УДК 677.72.001.11

ПІДВИЩЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ПІДІЙМАЛЬНИХ КАНАТІВ УДОСКОНАЛЕННЯМ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ЇХ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ

О.Г. Лепеха, доцент, к.т.н.,
Севастопольський національний технічний університет

Анотація. *Для опису поведінки каната в загальному випадку введено додаткові переміщення-зміщення в напрямку осей тригранника і повороту перерізів навколо осі дроту. Отримані формули дозволяють точніше врахувати напружено-деформований стан спіральних закритих канатів, а отже, визначити внутрішні сили в канатах і розробити науково-обґрунтовану методику конструювання надійних і довговічних канатів.*

***Ключові слова**: канат, залишковий ресурс, напружено-деформований стан.*

ПОВЫШЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА КАНАТОВ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ИХ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

О.Г. Лепеха, доцент, к.т.н.,
Севастопольський национальный технический университет

Аннотация. *Для описания поведения каната в общем случае введены дополнительные перемещения-смещения в направлении осей трехгранника и поворота сечений вокруг оси проволоки. Полученные формулы позволяют точнее учесть напряженно-деформированное состояние спиральных закрытых канатов, а следовательно, определить внутренние усилия в канатах и разработать научно-обоснованную методику конструирования надежных и долговечных канатов.*

***Ключевые слова**: канат, остаточный ресурс, напряженно-деформированное состояние.*

INCREASING THE RESIDUAL LIFE OF HOISTING CABLES BY IMPROVING THE METHODS OF THEIR DEFLECTED MODE CALCULATION

O. Lepekha, Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences,
Sevastopol State Technical University

Abstract. *To describe the general behavior of cables, overtravels - shifts toward the natural trihedron axes and cross rotation around the wire longitudinal axis - have been introduced. The obtained formulas enable a more accurate consideration of the deflected mode of closed spiral cables, thus determining internal forces in the cable and developing scientifically substantiated methods of reliable and durable cable design.*

***Key words:** rope, residual resource, durability, deflected mode.*

Вступ

При дослідженні згину каната на вантажопідіймальному обладнанні приймається, що вісь каната переміщується вздовж осей $X-U_0$ і $Y-V_0$. Такі переміщення вважатимемо малими величинами, і ними можна знехтувати, тоді як переміщення в напрямі осі $z-W_{ik}^*$ депланують, тобто у даному випадку гіпотеза плоских перерізів не справджується.

Аналіз публікацій

Питання згину канатів на обладнанні було розкрито у працях Глушко М.Ф. [1] та Нестерова П.П. [2], Вєтрова А.П. [3].

Мета і постановка задачі

Потрібно зазначити, що такі переміщення суттєво впливають на зміну потенціальної енергії деформації. З цього погляду, у зв'язку з тим, що жорсткість дротинок каната на розтяг значно перевищує жорсткість на згин і кручення, можна розглянути поведінку каната за згаданих вище обмежень. Крім цього, якщо вважати, що зміна енергії деформації унаслідок сил тертя при розтягу є невеликою, можна прийняти $\varepsilon_{ik}=0$, що рівнозначно звичайному допущенню будівельної механіки про відсутність розтягу стержневих конструкцій при згині [1].

З досвіду відомо, що канат достатньо описується на основі гіпотези плоских перерізів лише для найпростіших видів його деформації, але до певної межі навантаження. У зв'язку з цим для опису поведінки каната в загальному випадку введемо додаткові переміщення, які практично завжди можна вважати малими порівняно з розмірами перерізів до переміщень, за гіпотезою плоских перерізів, у вигляді зміщень уздовж осей природного тригранника $V_{ik}^*, U_{ik}^*, W_{ik}^*$ і повороту перерізів навколо поздовжньої осі дроту χ_{ik}^*.

Метод розрахунку напружено-деформованого стану канатів

Згідно з наведеними вище міркуваннями і співвідношеннями, введення цих переміщень приведе до додаткових кутів повороту перерізів, приростів кривин δp_{ik}, δq_{ik}, кручення δr_{ik}, кутів звивання η_{ik} і відносних подовжень ε_{ik}

$$\varphi_{ik}=U_{ik}^*\frac{\sin\alpha_k\cos\alpha_k}{r_k}-\frac{dV_{ik}^*}{dz}\cos\alpha_k;$$

$$\psi_{ik}=-\frac{dU_{ik}^*}{dz}\cos\alpha_k-V_{ik}^*\frac{\sin\alpha_k\cos\alpha_k}{r_k}+W_{ik}^*\frac{\sin\alpha_k}{r_k};$$

$$\chi_{ik}=-V_{ik}^*\frac{\cos^2\alpha_k}{r_k}+W_{ik}^*\frac{\sin\alpha_k\cos\alpha_k}{r_k}+\chi_{ik}^*;$$

$$\delta p_{ik}=-\frac{dU_{ik}^*}{dz}\frac{\cos 2\alpha_k}{r_k}-\frac{dV_{ik}^*}{dz^2}\cos^2\alpha_k+\chi_{ik}\frac{\sin^2\alpha_k}{r_k};$$

$$\delta q_{ik}=-\frac{d^2U_{ik}}{dz^2}\cos^2\alpha_k-U_{ik}^*\frac{\sin^2\alpha_k\cos^2\alpha_k}{r_k^2}-\frac{dV_{ik}^*}{dz}\frac{\sin 2\alpha_k}{r_k}\cos\alpha_k+\frac{W_{ik}^*}{dz}\frac{\sin^2\alpha_k\cos\alpha_k}{r_k};$$

$$\delta r_{ik}=U_{ik}^*\frac{\sin^2\alpha_k\cos^2\alpha_k}{r_k^2}-\frac{dV_{ik}^*}{dz}\frac{\cos 2\alpha_k}{r_k}+\frac{dW_{ik}^*}{dz}\frac{\sin\alpha_k\cos^2\alpha_k}{r_k}+\frac{d\chi_{ik}^*}{dz}\cos\alpha_k;$$

$$\varepsilon_{ik}=-U_{ik}^*\frac{\sin^2\alpha_k\cos\alpha_k}{r_k}+\frac{dW_{ik}^*}{dz}\cos\alpha_k;$$

$$\eta_{ik}=-U_{ik}^*\frac{\sin\alpha_k\cos\alpha_k}{r_k}-\frac{dV_{ik}^*}{dz}\cos\alpha_k;$$

де $\varphi_{ik},\psi_{ik},\chi_{ik}$ – кути повороту перерізів стрижня вздовж осей n, b та τ (див. рис. 1).

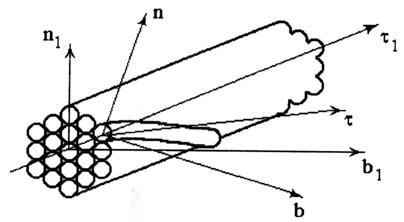

Рис. 1. Система координат у перерізі каната

При виведенні (1), з метою зручності, покладено, що за умовами спільності деформацій фасонних дротів у закритому канаті додаткові переміщення V^* і W^* не мають спричиняти повороту перерізів навколо дотичної до дуги поперечного кола

$$\chi_{ik}\sin\alpha_k-\psi_{ik}\cos\alpha_k=0.$$

У цьому випадку, як показано на рисунку, поворот перерізу за рахунок W_{ik}^* і V_{ik}^* відбувається шляхом повороту перерізу дроту навколо осі каната без перекочування по твірній поверхні, так, що нормаль до неї збігається з нормаллю до деформованої осі дроту. Додаткове закручування відносно цього повороту дроту відраховується через χ_{ik}^*, який за відсутності ковзання визначається так

$$\chi_{ik}^*=\left(\frac{2r_k}{\delta_k}-1\right)\frac{\cos^2\alpha_k}{r_k}V_{ik}^*, \qquad (2)$$

де δ_k – діаметр перерізу дроту.

Підсумовуючи додаткові переміщення і викликані ними деформації з переміщеннями і деформаціями за гіпотезою плоских перерізів, отримаємо такі загальні формули

$$U_{ik}=-(U_0\cos\Theta_{ik}+V_0\sin\Theta_{ik})+U_{ik}^*;$$

$$V_{ik}=-\left(\frac{dU_0}{dz}\cos\Theta_{ik}+\frac{dV_0}{dz}\sin\Theta_{ik}\right)r_k\sin\alpha_k+$$
$$+(U_0\sin\Theta_{ik}+V_0\cos\Theta_{ik})\cos\alpha_k+W_0\sin\alpha_k-$$
$$-\chi_0 r_k\cos\alpha_k+V_{ik}^*;$$

$$W_{ik}=-\left(\frac{dU_0}{dz}\cos\Theta_{ik}+\frac{dV_0}{dz}\sin\Theta_{ik}\right)r_k\cos\alpha_k-$$
$$-(U_0\sin\Theta_{ik}-V_0\cos\Theta_{ik})\sin\alpha_k+W_0\cos\alpha_k+$$
$$+\chi_0 r_k\sin\alpha_k+W_{ik}^*;$$

$$\varphi_{ik}=-\left(\frac{d^2U_0}{dz^2}\cos\Theta_{ik}+\frac{d^2V_0}{dz^2}\sin\Theta_{ik}\right)\times$$
$$\times r_k\sin\alpha_k\cos\alpha_k-\left(\frac{dU_0}{dz}\sin\Theta_{ik}+\frac{dV_0}{dz}\cos\Theta_{ik}\right)-$$
$$-\frac{dW_0}{dz}\sin\alpha_k\cos\alpha_k+\frac{d\chi_0}{dz}r_k\cos^2\alpha_k-$$
$$-U_{ik}^*\frac{\sin\alpha_k\cos\alpha_k}{r_k}-\frac{dV_{ik}^*}{dz}\cos\alpha_k;$$

$$\psi_{ik}=-\left(\frac{dU_0}{dz}\cos\Theta_{ik}+\frac{dV_0}{dz}\sin\Theta_{ik}\right)\cos\alpha_k+$$
$$+\chi_0\sin\alpha_k+\frac{dU_{ik}^*}{dz}\cos\alpha_k-$$
$$-V_{ik}^*\frac{\sin\alpha_k\cos\alpha_k}{r_k}+W_{ik}^*\frac{\sin^2\alpha_k}{r_k};$$

$$\delta p_{ik}=-\left(\frac{d^3U_0}{dz^3}\cos\Theta_{ik}+\frac{d^3V_0}{dz^3}\sin\Theta_{ik}\right)\times$$
$$\times r_k\sin\alpha_k\cos^2\alpha_k-$$
$$-\left(\frac{d^2U_0}{dz^2}\sin\Theta_{ik}-\frac{d^2V_0}{dz^2}\cos\Theta_{ik}\right)\times$$
$$\times\left(1+\sin^2\alpha_k\right)\cos\alpha_k-$$
$$-\frac{d^2W_0}{dz^2}\sin\alpha_k\cos^2\alpha_k+\frac{d^2\chi_0}{dz^2}r_k\cos^3\alpha_k-\frac{dU_{ik}^*}{dz}\times$$
$$\times\frac{\sin 2\alpha_k\cos\alpha_k}{r_k}-\frac{d^2V_{ik}^*}{dz^2}\cos^2\alpha_k+\chi_{ik}\frac{\sin^2\alpha_k}{r_k};$$

$$\delta q_{ik}=-\left(\frac{d^2U_0}{dz^2}\cos\Theta_{ik}+\frac{d^2V_0}{dz^2}\sin\Theta_{ik}\right)\cos^4\alpha_k-$$
$$-\frac{dW_0}{dz}\frac{\sin^2\alpha_k\cos^2\alpha_k}{r_k}+\frac{d\chi_0}{dz}\left(1+\cos^2\alpha_k\right)\times$$
$$\times\sin\alpha_k\cos\alpha_k+\frac{d^2U_{ik}^*}{dz^2}\cos^2\alpha_k-U_{ik}^*\times$$
$$\times\frac{\sin^2\alpha_k\cos^2\alpha_k}{r_k^2}-\frac{dV_{ik}^*}{dz}\frac{\sin 2\alpha_k\cos\alpha_k}{r_k}+$$
$$+\frac{dW_{ik}^*}{dz}\frac{\sin^2\alpha_k\cos\alpha_k}{r_k};$$

$$\delta r_{ik}=-\left(\frac{d^2U_0}{dz^2}\cos\Theta_{ik}+\frac{d^2V_0}{dz^2}\sin\Theta_{ik}\right)\sin\alpha_k\times$$
$$\times\cos^3\alpha_k+\frac{dW_0}{dz}\frac{\sin^3\alpha_k\cos\alpha_k}{r_k}+\frac{d\chi_0}{dz}\cos^4\alpha_k+$$
$$+U_{ik}^*\frac{\sin^3\alpha_k\cos\alpha_k}{r_k^2}-\frac{dV_{ik}^*}{dz^2}\frac{\cos 2\alpha_k}{r_k}\cos\alpha_k-$$
$$-\frac{dW_{ik}^*}{dz}\frac{\sin\alpha_k\cos^2\alpha_k}{r_k}+\frac{d\chi_{ik}^*}{dz}\cos\alpha_k;$$

$$\varepsilon_{ik}=-U_{ik}^*\frac{\sin^2\alpha_k}{r_k^2}+\frac{dW_{ik}^*}{dz}\cos\alpha_k-$$
$$-\left(\frac{d^2U_0}{dz^2}\cos\Theta_{ik}+\frac{d^2V_0}{dz^2}\sin\Theta_{ik}\right)r_k\cos^2\alpha_k+$$
$$+\frac{dW_0}{dz}\cos^2\alpha_k+\frac{d\chi_0}{dz}\sin\alpha_k\cos\alpha_k;$$

$$\eta_{ik}=-\left(\frac{d^2U_0}{dz^2}\cos\Theta_{ik}+\frac{d^2V_0}{dz^2}\sin\Theta_{ik}\right)r_k\times$$
$$\times\sin\alpha_k\times\cos\alpha_k-\frac{dW_0}{dz}\sin\alpha_k\cos\alpha_k+$$
$$+\frac{d\chi_0}{dz}r_k\cos^2\alpha_k-U_{ik}^*\frac{\sin\alpha_k\cos\alpha_k}{r_k}-\frac{dV_{ik}^*}{dz^2}\cos\alpha_k.$$

Висновки

Отримані формули дозволяють точніше враховувати напружено-деформовний стан спіральних закритих канатів, а отже, визначити внутрішні сили в канатах і розробити науково-обґрунтовану методику конструювання надійних і довговічних канатів.

Література

1. Глушко М.Ф. Стальные подъемные канаты / М.Ф. Глушко. – К.: Техніка, 1966. – 327 с.
2. Нестеров П.П. Проходческие канаты / П.П. Нестеров, С.Т. Сергеев. – М.: 1953. – С. 184.
3. Ветров А.П. Застосування безмоментної теорії для визначення напруженого стану / А.П. Ветров // Підйомно-транспортне устаткування: зб. наук. пр. – К.: Техніка,1982. – С. 201.

Рецензент: І.Г. Міренський, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції14 травня 2012 р.