

УДК 621.863

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2020.88.2.67

ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВСТАНОВЛЕННЯ КІЛЕЦЬ ЖОРСТКОСТІ В ШАХТНИХ БАРАБАНАХ

Фідровська Н.М., Хурсенко С.О., Бобонець О.І.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. У статті розглянуті проблеми, що виникають у роботі шахтних барабанів і дається власне пояснення незадовільного їх функціонування. Проведений уточнювальний розрахунок обичайки барабана, яка підкріплена кільцями жорсткості з урахуванням місця встановлення кілець і їх жорсткості.

Ключові слова: шахтний барабан, кільце жорсткості, стійкість, жорсткість, концентрація напруження, канат, деформації.

Вступ

Лобовини канатних барабанів підкорюються напруженням зовнішнього тиску, який створює канат, який навивається. Якщо виникає сумнів у міцності та стійкості канатного барабана, він підсилюється елементами жорсткості – косинками.

Аналіз публікацій

У роботі шахтних підйомних установок на багатьох барабанах спостерігають деформацію обичайки [1–3]. Причиною цього називають наявність перевантажень або динамічні зусилля й значне зношення футерівки барабана, яка має призначення також і розвантаження оболонки барабана. Деформовану оболонку випрямляють за допомогою гідродомкрата й підсилюють додатковими ребрами жорсткості [4].

Навантаження оболонки барабана призводить до скрипіння під час роботи підйомної установки, що пояснюють послабленням заклепок, розхитуванням швів, зношенням або послабленням кріплення болтів лобовини та ступиць. Тріщини виникають, як правило, у кільцевих швах лобовини з трубою жорсткості, з'являються радіальні тріщини лобовини, ребра мають тріщини по всій довжині шва зі ступицею. Невеликі тріщини в обичайці зашверлюють і заварюють, у разі тріщин завдовжки 100–200 мм барабана підсилюють приваркою накладок з внутрішнього боку обичайки.

Мета і постановка завдання

Метою статті є створення розрахунку оболонки шахтного барабана, підкріпленої кільцями жорсткості, з урахуванням нерівномірності тиску, коефіцієнта тертя між канатом і барабаном, місця встановлення кілець і їх жорсткості.

Тріщини в обичайці, як правило, мають прогресуючий характер, вони значно зменшують міцність усього органа навивання.

Як бачимо, усі наведені випадки поломок шахтних барабанів указують на неправильний підхід до вибору конструкції барабана, і внаслідок цього – подальшому ремонту. Посилення жорсткості барабана та зварних швів тільки погіршують роботу підйомної установки, зменшують її ресурс.

Розрахунки шахтних барабанів, які мають ребра та кільця жорсткості, не враховують концентрацію напружень, що виникають у місцях приварювання.

Методика розрахунку барабана

Якщо оболонка має внутрішні діафрагми, то у цьому випадку обов'язково з'являються додаткові дотичні зусилля, які обігають увесь контур оболонки. Для розв'язання статично невіршених задач роботу діафрагм, як правило, не враховують, нехтуючи потенційною енергією їх деформації. Це справедливо тільки для випадку, коли діафрагми абсолютно жорсткі у своїй площині, а вздовж осі x абсолютно гнучкі. Але насправді це не так, і між діафрагмами та оболонкою виникають зусилля, спрямовані вздовж осі x , якими найчастіше нехтують.

Розглянемо канатний барабан, підкріплений кільцями жорсткості, як змішану варіаційну систему, потенційна енергія якої – функціонал, що має додаткові члени, які не входили в підінтегральний вираз (3) [5].

$$U = \int_{x_0}^{x_1} \Gamma(x, f, f', f'') dx + \eta_1(x_0, f_0, f'_0, f''_0) + \eta_2(x_1, f_1, f'_1, f''_1), \quad (1)$$

де η_1 – потенційна енергія лобовини; η_2 – потенційна енергія кільця жорсткості.

$$\eta_0 = \oint \frac{EJ_{0l}}{2D_h^2} R f^2(x) \cos^2 n\varphi = \frac{EJ_{0l} R \pi}{2D_h^2} f^2(x) \quad (2)$$

$$\eta_1 = \oint \frac{EJ_{0k}}{2D_h^2} R f^2(x) \cos^2 n\varphi = \frac{EJ_{0k} R \pi}{2D_h^2} f^2(x) \quad (3)$$

EJ_{0l}, EJ_{0k} – жорсткість на згин лобовини та кільця жорсткості відповідно.

Природні граничні умови для розв'язання змішаної варіаційної задачі будуть мати вигляд

$$\left[\frac{\partial \Gamma}{\partial f'} - \frac{d}{dx} \left(\frac{\partial \Gamma}{\partial f''} \right) + \frac{\partial \eta_0}{\partial f} \right]_{x=x_0} = 0; \quad (4)$$

$$\left[\frac{\partial \Gamma}{\partial f'} - \frac{d}{dx} \left(\frac{\partial \Gamma}{\partial f''} \right) + \frac{\partial \eta_2}{\partial f} \right]_{x=x_1} = 0. \quad (5)$$

Тоді ми отримаємо систему двох рівнянь

$$\begin{cases} \frac{D(n^2-1)(2-\nu)}{R} \frac{\partial f}{\partial x} - \frac{DR}{2} \frac{\partial^3 f}{\partial x^3} + \\ + \frac{12(1-\nu^2)J_{0l}R}{\delta^3} f(x) \Big|_{x=0} = 0 \\ \frac{D(n^2-1)(2-\nu)}{R} \frac{\partial f}{\partial x} - \frac{DR}{2} \frac{\partial^3 f}{\partial x^3} + \\ + \frac{12(1-\nu^2)J_{0k}R}{\delta^3} f(x) \Big|_{x=l} = 0. \end{cases} \quad (6)$$

Рішення цієї системи дає змогу визначити коефіцієнти C_1 і C_2 рівняння (6) [1]

$$\begin{aligned} C_1 = & \frac{AE\pi k\mu\delta^6 e^{-k\mu\frac{2\pi l}{h}}}{72(1-\nu^2)^2 J_{0l}Rh} \left[\frac{\pi k\mu R}{h} - \frac{(n^2-1)(2-\nu)}{R} - 1 \right] - \\ & - Ae^{-k\mu\frac{2\pi l}{h}} \frac{1 - \frac{\pi Ek\mu\delta^6}{6(1-\nu^2)J_{0l}Rh} \left[\frac{\pi k\mu R}{h} - \frac{(n^2-1)(2-\nu)}{R} \right]}{1 + \frac{\delta^3\lambda_1 e^{-\rho\cos\varphi l} - 12(1-\nu^2)J_{oh} \operatorname{Re}^{-\rho\cos\varphi l} \cos(\rho\sin\varphi l)}{\delta^3\lambda_1 e^{\rho\cos\varphi l} + 12(1-\nu^2)J_{oh} \operatorname{Re}^{\rho\cos\varphi l} \cos(\rho\sin\varphi l)}} - \\ & - A \frac{\frac{12(1-\nu^2)J_{oh} \operatorname{Re}^{-2\pi k\mu\frac{L-l}{h}}}{\delta^3\lambda_1 e^{\rho\cos\varphi l} + J_{oh} \operatorname{Re}^{\rho\cos\varphi l} \cos(\rho\sin\varphi l)}}{1 + \frac{\delta^3\lambda_1 e^{-\rho\cos\varphi l} - 12(1-\nu^2)J_{oh} \operatorname{Re}^{-\rho\cos\varphi l} \cos(\rho\sin\varphi l)}{\delta^3\lambda_1 e^{\rho\cos\varphi l} + 12(1-\nu^2)J_{oh} R \cos(\rho\sin\varphi l)}} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} C_2 = & Ae^{-k\mu\frac{2\pi l}{h}} \left\{ 1 - \frac{\pi Ek\mu\delta^6}{6(1-\nu^2)J_{0l}Rh} \left[\frac{\pi k\mu R}{h} - \frac{(n^2-1)(2-\nu)}{R} \right] \right\} - \\ & - A \frac{\frac{12(1-\nu^2)J_{oh} \operatorname{Re}^{-2\pi k\mu\frac{L-l}{h}}}{\delta^3\lambda_1 e^{\rho\cos\varphi l} + J_{oh} \operatorname{Re}^{\rho\cos\varphi l} \cos(\rho\sin\varphi l)}}{1 + \frac{\delta^3\lambda_1 e^{-\rho\cos\varphi l} - 12(1-\nu^2)J_{oh} \operatorname{Re}^{-\rho\cos\varphi l} \cos(\rho\sin\varphi l)}{\delta^3\lambda_1 e^{\rho\cos\varphi l} + 12(1-\nu^2)J_{oh} \operatorname{Re}^{\rho\cos\varphi l} \cos(\rho\sin\varphi l)}}, \end{aligned} \quad (8)$$

де

$$\lambda_1 = D \left\{ A \frac{2\pi k\mu}{h} e^{-2\pi k\mu\frac{L-l}{h}} \left[\frac{(n^2-1)(2-\nu)}{R} - \frac{2\pi^2 R k\mu^2}{h^2} \right] - \right. \\ \left. - \rho\varphi \sin\varphi l \cos(\rho\sin\varphi l) \right\}.$$

Кільцеві нормальні напруження в обичайці визначаються за формулою

$$\sigma_{\varphi} = \frac{w(x)}{R} E, \quad (9)$$

де $w(x)$ – радіальні переміщення, які визначаються за формулою

$$w(x) = f(x) \cos n\varphi. \quad (10)$$

Напруження у зварному шві визначаються за формулою

$$\sigma = \frac{M_o}{W} + \frac{Q_o}{F} = \frac{6m_o}{c^2} + \frac{Q_o}{c}, \quad (11)$$

де c – катет шва; m_o – поперечні моменти згину; Q_o – поперечна сила.

$$m_o = D(\chi_{\varphi} + \nu\chi_x). \quad (12)$$

$$Q_o = \frac{\partial m_o}{R \partial \varphi} + \frac{\partial m_{\text{хрдоп}}}{\partial x}. \quad (13)$$

Проведемо розрахунок для таких значень: $T = 40\,000$ Н, $\delta = 15$ мм, $R = 250$ мм, $t = 18$ мм, $l = 500$ мм, $r = 200$ мм, $c = 7$ мм, $\delta_k = 12$ мм, $d_k = 15,5$ мм, $E_k = 85 \cdot 10^3$ МПа.

Кільцеві нормальні напруження, які визначені за формулою (9), будуть дорівнювати $\sigma_{\varphi} = 46,92$ МПа.

Місцеві напруження, які будуть виникати в зоні зварних швів, визначені за формулою (11) і становлять 125,7 МПа.

Висновки

Проведене дослідження дало змогу отримати методику розрахунку місцевих напружень, які виникають у зоні зварних швів, з урахуванням нерівномірності навантаження, розмірів барабана й канату, коефіцієнта тертя, розмірів і місця встановлення кілець жорсткості, що доводить шкідливість установлення елементів жорсткості на напружений стан обичайки барабана.

Література

1. Найденко И.С., Белый В.Д. Шахтные многоканатные подъемные установки. – Москва: Недра, 1979. – 390 с.
2. Псевянидзе А.В. Расчет шахтных подъемных установок. – Москва: Недра, 1992. – 250 с.

3. Маневич А.И., Бичуч А.И. Напряженное состояние оболочек и диафрагм шахтных подъемных машин // Подъемно-транспортная техника. – Днепропетровськ, 2003. – № 1. – С. 3–16.
4. Экспериментальное исследование действительных усилий в шахтных подъемных канатах / Н.Г. Гаркуша, Н.А. Черныш, Л.В. Колосов и др. // Стальные канаты. – Киев: Техника, 1967. – № 4. – С. 26–29.
5. Фидровская Н.Н. Определение прогиба стенки цилиндрической оболочки с учетом краевых шпангоутов // Сб. научных трудов по материалам научно-практической конференции. – Одесса, 2010. – С. 9–13.

References

1. Najdenko I.S., Belyj V.D. Shahtnye mnogokanatnye podemnye ustanovki. – Moskva: Nedra, 1979. – 390 s.
2. Psevanidze A.V. Raschet shahtnyh podemnyh ustanovok. – Moskva: Nedra, 1992. – 250 s.
3. Manevich A.I., Bichuch A.I. Napryazhennoe sostoyanie obolochek i diafragm shahtnyh podemnyh mashin // Podjomno-transportna tehnika. – Dnipropetrovsk, 2003. – № 1. – S. 3–16.
4. Eksperimentalnoe issledovanie dejstvitelnyh usilij v shahtnyh podemnyh kanatah / N.G. Garkusha, N.A. Chernysh, L.V. Kolosov i dr. // Stalnye kanaty. – Kijiv: Tehnika, 1967. – № 4. – S. 26–29.
5. Fidrovskaya N.N. Opredelenie progiba stenki cilindricheskoj obolochki s uchetom kraevykh shpangoutov // Sb. nauchnyh trudov po materialam nauchno-prakticheskoy konferencii. – Odessa, 2010. – S. 9–13.

Фідровська Наталія Миколаївна, д.т.н., професор, +380(99) 790-55-34, nfidrovskay@ukr.net,
Хурсенко Сергій Олександрович, аспірант, +380(66)044-44-09, sergeyhursenko@gmail.com,
Бобонец Олег Іванович, аспірант, +380(50) 774-87-95.
 Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Substantiation of feasibility of installing rigidity rings in mine drums

Abstract. Rigidity elements, which in many cases are installed to enhance the stability of structures where they are suspected not to be sufficiently rigid, do not always have a positive meaning. Often, local stresses occur at welding rings or other hardeners, which may exceed the stresses of the active loads. The article deals with the problems that occur during the operation of mine drums and gives their own explanation of their unsatisfactory work. The refining calculation of the drum shell, which is supported by the rings of rigidity is made, taking into account the location of the installation of the rings and their rigidity. The study enables to obtain a method for calculat-

ing local stresses that occur in the weld zone, taking into account the uneven load, the size of the drum and the rope, the coefficient of friction, the size and location of the rigidity rings, which proves the harmfulness of setting the rigidity elements on the drum shell.

Key words: mine drum, ring of rigidity, resistance, rigidity, stress concentration, rope, deformation.

Fidrovskaya Natalia, PhD, Professor,
tel. +380(99) 790-55-34, nfidrovskay@ukr.net,

Hursenko Sergey
+380(66)044-44-09, sergeyhursenko@gmail.com,

Bobonec Oleg, +380(50) 774-87-95.

Kharkiv National Highway University

Обоснование целесообразности установки колец жесткости в шахтных барабанах

Аннотация. Элементы жесткости, которые устанавливаются во многих случаях для усиления устойчивости в тех конструкциях, где возникает подозрение об их недостаточной жесткости, не всегда имеют положительный результат. Часто в местах приварки колец или других элементов жесткости возникают концентрации местных напряжений, которые могут превышать напряжение от действующих нагрузок. В статье рассмотрены пробле-

мы, возникающие при работе шахтных барабанов, и дается собственное объяснение неудовлетворительного их функционирования. Сделан уточняющий расчет обечайки барабана, которая подкреплена кольцами жесткости с учетом места установки колец и их жесткости. Проведенное исследование позволило получить методику расчета местных напряжений, возникающих в зоне сварных швов, с учетом неравномерности нагрузки, размеров барабана и каната, коэффициента трения, размеров и места установки колец жесткости, доказывает вредность постановки элементов жесткости на напряженное состояние обечайки барабана.

Ключевые слова: шахтный барабан, кольцо жесткости, устойчивость, жесткость, концентрация напряжения, канат, деформации.

Фидровская Наталья Николаевна, д.т.н., профессор, +380(99) 790-55-34, nfidrovskay@ukr.net,

Хурсенко Сергей Александрович, аспирант,
+380(66)044-44-09, sergeyhursenko@gmail.com,

Бобонец Олег Иванович, аспирант,
+380(50) 774-87-95.

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет.