при критической скорости ленты стремятся к бесконечности. Наибольшего значения динамические усилия на роликоопоры достигают в начале криволинейного участка става трубчатого конвейера, при этом динамическое усилие, действующее на роликоопору в начале криволинейного участка става трубчатого конвейера, с увеличением расстояния между роликоопорами вначале уменьшается, затем принимает минимальное значение и при дальнейшем увеличении расстояния между роликоопорами увеличивается по линейному закону. Коэффициент динамичности в случае транспортирования ленточным конвейером мелкокускового и крупных кусков груза с увеличением расстояния между роликоопорами уменьшается по гиперболическому закону и при больших значениях расстояния между роликоопорами стремится к постоянному значению, равному коэффициенту динамичности для случая транспортирования ленточным конвейером мелкокускового груза.

**Ключевые слова:** роликоопоры, трубчатый конвейер, лента, груз, криволинейный участок, динамические усилия.

В связи с повышением требований экологии в настоящее время получили распространение трубчатые ленточные конвейеры.

Одним из главных достоинств трубчатого ленточного конвейера является возможность транспортировать сыпучий груз по криволинейным трассам, как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости.

При движении ленты и груза по криволинейному участку трубчатого конвейера возникают дополнительные динамические усилия на роlikоопоры конвейера, обусловленные силами инерции. Как показал анализ литературы по данной теме, этот вопрос недостаточно изучен [1, 2].

В настоящей статье получено уравнение колебания ленты с грузом при ее движении по роlikам криволинейного участка трубчатого конвейера.

С использованием метода Риза [3] получены динамические усилия на роlikоопоры и коэффициент динамичности криволинейного участка трубчатого конвейера. Проведен анализ зависимостей динамических усилий и коэффициента динамичности от параметров конвейера и радиуса кривизны става конвейера.

Рассмотрим криволинейный в вертикальной плоскости участок става трубчатого конвейера с постоянным радиусом кривизны  $R$  (рисунок 1).

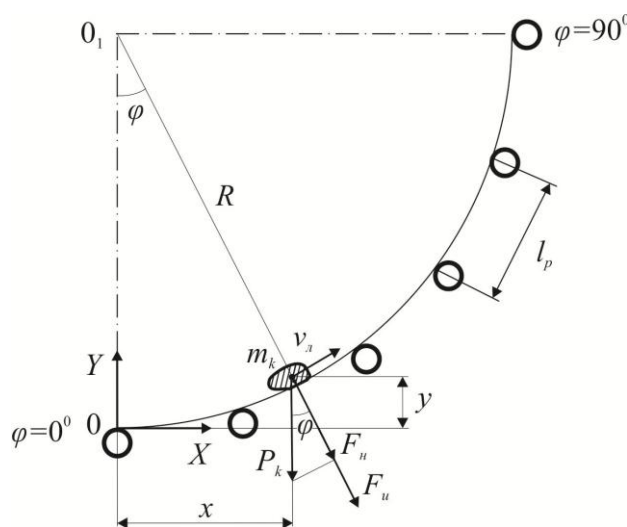


Рисунок 1 – Расчетная схема движения ленты с грузом по криволинейному участку става трубчатого конвейера

На этом криволинейном участке става трубчатого конвейера на груз действует сила тяжести, направленная вертикально вниз, и центробежная сила инерции, направленная по радиусу кривизны става конвейера. При этом центробежная сила инерции направлена от центра кривизны  $O_1$ .

Рассмотрим движение ленты трубчатого конвейера как движение тяжелой гибкой нити с погонным весом  $q$ , которая движется вместе с крупным куском груза весом  $P_k$ .

Нормальное давление куска груза на нить  $P'_k$ , направленное по радиусу кривизны става конвейера, согласно рис. 1 определим по формуле

$$P'_k = F_n + F_u, \quad (1)$$

где  $F_n$  – проекция силы тяжести куска груза в направлении радиуса кривизны става трубчатого конвейера, проведенного в точку контакта куска груза с лентой, Н;  $F_u$  – сила инерции, действующая на кусок груза при его движении по ставу криволинейного участка трубчатого конвейера, Н.

Проекция силы тяжести куска груза  $F_n$  (см. рис. 1) определяется по формуле

$$F_n = P_k \cos \varphi, \quad (2)$$

где  $P_k$  – вес куска груза, определяемый по формуле  $P_k = m_k g$ ,  $m_k$  – масса куска груза, кг;  $\varphi$  – угол поворота радиуса вектора, проведенного из центра кривизны става конвейера в точку контакта куска груза с лентой конвейера или угол наклона касательной в точке контакта куска груза с лентой криволинейного участка конвейера к горизонтали, град (см. рис. 1).

Величина силы инерции  $F_u$ , действующей на кусок груза при его движении по криволинейному участку става трубчатого конвейера, определяется по формуле

$$F_u = \frac{m_k v_l^2}{R}, \quad (3)$$

где  $v_l$  – скорость ленты конвейера, м/с;  $R$  – радиус кривизны става конвейера, м.

Подставляя (2) и (3) в формулу (1), получим нормальное давление куска груза на ленту конвейера, равное

$$P'_k = P_k \left( \cos \varphi + \frac{v_l^2}{Rg} \right) = m_k g', \quad (4)$$

где  $g' = g \cos \varphi + \frac{v_l^2}{R}$ .

Аналогично можно определить распределенное динамическое усилие  $q'$ , действующее на роlikоопоры криволинейного участка трубчатого конвейера со стороны ленты и мелкокускового груза. В результате имеем

$$q' = q \left( \cos \varphi + \frac{v_l^2}{Rg} \right). \quad (5)$$

где  $q$  – погонный вес груза и ленты трубчатого конвейера ( $q = q_l + q_z = \rho_c g$ ), Н/м;  $\rho_c$  – погонная масса ленты и груза, кг/м;  $q_l, q_z$  – погонные веса ленты и груза соответственно, Н/м.

Уравнение колебаний тяжелой нити при ее движении с грузом по роlikоопорам криволинейного участка става трубчатого конвейера согласно [4, 5] можно записать в виде

$$\rho_c \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + (\rho_c v_l^2 - S_l) \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = -f(x, t), \quad (6)$$

где  $y$  – прогиб нити, м;  $S_l$  – натяжение ленты, Н;  $f(x, t)$  – подвижная нагрузка, действующая на ленту, Н/м:

$$f(x, t) = q' + \left( P'_k + m_k \frac{d^2 y}{dt^2} \right) \delta(x - v_{\text{л}} t),$$

$\delta(x)$  – дельта-функция Дирака.

С учетом (4) последнее равенство запишем в виде

$$f(x, t) = q' + \left( P'_k + \frac{P'_k}{g'} \frac{d^2 y}{dt^2} \right) \delta(x - v_{\text{л}} t).$$

Динамическое усилие  $F_{\partial 1}$ , действующее на нить со стороны груза, определим по формуле

$$F_{\partial 1} = P'_k + m_k \frac{d^2 y}{dt^2}.$$

С учетом равенства (4) последняя формула примет вид

$$F_{\partial 1} = P'_k + \frac{P'_k}{g'} \frac{d^2 y}{dt^2}. \quad (7)$$

Так же, как и в работах [4, 5], решая уравнение (6) методом Ритца при тех же начальных и граничных условиях, определяем коэффициент динамичности при движении ленты и груза по роlikоопорам криволинейного участка става трубчатого конвейера по формуле

$$k_{\partial 1} = \frac{F_{\partial 1}}{P'_k + q' l_p} = 1 + \frac{2v_{\text{л}}^2}{g' l_p} \cdot \frac{\left( P'_k + \frac{2q' l_p}{\pi} \right)}{\left[ S_{\text{л}} - \frac{v_{\text{л}}^2}{g'} \left( q' + \frac{4P'_k}{l_p} \right) \right]}, \quad (8)$$

где  $l_p$  – расстояние между роlikоопорами, м.

Подставляя выражение  $P'_k$  из (4) и  $q'$  из (5) в формулу (8), после преобразования получим

$$k_{\partial 1} = 1 + \frac{2v_{\text{л}}^2}{g l_p} \cdot \frac{\left( P_k + \frac{2q l_p}{\pi} \right)}{\left( S_{\text{л}} - \frac{v_{\text{л}}^2}{g} \left( q + \frac{4P_k}{l_p} \right) \right)}. \quad (9)$$

Из формулы (9) следует, что коэффициент динамичности при движении ленты по роlikоопорам криволинейного участка става трубчатого конвейера равен коэффициенту динамичности при движении ленты по прямолинейному участку става того же трубчатого конвейера.

Кроме того, следует, что если знаменатель дроби в левой части приближается к нулю, то коэффициент динамичности стремится к бесконечности. В этом случае при движении ленты с грузом по ставу конвейера возникает динамическая неустойчивость.

Для устойчивости ленты и груза при движении по ставу конвейера необходимо, чтобы знаменатель в левой части равенства (9) был больше нуля. Т.е. должно выполняться условие

$$S_l - \frac{v_l^2}{g} \left( q + \frac{4P_k}{l_p} \right) > 0.$$

Из последнего неравенства следует

$$l_p > \frac{v_l^2}{g} \frac{4P_k}{\left( S_l - \frac{v_l^2}{g} q \right)}. \quad (10)$$

Динамические усилия, действующие на роlikоопоры при движении ленты с грузом по криволинейному участку става трубчатого конвейера, согласно (8) и (9) определим по формуле

$$F_{\partial 1} = k_{\partial 1} (P'_k + q'l_p). \quad (11)$$

Подставляя в последнее равенство значения  $P'_k$  из (4) и  $q'$  из (8), получим

$$F_{\partial 1} = k_{\partial 1} (P_k + ql_p) \left( \cos \varphi + \frac{v_l^2}{Rg} \right). \quad (12)$$

В случае отсутствия крупных кусков груза, т.е. при  $P_k = 0$ , формула (12) примет вид

$$F_{\partial 1} = k_{\partial} ql_p \left( \cos \varphi + \frac{v_l^2}{Rg} \right), \quad (13)$$

где

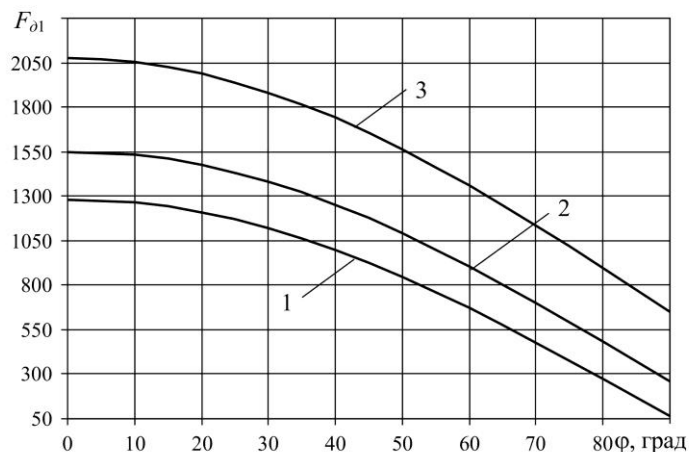
$$k_{\partial} = 1 + \frac{v_l^2}{g} \cdot \frac{q}{\left( S_l - \frac{v_l^2}{g} q \right)}. \quad (14)$$

На рисунке 2 показаны графики зависимости динамических усилий  $F_{\partial 1}$ , действующих на роlikоопоры криволинейного участка става трубчатого конвейера, от угла поворота  $\varphi$  при различных скоростях ленты  $v_l = 1; 2; 3$  м/с.

При этом параметры конвейера и груза принимали значения:  $S_l = 10000$  Н;  $q = 1000$  Н;  $P_k = 300$  Н;  $R = 2$  м;  $l_p = 1$  м.

Из рис. 2 видно, что динамическое усилие  $F_{\partial 1}$ , действующие на роlikоопоры криволинейного участка става трубчатого конвейера, с увеличением угла  $\varphi$  уменьшается, а при увеличении скорости ленты конвейера  $v_L$  увеличивается.

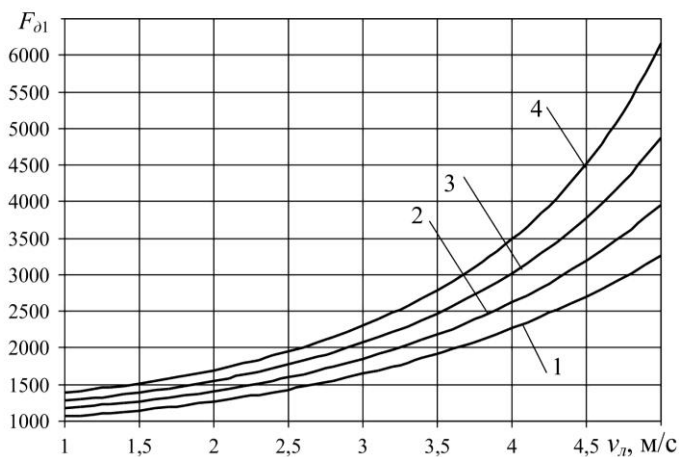
Кроме того, как видно из рис. 2, наибольшее значение динамических усилий  $F_{\partial 1}$  возникает при  $\varphi = 0$ , т.е. в начале криволинейного участка става трубчатого конвейера.



1 –  $v_L = 1$  м/с; 2 –  $v_L = 2$  м/с; 3 –  $v_L = 3$  м/с

Рисунок 2 – Зависимости динамических усилий  $F_{\partial 1}$  от угла поворота  $\varphi$  при различных скоростях ленты  $v_L$

На рисунке 3 показаны графики зависимости динамических усилий  $F_{\partial 1}$ , действующих на роlikоопоры в начале криволинейного участка става трубчатого конвейера, от скорости ленты конвейера  $v_L$  при различных значениях веса крупных кусков груза  $P_K = 0; 100; 200; 300$  Н.



1 –  $P_K = 0$  Н; 2 –  $P_K = 100$  Н; 3 –  $P_K = 200$  Н; 4 –  $P_K = 300$  Н

Рисунок 3 – Зависимости динамических усилий  $F_{\partial 1}$  от скорости ленты конвейера  $v_L$  при  $\varphi = 0$  и различных значениях веса крупных кусков груза  $P_K$

При этом параметры конвейера и груза принимали значения:  $S_{\text{л}} = 10000$  Н;  $q = 1000$  Н;  $R = 2$  м;  $l_p = 1$  м;  $\varphi = 0$ .

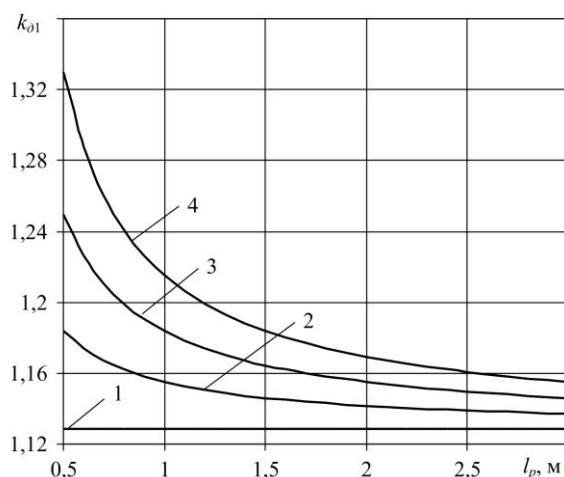
Из рис. 3 видно, что динамические усилия  $F_{\text{д1}}$ , действующие на роlikоопоры в начале криволинейного участка става трубчатого конвейера, с увеличением скорости ленты  $v_{\text{л}}$  увеличиваются по гиперболическому закону. При этом с увеличением веса крупных кусков груза  $P_{\text{к}}$  динамические усилия увеличиваются.

Кроме того, расчеты показали, что динамические усилия  $F_{\text{д1}}$ , действующие на роlikоопоры в начале криволинейного участка става трубчатого конвейера, при  $v_{\text{л}} = 5$  м/с примерно в 1,25 раза больше, чем динамические усилия, действующие на роlikоопоры линейного участка става трубчатого конвейера.

На рисунке 4 показаны графики зависимости коэффициента динамичности  $k_{\text{д1}}$  от расстояния между роlikоопорами  $l_p$  при различных значениях веса крупных кусков груза  $P_{\text{к}} = 0; 100; 200; 300$  Н.

При этом параметры конвейера и груза принимали значения:  $S_{\text{л}} = 10000$  Н;  $q = 1000$  Н;  $R = 2$  м;  $v_{\text{л}} = 3$  м/с.

Из рис. 4 видно, что коэффициент динамичности  $k_{\text{д1}}$  в случае транспортирования ленточным конвейером мелкокускового и крупных кусков груза с увеличением расстояния между роlikоопорами  $l_p$  уменьшается по гиперболическому закону и при больших значениях  $l_p$  ( $l_p \rightarrow \infty$ ) стремится к постоянному значению, равному коэффициенту динамичности  $k_{\text{д}}$  для случая транспортирования ленточным конвейером мелкокускового груза. При этом коэффициент динамичности  $k_{\text{д}}$  при транспортировании мелкокускового груза, т.е. при  $P_{\text{к}} = 0$ , не зависит от расстояния между роlikоопорами и принимает минимальное постоянное значение.

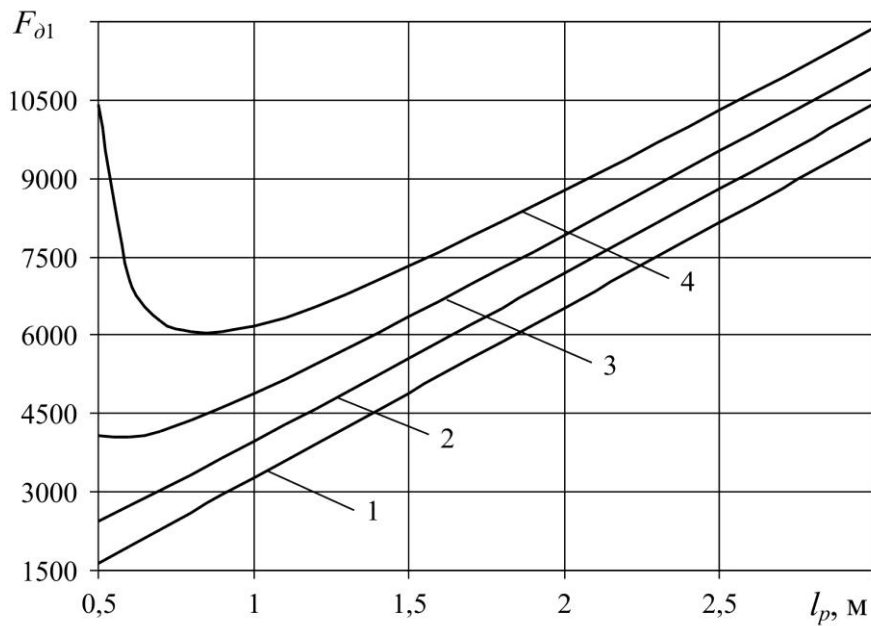


1 –  $P_{\text{к}} = 0$  Н; 2 –  $P_{\text{к}} = 100$  Н; 3 –  $P_{\text{к}} = 200$  Н; 4 –  $P_{\text{к}} = 300$  Н

Рисунок 4 – Зависимости коэффициента динамичности  $k_{\text{д1}}$  от расстояний между роlikоопорами  $l_p$  при различных значениях веса крупных кусков груза  $P_{\text{к}}$

На рисунке 5 показаны графики зависимости динамических усилий  $F_{\partial 1}$ , действующих на роlikоопоры в начале криволинейного участка става трубчатого конвейера, от расстояния между роlikоопорами  $l_p$  при различных значениях веса крупных кусков груза  $P_k = 0; 100; 200; 300$  Н. При этом параметры конвейера и груза принимали значения:  $S_n = 10000$  Н;  $q = 1000$  Н;  $R = 2$  м;  $v_n = 5$  м/с;  $\varphi = 0$ .

Из рис. 5 видно, что при  $P_k = 0$ , т.е. в случае транспортирования ленточным конвейером мелкокускового груза, динамические усилия  $F_{\partial 1}$ , действующие на роlikоопоры в начале криволинейного участка става трубчатого конвейера, с увеличением расстояния между роlikоопорами  $l_p$  увеличиваются по линейному закону и при  $l_p = 0$  принимают минимальные значения, а при  $P_k = 100, 200, 300$  Н динамические усилия  $F_{\partial 1}$  с увеличением  $l_p$  вначале уменьшаются и при значениях  $l_p$ , больших 0,28; 0,56; 0,84 м соответственно, также увеличиваются по линейному закону.



1 —  $P_k = 0$  Н; 2 —  $P_k = 100$  Н; 3 —  $P_k = 200$  Н; 4 —  $P_k = 300$  Н

Рисунок. 5 – Зависимости динамических усилий  $F_{\partial 1}$  от расстояния между роlikоопорами  $l_p$  при  $\varphi = 0$  и различных значениях веса крупных кусков груза  $P_k$

Это можно объяснить тем, что в случае транспортирования ленточным конвейером крупных кусков груза по ставу конвейера коэффициент динамичности  $k_{\partial 1}$  с увеличением расстояния между роlikоопорами  $l_p$  уменьшается, а статическая нагрузка на роlikоопору с увеличением  $l_p$  увеличивается. В случае же транспортирования ленточным конвейером мелкокускового груза коэффициент динамичности  $k_{\partial}$  с изменением



расстояний между роlikоопорами  $l_p$  не изменяется, а статическая нагрузка на роlikоопору с увеличением  $l_p$  увеличивается по линейному закону.

### Выводы

1. Получены уравнения колебаний ленты и груза при движении по криволинейному участку става трубчатого конвейера.

2. С помощью метода Ритца получены аналитические зависимости динамических усилий на роlikоопоры криволинейного участка става трубчатого конвейера от угла поворота радиуса кривизны става конвейера, скорости ленты и веса крупных кусков груза, а также расстояния между роlikоопорами. При этом установлено:

– динамические усилия, действующие на роlikоопоры криволинейного участка става трубчатого конвейера, с увеличением угла поворота става уменьшаются и с увеличением веса крупных кусков груза – увеличиваются. При этом динамические усилия на роlikоопоры криволинейного участка става трубчатого конвейера с увеличением скорости ленты увеличиваются и при критической скорости ленты стремятся к бесконечности;

– наибольшего значения динамические усилия на роlikоопоры достигают в начале криволинейного участка става трубчатого конвейера;

– коэффициент динамичности в случае транспортирования ленточным конвейером мелкокускового и крупных кусков груза с увеличением расстояния между роlikоопорами уменьшается по гиперболическому закону и при больших значениях расстояния между роlikоопорами стремится к постоянному значению, равному коэффициенту динамичности для случая транспортирования ленточным конвейером мелкокускового груза. При этом коэффициент динамичности с увеличением веса кусков груза увеличивается, а при транспортировании мелкокускового груза не зависит от расстояния между роlikоопорами и принимает минимальное постоянное значение;

– динамическое усилие, действующее на роlikоопору в начале криволинейного участка става трубчатого конвейера, с увеличением расстояния между роlikоопорами вначале уменьшается, затем принимает минимальное значение и при дальнейшем увеличении расстояния между роlikоопорами увеличивается по линейному закону.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галкин В. И. Трубчатые конвейеры для горной промышленности / В. И. Галкин, В.Г. Дмитриев // Горное оборудование и электромеханика. – 2009. – № 1. – С. 39–46.
2. Циглер, М. Подземная эксплуатация конвейера со сворачиваемой лентой на шахте «Луизенталь» / М. Циглер, Х.-Й. Буссе // Глюкауф. – 1992. – №3. – С. 27–33.
3. Тимошенко С. П. Колебания в инженерном деле. – К.: ДомКнига, 2006. – 440 с.
4. Кирия Р.В. Определение коэффициента динамичности при движении ленты с кусками груза по роlikоопорам трубчатого конвейера / Р.В. Кирия, А.Н. Смирнов // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепр, 2016. – Вып. 131. – С. 144–151.
5. Кирия Р.В. Применение метода Ритца в задачах динамики при движении груза по ставу трубчатого ленточного конвейера / Р.В. Кирия, А.Н. Смирнов // Збірник наукових праць / Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет». – Дніпро, 2017. – №52. – С. 198–208.

### REFERENCES

1. Galkin, V.I. and Dmitriev, V.G. (2009), "Tubular conveyers for mining industry", *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*, no. 1, pp. 39–46.

2. TSigler, M. and Busse, Kh.-Y. (1992), "Underground exploitation of conveyor with the displaced ribbon on the «Luizental mine»", *Gluykauf*, no. 3, pp. 27–33.
3. Timoshenko, S.P. (2006), *Kolebaniya v inzhenernom dele* [Vibration in engineering], DomKniga, Moscow, RU.
4. Kiriya, R.V. and Smirnov, A. N. (2016), "Determination of dynamic factor when the belt with load are transported by the tubular conveyers roller supports", *Geo-Technical Mechanics*, no. 131, pp. 144–151.
5. Kiriya, R.V. and Smirnov, A. N. (2017), "Application of the Rittsa method in tasks loud speakers at motion of load on stave tubular band conveyor", *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho himychoho universytetu*, no. 52, pp. 198–208.

#### Об авторах

**Кирия Руслан Виссарионович**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заведующий отделом физико-механических основ горного транспорта, Институт геотехнической механики им. Н. С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, [kiriya\\_igtm@ukr.net](mailto:kiriya_igtm@ukr.net)

**Смирнов Андрей Николаевич**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник в отделе физико-механических основ горного транспорта, Институт геотехнической механики им. Н. С. Полякова национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, [sm.contur24@gmail.com](mailto:sm.contur24@gmail.com)

#### About the authors

**Kiriya Ruslan Vissarionovich**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, Head of Department of Mining Transport Physics and Mechanics, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NASU), Dnepr, Ukraine, [kiriya\\_igtm@ukr.net](mailto:kiriya_igtm@ukr.net)

**Smirnov Andrey Nikolaevich**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher in Department of Mining Transport Physics and Mechanics, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NASU), Dnepr, Ukraine, [sm.contur24@gmail.com](mailto:sm.contur24@gmail.com)

**Анотація.** У зв'язку з підвищенням вимог екології в даний час набули поширення трубчасті стрічкові конвейери. Одною з головних переваг трубчастого стрічкового конвейера є можливість транспортувати сипкий вантаж криволінійними трасами як у горизонтальній, так і у вертикальній площині. Під час руху стрічки і вантажу криволінійною ділянкою трубчастого конвейера виникають додаткові динамічні зусилля на роликпопори конвейера, обумовлені силами інерції. Як показав аналіз літератури, це питання недостатньо вивчене.

В статті розглянуто питання визначення динамічних зусиль на роликпопори трубчастого стрічкового конвеєра зі ставом, криволінійним у вертикальній площині. Отримані рівняння коливань стрічки з вантажем при її русі по роликпопорах криволінійної ділянки става конвеєра. З використанням методу Рітца отримано аналітичні залежності динамічних зусиль, діючих на роликпопори конвеєра, від параметрів конвеєра, става і стрічки. Встановлено, що динамічні зусилля, які діють на роликпопори криволінійної ділянки става трубчастого конвеєра, зі збільшенням кута повороту става зменшуються, а зі збільшенням ваги великих шматків вантажу – збільшуються. При цьому динамічні зусилля на роликпопори криволінійної ділянки става трубчастого конвеєра зі збільшенням швидкості стрічки збільшуються і при критичній швидкості стрічки наближаються до нескінченності. Найбільшого значення динамічні зусилля на роликпопори набувають на початку криволінійної ділянки става трубчастого конвеєра, при цьому динамічне зусилля, діюче на роликпопору на початку криволінійної ділянки става трубчастого конвеєра, зі збільшенням відстані між роликпопорами спочатку зменшується, потім набуває мінімального значення і при подальшому збільшенні відстані між роликпопорами збільшується за лінійним законом.

Коефіцієнт динамічності у разі транспортування стрічковим конвейером дрібнокусового і крупних шматків вантажу із збільшенням відстані між роликпопорами зменшується за гіперболічним законом і при великих значеннях відстані між роликпопорами прагне до постійного значення, що дорівнює коефіцієнту динамічності для випадку транспортування стрічковим конвейером дрібнокусового вантажу.

**Ключові слова:** роликпопори, трубчастий конвеєр, стрічка, вантаж, криволінійна ділянка, динамічні зусилля.

**Annotation.** In connection with the increase of ecology requirements presently tubular band conveyers got distribution. One of above all dignities of tubular band conveyor is possibility to transport a granular load on curvilinear routes, both in horizontal and in a vertical plane. At motion of conveyor belt and load on the curvilinear area of tubular conveyor there are additional dynamic efforts on idler conditioned by forces of inertia. As the analysis of literature on this theme showed, this question is not enough studied.

In the paper, a problem of determining dynamic forces acting on roller supports of tubular conveyor belt with the curvilinear framework in vertical plane is considered. Equations are obtained for vibrations of belt when it moves with weight along the roller supports in curvilinear section of the conveyor framework. Using the Ritz method, analytical dependencies between dynamic forces acting on the conveyor roller supports and parameters of the conveyor, its framework and belt were obtained. It is established that dynamic forces acting on roller supports in the curvilinear section

of tubular conveyor are decreased with increasing angle of incline, and are increased with increasing weight of the lumps. At the same time, the dynamic forces acting on roller supports in the curvilinear section of tubular conveyors are increased with faster belt speed tending to infinity when the belt speed becomes critical. The greatest dynamic forces acting on roller supports are observed at the beginning of the curvilinear section of tubular conveyor. The dynamic force acting on roller support at the beginning of the curvilinear section of tubular conveyor framework increases with increasing distance between the roller supports, becomes minimum and increases linearly with further increase of the distance between the roller supports.

Coefficient of dynamic quality in the case of portage by the band conveyer of small-lumpiness and large pieces of load with the increase of distance between idlers diminishes on a hyperbolic law and at the large values of distance between idlers aspires to the permanent value, equal coefficient of dynamic quality for the case of portage by the band conveyer of small-lumpiness load.

**Keywords:** roller supports, tubular conveyer, belt, weight, curvilinear section, dynamic forces.

*Стаття надійшла до редакції 22.03. 2018.*

*Рекомендовано до друку д-ром техн. наук В.Ф. Монастирським.*