

УДК 622.673:539.4+624.21

Колосов Д.Л., д.т.н., зав. каф. механічної та біомедичної інженерії
 Онищенко С.В., к.т.н., доц. каф. механічної та біомедичної інженерії
 (Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна)

ВПЛИВ ДЕФЕКТІВ СКЛЕЮВАННЯ ШАРІВ КОМПОЗИТНОЇ ВАНТИ НА ЇЇ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН

Капітальні споруди типу вантових мостів зведені і в Сполучених Штатах, і в Японії, і в Європі. В Україні (в Запоріжжі) зводиться міст з довжиною прогону понад 9 км. Загальним елементом таких споруд є ванта [1]. Ванта, зазвичай, складена з системи паралельних волокон, укладених в декілька шарів та з'єднаних еластичним матеріалом. Плоский гумотросовий канат має схожу конструкцію. Багат шарова композитна ванта – це система розташованих в паралельних площинах плоских композитних канатів з'єднаних між собою.

На вплив бічних навантажень на ванти звертається увага в роботах [2, 3]. Чинником бічних навантажень ванти є форма її перерізу. Заміна вант круглого перерізу еліптичним або близьким до нього перерізом дозволить зменшити вітрові навантаження. Близький до еліптичного переріз ванті можна надати виготовивши її композитною з паралельних елементів армування ванти, з'єднаних еластомером, або склеївши декілька плоских гумотросових стрічок в єдину ванту.

В процесі виготовлення ванти шляхом склеювання плоских стрічок, можливі дефекти типу непроклеювання окремих шарів на окремих обмежених ділянках. В окремих випадках, такий дефект може впливати на здатність ванти сприймати основне для неї поздовжнє навантаження.

Наслідком поздовжнього дефекту склеювання частини ванти є утворення двох умовних складових на її частині. Навантаження цих умовних плоских вант – різне. Руйнування троса однієї умовної плоскої ванти може спричинити руйнування іншої.

Розглянемо композитну ванту ортотропної побудови довжиною L як композит з жорсткими та м'якими прошарками поміж ними. Кількість елементів армування ванти в шарі ванти прийемо рівною Q , шарів елементів армування ванти – M . Ванта паралельна осі x . Початок осі збігається з перерізом одного кінця ванти. Поміж N -тим та $N + 1$ -м шарами вона не приклеєна на довжині δ . Початок ділянки відсутності проклеювання має координату $x = l$. Таким чином, на частині без проклеювання ванта розділена на дві ванти. Кінцями вони з'єднані із суцільними частинами. Прийемо, що ділянка з непроклеєними шарами розташована симетрично її кінців. Розглянемо лише симетричну частину ванти.

За дефекту виготовлення лише у формі відсутності проклеювання шарів, елементи усіх шарів армування ванти деформуються однаково. Вказане дозволяє розглянути лише елементи армування з однаковими номерами, розташованими у різних (усіх) шарах, або ванту, в шарах якої укладено по одному елементу армування. Така «плоска» ванта на довжині δ розділена на дві умовні плоскі ванти.

Переміщення та внутрішні сили навантаження елементів армування ванти умовних плоских вант I та II мають наступні форми

$$u_i^I = \sum_{n=1}^{N-1} \left(A_n^I e^{\beta_n^I x} + B_{n,1} e^{-\beta_n^I x} \right) \cos \left(\mu_n^I (i + 0,5) \right) + \frac{P^I (x-l)}{N E F} + u_0^I,$$

$$p_i^I = E F \sum_{n=1}^{N-1} \left(A_n^I e^{\beta_n^I x} - B_{n,1} e^{-\beta_n^I x} \right) \beta_n^I \cos \left(\mu_n^I (i + 0,5) \right) + \frac{P^I}{N},$$

$$u_i^{II} = \sum_{n=1}^{M-N-1} \left(A_n^{II} e^{\beta_n^{II} x} + B_n^{II} e^{-\beta_n^{II} x} \right) \cos(\mu_n^{II} (i+0,5)) + \frac{P^{II} (x-l)}{(M-N) E F} + u_0^{II},$$

$$p_i^{II} = E F \sum_{n=1}^{M-N-1} \left(A_n^{II} e^{\beta_n^{II} x} - B_n^{II} e^{-\beta_n^{II} x} \right) \beta_n^{II} \cos(\mu_n^{II} (i+0,5)) + \frac{P^{II}}{M-N}.$$

За меншої кількості елементів армування зона локального збурення менша. Сумарні навантаження елементів армування ванти умовних плоских вант залишаються незмінними по їх довжині та визначаються величинами P^I, P^{II} .

Умовні плоскі ванти є частинами вант. В перерізі початку ділянки непоклеювання ($x = l$) мають виконуватися умови сумісності деформування та неперервності вант

$$u_i^I = u_i \wedge p_i^I = p_i, \quad (1 \leq i \leq N), \quad (1)$$

$$u_i^{II} = u_{1,i} \wedge p_i^{II} = p_{1,i}, \quad (N+1 \leq i \leq M). \quad (2)$$

На виконання перших частин граничних умов у виразах (1) і (2), переміщення елементів армування умовних плоских вант в перерізі $x = l$ задамо рядами Фур'є на дискретних осях номерів елементів армування вант в заданих інтервалах: $1 \leq i \leq N$ та $N < i \leq M$. За коефіцієнти рядів прийемо складові переміщень елементів армування вант першої частини вант в перерізі $x = l$.

Вирази значень переміщень та навантажень елементів армування вант набудуть наступних форм

для $1 \leq i \leq N$

$$u_i^I = \sum_{n=1}^{N-1} B_n^I \left(e^{-\beta_n^I x} - e^{\beta_n^I (x-L)} \right) \cos(\mu_n^I (i+0,5)) + \frac{P^I (x-l)}{N E F} + u_0^I,$$

$$p_i^I = -E F \sum_{n=1}^{N-1} B_n^I \left(e^{-\beta_n^I x} + e^{\beta_n^I (x-L)} \right) \beta_n^I \cos(\mu_n^I (i+0,5)) + \frac{P^I}{N},$$

для $N < i \leq M$

$$u_i^{II} = \sum_{n=1}^{M-N-1} B_n^{II} \left(\begin{array}{l} e^{-\beta_n^{II} x} - \\ -e^{\beta_n^{II} (x-L)} \end{array} \right) \cos(\mu_n^{II} (i+0,5)) + \frac{(P_0 - P^I)(x-l)}{(M-N) E F} + u_0^{II}, \quad (3)$$

$$p_i^{II} = -E F \sum_{n=1}^{M-N-1} B_n^{II} \left(e^{-\beta_n^{II} x} + e^{\beta_n^{II} (x-L)} \right) \beta_n^{II} \cos(\mu_n^{II} (i+0,5)) + \frac{(P_0 - P^I)}{M-N}. \quad (4)$$

Відзначимо, що у виразах (3) та (4) враховано те, що з умови рівноваги $P^{II} = P_0 - P^I$.

Надійність вант суттєво впливає на безпеку експлуатації вантових споруд. Зменшення вітрових навантажень на ванту сприяє застосуванню вант з перерізом близьким до еліптичного. Таку форму перерізу вант можна надати шляхом виготовлення її композитною ортотропною.

В якості елементів армування використовуються троси. В процесі виготовлення вант можливі локальні непоклеювання шарів. З умови рівноваги елементів армування сформульована модель вант. Шляхом розв'язання моделі отримано алгоритм визначення напружено-деформованого стану (НДС) вант з частковим від'єднанням окремого шару.

Порушення взаємодії двох елементів армування вант, суміжних з ушкодженням, впливає на НДС вант і на ділянці з ушкодженням, і за її межами. За меншої кількості шарів елементів армування умовної плоскої вант зона збурення менша. Розроблений алгоритм дозволяє визначати НДС вант з локальним відшаруванням.

Перелік посилань:

1. Georgakis, C. T., Gimsing, N. J. (2013). Cable supported bridges. Chichester, West Sussex. Wiley, 93-118.
2. Hoang, V., Kiyomiya, O. An, T. (2018). Experimental and numerical study of lateral cable rupture in cable-stayed bridges: case study. Journal of bridge engineering. 23 (6).
3. Hoang, Vu, Kiyomiya, Osamu, An, Tongxiang (2018). Experimental and Numerical Study of Lateral Cable Rupture in Cable-Stayed Bridges: Case Study. Journal of Bridge Engineering. 23. DOI: 10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0001227.