

crystallization centers and growth of the crystalline hydrate around these centers. Impact of suspended matters in the mine waters on the rate of the crystallization center formation is analyzed. Water salinity degree was taken into account in the experiments. Advantages of gas transporting in a state of gas hydrates are grounded. Technology of transporting natural gas in a liquid state versus transporting in the gas hydrate state is compared by such parameters as gas pressure, temperature and quantity in one volumetric unit of the substance.

Key words: gas hydrate, process of gas hydrate formation, degassing well, crystallization centers, self-conservation effect.

Статья поступила в редакцию 10.03.2014

Статья рекомендована к печати д-ром техн. наук В.А. Барановым

УДК 622.647.2:681.5

Т.И. Жигула, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
(ИГТМ НАН Украины)

ВЛИЯНИЕ ПОДВИЖНОЙ НАГРУЗКИ НА НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ КАНАТНОГО СТАВА ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

Т.І. Жигула, канд. техн. наук, ст. наук. співр.
(ІГТМ НАН України)

ВПЛИВ РУХОМОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА НАДІЙНІСТЬ І ДОВГОВІЧНІСТЬ КАНАТНОГО СТАВУ СТІЧКОВОГО КОНВЕЄРА

T.I. Zhigula, Ph.D. (Tech.), Senior Researcher
(IGTM NAS of Ukraine)

IMPACT OF MOVING LOADS ON RELIABILITY AND OPERATING LIFE OF THE ROPE LINE IN THE BELT CONVEYER

Аннотация. В статье рассмотрены возможности возникновения внезапных и постепенных отказов канатного става в процессе эксплуатации ленточного конвейера.

Проведены исследования динамики канатов става под действием подвижной нагрузки - ленты с грузом. Получены формулы для расчета амплитуд и частот циклических нагрузок, действующих на стойки става, что дает возможность определить вероятность усталостных разрушений элементов става за заданный промежуток времени, а также определить их геометрические характеристики, обеспечивающие надежность из условия сохранения усталостной прочности. Исследовано влияние натяжения канатов на частоты их поперечных колебаний и величину усилий, действующих на опоры става, получены соотношения параметров, которые могут привести к внезапным отказам става, обусловленным потерей его устойчивости.

Полученные результаты дают возможность на стадии проектирования конвейера подобрать его конструктивные и эксплуатационные параметры, не допускающие потери устойчивости става и обеспечивающие сохранение его усталостной прочности на протяжении всего срока эксплуатации конвейера.

Ключевые слова: ленточный конвейер, подвижная нагрузка, надежность канатного става.

© Т.И. Жигула, 2014

На угольних шахтах України широко експлуатуються ленточні конвейери з канатним ставом, який представляє собою два паралельно натягнуті канати з підвешеними на них роликоопорами. Канати става в процесі роботи конвейера совершають просторові поперечні коливання під впливом зовнішніх вимушених впливів: продольно-поперечних коливань ленти в режимах пуску і гальмування конвейера, падіння окремих великих частин вантажу на ленту, рухомої навантаження. В перших двох випадках коливання канатів швидко затухають, а під впливом рухомої навантаження – не затухають на протязі всього часу роботи конвейера. Динамічні навантаження, які випробовує став, підвищують напружене стан його елементів і знижують їх надійність і довговічність.

Під надійністю канатного става будемо розуміти здатність става зберігати в часі свою працездатність. Невдаха працездатності (відмова) може бути раптовою або поступовою. Раптові відмови виникають в результаті несприятливого поєднання параметрів става і зовнішніх впливів. Для канатного става прикладом таких відмов є обрив канатів або деформація стоек, викликані значущим зростом динамічних навантажень. Поступові відмови става відбуваються під впливом циклічних змінних навантажень, обумовлених рухомою лентою з вантажем. Практика експлуатації машин і механізмів показала, що під впливом циклічно змінюваних напружень матеріали руйнуються при більш низьких напруженнях, ніж при впливі постійних в часі навантажень, це явище отримало назву втоми матеріалів.

В теперішній час існують достатньо розроблені розрахункові схеми і методики розрахунку динамічних навантажень, діючих на канатний став [1], які враховують, як правило, тільки їх максимальні значення шляхом введення постійних коефіцієнтів, що допустимо при визначенні запасу міцності елементів става, характеризуючого його несущу здатність. При встановленні втоми міцності, яка характеризує здатність деталі витримати визначене число циклів змінних напружень, необхідно більш точний рахунок динамічних навантажень – амплітуд напружень, кількості циклів, т.е. факторів, які впливають на довговічність.

В статті [2] досліджувалися поперечні коливання канатів става ленточного конвейера під впливом неперервно рухомої навантаження – ленти з вантажем. Секція става моделювалася однорідним еластичним стержнем з шарнірними кінцями. Були отримані формули для визначення вертикальних переміщень $y(x,t)$ канатів става і поперечних зусиль $N(x,t)$, діючих на канати:

$$y(x,t) = \sum_{i=1}^{\infty} (M_i \cos p_i t + K_i \sin p_i t) \sin \frac{i\pi x}{l} + y_2(x), \quad (1)$$

$$N(x,t) = W \frac{\partial y(x,t)}{\partial x}, \quad (2)$$

где M_i, K_i ($i=1,2,3,\dots$) – коэффициенты Фурье; p_i ($i=1,2,3,\dots$) – собственные частоты системы, 1/с; l – длина секции става, м; W – натяжение канатов става, Н;

$$y_2(x) = \frac{ql^2}{4EIu^2} \left\{ \frac{x^2 - lx}{2} + \frac{l^2}{4u^2} \left[\frac{\cos\left(\frac{2x}{l} - 1\right)u}{\cos u} - 1 \right] \right\}; \quad u^2 = \frac{-qV^2 + gW}{4gEI} l^2;$$

q – интенсивность подвижной нагрузки, Н/м; EI – изгибная жесткость става, Нм²; V – скорость подвижной нагрузки, м/с; g – ускорение силы тяжести, м/с².

Постоянные коэффициенты M_i и K_i определяются по формулам:

$$M_i = \frac{2}{l} \int_0^l [\varphi(\xi) - y_2(\xi)] \sin \frac{\pi i}{l} \xi d\xi, \quad (3)$$

$$K_i = \frac{2}{l} \int_0^l \psi(\xi) \sin \frac{\pi i}{l} \xi d\xi, \quad (4)$$

$(i=1,2,3,\dots),$

где $\varphi(x)$ – начальная форма канатов става; $\psi(x)$ – начальная скорость вертикальных перемещений точек става.

Для того, чтобы воспользоваться формулами (1) и (2), необходимо из начальных условий определить M_i и K_i . Полагаем, что в начальный момент канаты става имели форму параболы

$$\varphi(x) = \frac{4ax}{l^2} (x - l), \quad (5)$$

где a – максимальный провес канатов в середине секции $\left(x = \frac{l}{2}\right)$, м.

Начальную скорость вертикальных перемещений принимаем равной нулю:

$$\psi(x) = 0. \quad (6)$$

С учетом (5) и (6), получим

$$M_i = \frac{2}{l} \int_0^l \left[\frac{4a\xi}{l^2} (\xi - l) - y_2(\xi) \right] \sin \frac{\pi i}{l} \xi d\xi, \quad (7)$$

$$K_i = 0, \quad (8)$$

$(i=1,2,3,\dots).$

Подставляя в (7) выражение для $y_2(\xi)$ и положив $i=1$, после вычисления интегралов получим формулу для определения M_1 :

$$M_1 = -\frac{32a}{\pi^3} + \frac{ql^4(2\pi^2 - 4u^2)}{EIu^2\pi^3(\pi^2 - 4u^2)}. \quad (9)$$

В первом приближении вертикальные перемещения точек канатов става и перерезывающие усилия, действующие на них, равны:

$$y(x,t) = M_1 \cos p_1 t \sin \frac{\pi x}{l} + y_2(x),$$

$$N(x,t) = W \frac{\partial y(x,t)}{\partial x} = W \left[\frac{\pi M_1}{l} \cos p_1 t \cos \frac{\pi x}{l} + \frac{dy_2(x)}{dx} \right].$$

Учитывая, что

$$\frac{dy_2(x)}{dx} = \frac{ql^2}{4EIu^2} \left[\left(x - \frac{l}{2}\right) - \frac{l}{2u} \frac{\sin\left(\frac{2x}{l} - 1\right)u}{\cos u} \right],$$

приходим к выражениям

$$y(x,t) = \left[-\frac{32a}{\pi^3} + \frac{ql^4(2\pi^2 - 4u^2)}{EIu^2\pi^3(\pi^2 - 4u^2)} \right] \cos p_1 t \sin \frac{\pi x}{l} + \frac{ql^2}{4EIu^2} \left\{ \frac{x^2 - lx}{2} + \frac{l^2}{4u^2} \left[\frac{\cos\left(\frac{2x}{l} - 1\right)u}{\cos u} - 1 \right] \right\}, \quad (10)$$

$$N(x,t) = W \left\{ \left[-\frac{32a}{\pi^2 l} + \frac{ql^3(2\pi^2 - 4u^2)}{EIu^2\pi^2(\pi^2 - 4u^2)} \right] \cos p_1 t \cos \frac{\pi x}{l} + \frac{ql^2}{4EIu^2} \left[x - \frac{l}{2} - \frac{l \sin\left(\frac{2x}{l} - 1\right)u}{2u \cos u} \right] \right\}. \quad (11)$$

Наибольший интерес представляют усилия, действующие на канаты у стоек става, т.е. при $x = 0$ и $x = l$.

$$N(0,t) = W \left[\frac{\pi}{l} M_1 \cos p_1 t + \frac{ql^3}{8EIu^2} \left(-1 + \frac{1}{u} \operatorname{tgu}\right) \right], \quad (12)$$

$$N(l,t) = W \left[-\frac{\pi}{l} M_1 \cos p_1 t + \frac{ql^3}{8EIu^2} \left(1 - \frac{1}{u} \operatorname{tgu}\right) \right]. \quad (13)$$

Динамические усилия $N(0,t)$ и $N(l,t)$, обусловленные движением непрерывной нагрузки, создают переменные циклические напряжения растяжения-

сжатия стоек става, под действием которых стойки става могут разрушаться быстрее, чем под действием постоянных во времени нагрузок. Зная частоты и амплитуды колебаний вертикальных усилий, можно определить количество циклов нагружений стоек става за определенный промежуток времени по формуле

$$n_{\text{сум}} = 3600Tk p_1, \quad (14)$$

где T – планируемый срок службы, годы, k – среднее количество часов работы конвейера за год, а затем рассчитать вероятность их усталостного разрушения при регулярном многоцикловом нагружении. На стадии проектирования конвейера необходимо задаваться вероятностью безотказной работы става на усталостную прочность $P_y = 1$, из этого условия определяют геометрические характеристики стоек става.

Проанализируем, в каких случаях возможен значительный рост усилий $N(x,t)$. Из выражения (11) видно, что $N(x,t) \rightarrow \infty$ в случае, если параметр $u \rightarrow 0$ или $u \rightarrow \frac{\pi}{2}$. Рассмотрим оба этих случая:

$$1) \text{ пусть } u=0, \text{ тогда } l \sqrt{\frac{gW - qV^2}{4gEI}} = 0, \text{ откуда} \\ qV^2 = gW, \quad (15)$$

$$2) \text{ пусть } u = \frac{\pi}{2}, l \sqrt{\frac{gW - qV^2}{4gEI}} = \frac{\pi}{2}, \text{ откуда} \\ qV^2 = g\left(W - \frac{\pi^2 EI}{l^2}\right). \quad (16)$$

Т.к. у реальных конвейеров натяжение канатов W значительно больше, чем значение выражения $\frac{\pi^2 EI}{l^2}$, то вторым слагаемым в (16) можно пренебречь и считать, что опасность для устойчивости става представляет соотношение параметров $qV^2 = gW$, т.е. то же выражение (15), которое было получено в предыдущем случае.

По формуле (15) рассчитаем значение критической скорости движения ленты, при которой возможен значительный рост динамических усилий, на примере параметров, соответствующих типажному конвейеру 1Л100К. Растягивающее усилие в канатах принимаем равным $W = 25 \cdot 10^3 \text{ Н}$, интенсивность подвижной нагрузки $q_{\text{max}} = 892 \text{ Н/м}$ (максимально загруженная лента) и $q_{\text{min}} = 160 \text{ Н/м}$ (порожня лента):

$$V_1 = \sqrt{\frac{g}{q_{\text{max}}} W} = 16,58 \text{ м/с},$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{g}{q_{\min}} W} = 89,15 \text{ м/с.}$$

Меньшая из критических скоростей $V_1=16,58$ м/с превосходит реальную скорость ленты конвейера $V=1,6$ м/с в 10 раз, т.е. конвейеру 1Л100К потеря устойчивости не угрожает.

Теперь рассмотрим, каким должно быть натяжение канатов става, чтобы критическая скорость стала равной 1,6 м/с:

$$W_1 = \frac{q_{\max} V^2}{g} = 232,8 \text{ Н,}$$

$$W_2 = \frac{q_{\min} V^2}{q} = 41,8 \text{ Н.}$$

Скорость ленты 1,6 м/с будет представлять опасность для нормальной работы конвейера, если натяжение канатов става будет уменьшено в 100 и более раз.

При выборе режимных параметров ленточных конвейеров с канатным ставом необходимо производить проверку на выполнение соотношения $qV^2=gW$, чтобы избежать значительного роста динамических усилий, действующих на канаты и опоры става, и критических состояний, выражающихся в потере устойчивости канатов става и конвейерной ленты.

Выводы

1. Внезапные отказы канатного става ленточного конвейера, вызванные потерей его устойчивости, могут возникнуть, если выполняется соотношение параметров $qV^2=gW$. Для реальных параметров конвейера ($V=1,6$ м/с, $W= 25 \cdot 10^3$ Н) угрозы потери устойчивости не существует, но при проектировании новых конвейеров и выборе их режимных параметров проверка на выполнение соотношения (15) необходима, чтобы избежать значительного роста динамических усилий.

2. Постепенные отказы элементов канатного става происходят в результате их усталостного разрушения при регулярном многоцикловом нагружении, обусловленном движением ленты с грузом. Полученные значения частот и амплитуд вертикальных динамических усилий, действующих на стойки става, дают возможность рассчитать вероятность разрушений и определить геометрические характеристики стоек, обеспечивающих стопроцентную надежность из условия усталостной прочности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шахмейстер, Л. Г. Теория и расчет ленточных конвейеров / Л. Г. Шахмейстер, В.Г. Дмитриев. – М.: Машиностроение, 1987. – 335 с.
2. Жигула, Т. И. Динамическое воздействие подвижной нагрузки на канатный став ленточного конвейера / Т. И. Жигула // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2012. – Вып. 105. – С. 185–192.

REFERENCES

1. Shakhmeyster, L.G. (1987), *Teoriya i raschet lentochnykh konveyerov* [Theory and calculation of belt conveyers], Mashinostroenie, Moscow, SU.
2. Zhigyla T.I. (2012), "Dynamic influence of mobile loading on rope base of belt conveyer", *Geo-Technical Mechanics*, no. 105, pp. 185–192.

Об авторах

Жигула Татьяна Ильинична, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник в отделе физико-механических основ горного транспорта, Институт геотехнической механики им. Н. С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, tzhigula@gmail.com

About the author

Zhigyla Tatyana Ilinichna, Candidate of Technical Sciences (Ph. D), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Foundations of Mining Transport Physics and Mechanics M. S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, tzhigula@gmail.com

Анотація. В статті розглянуто можливості виникнення раптових і поступових відмов канатного ставу в процесі експлуатації стрічкового конвеєра.

Проведено дослідження динаміки канатів ставу під дією рухомого навантаження - стрічки з вантажем. Одержано формули для розрахунку амплітуд і частот циклічних навантажень, діючих на стійки ставу, що дає можливість визначити вірогідність втомних руйнувань елементів ставу за заданий проміжок часу, а також визначити їх геометричні характеристики, що забезпечують надійність з умови збереження втомної міцності. Досліджено вплив натягнення канатів на частоти їх поперечних коливань і величину зусиль, діючих на опори ставу, одержано співвідношення параметрів, які можуть привести до раптових відмов ставу, зумовлених втратою його стійкості.

Одержані результати дають можливість на стадії проектування конвеєра підібрати його конструктивні і експлуатаційні параметри, що не допускають втрати стійкості ставу і забезпечують збереження його втомної міцності протягом всього терміну експлуатації конвеєра.

Ключові слова: стрічковий конвеєр, рухоме навантаження, надійність канатного ставу.

Abstract. Possible sudden and gradual refusals of the rope line occurred in the process of belt conveyer operation are considered in this article.

Behavior of the rope line under the action of moving loads - belt with a weight – is considered. Formulas for calculating amplitudes and frequencies of the cyclic loads impacting on the bars of the line are presented which help to define probability of fatigue failures for the elements of the line at a fixed interval of time, and to specify geometrical characteristics for the elements ensuring their reliability on assumption of their preserved fatigue resistance. Impact of the rope tension on frequencies of their transversal vibrations and value of the efforts operating on supports of the rope line was studied, and correlations of parameters, which can result in the sudden refusals of the line and loss of the line stability, were determined.

The findings make possible to choose, at the stage of a conveyor designing, proper structural and operating parameters which would exclude any losses of the base stability and ensure preserving of the line fatigue strength during the whole term of the conveyer exploitation

Keywords: belt conveyer, moving load, reliability of the rope line.

Стаття постуила в редакцію 10.03.2014

Стаття рекомендована к печати д-ром техн. наук В.Ф. Монастырским

УДК 622.647.2:681.5

В. Ф. Монастырский, д-р техн. наук, профессор,
Р. В. Кирия, канд. техн. наук, ст. научн. сотр.,
А. Н. Смирнов, магистр
(ИГТМ НАН Украины)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ РОЛИКОВ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ РОЛИКООПОР

В. Ф. Монастирський, д-р техн. наук, професор,
Р. В. Кірія, канд. техн. наук, ст. наук. співр.
А. М. Смірнов, магістр
(ІГТМ НАН України)

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕРМІНУ СЛУЖБИ РОЛИКІВ СТРИЧКОВИХ КОНВЕЄРІВ ДЛЯ РІЗНИХ ТИПІВ РОЛИКООПОР

V. F. Monastyrsky, D.Sc. (Tech.), Professor,
R.V. Kiriya, Ph.D. (Tech.), Senior Researcher,
A. N. Smirnov, M.S (Tech.)
(IGTM NAS of Ukraine)

DETERMINATION OF SERVICE LIFE FOR THE BELT CONVEYER ROLLERS DEPENDING ON DIFFERENT TYPES OF THE ROLLER CARRIAGES

Аннотация. В работе поставлена и решена задача определения среднего срока службы роликов ленточного конвейера для различных конструкций роликкоопор. Решение этой задачи позволяет дать оценку надежности става ленточных конвейеров. В отличие от предыдущих исследований, в данной работе предложен расчет срока службы роликов ленточного конвейера с учетом нагрузки на подшипники ролика от динамических усилий, возникающих при движении груза по става конвейера и обусловленных изгибом ленты. В результате решения этой задачи построены графики зависимости среднего срока службы ролика от скорости конвейерной ленты для различных конструкций ленточных конвейеров. При анализе полученных результатов установлено, что срок службы роликов конвейера зависит от погонной нагрузки, параметров конвейера, грансостава транспортируемого груза, типа и параметров роликкоопор. При этом с увеличением скорости ленты конвейера для рассмотренных типов роликкоопор средний срок службы роликов уменьшается. При изменении скорости ленты до определенных значений срок службы роликов для подвесных роликкоопор несколько выше, чем для жестких, а срок службы роликов для подвесных роликкоопор с амортизацией несколько выше, чем для амортизированных. В то же время, срок службы для подвесных амортизированных и амортизированных роликкоопор существенно выше, чем для жестких и подвесных. Кроме того, при значениях скорости ленты выше некоторых значений для всех рассмотренных типов роликкоопор срок службы ролика может резко снижаться из-за появления резонансных явлений, связанных с колебаниями ленты при движении кусков крупных фракций.

Результаты могут быть использованы в горной, металлургической и строительной отраслях промышленности.

Ключевые слова: ролики, подшипники, срок службы, ленточный конвейер, роликкоопоры, скорость ленты.