
УДК 629.065(06)

А.О. Родюков

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ВЕЛИЧИНИ ЗУСИЛЛЯ СКРУТКИ ДРОТЯНОЇ РОЗТЯЖКИ КРІПЛЕННЯ ТЕХНІКИ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ВАГОНІ

В роботі запропоновано методику розрахунку величини зусилля скрутки дротової розтяжки, яка використовується для закріплення колісної та гусеничної техніки на залізничному вагоні. Розрахунок проведено з урахуванням напружено-деформованого стану дроту в процесі утворення скрутки розтяжки. Розглянуто схему сил що діють на скрутку та в перерізі дроту. Наведено формули за якими визначаються величини згинаючого моменту та крутного моменту, які діють в перерізі дроту скрутки.

Ключові слова: дротова розтяжка, скрутка дроту, кріплення вантажу.

Вступ

Постановка проблеми. Перевезення озброєння та військової техніки (ОВТ) залізничним транспортом пов'язане з необхідністю його кріплення на рухомому складі (платформах, піввагонах) з метою недопущення переміщення та падіння. На кріплення ОВТ витрачається основна частина часу завантаження військового ешелону при перевезенні підрозділів Збройних Сил, а також одиночних перевезень при відправленні ОВТ в ремонт або передачі до інших військових частин. Найбільшу складність та тривалість має процес встановлення розтяжок. Складність обумовлена обмеженням простором, особливо при кріпленні двох одиниць колісної техніки на одній залізничній платформі, оскільки кут між розтяжкою та підлогою вагону (платформи) не повинен перевищувати 60° [1]. Встановлення розтяжок вимагає прикладення значних фізичних зусиль при скручуванні між собою дротів розтяжки. Отже виникає необхідність механізації процесу встановлення розтяжок і проведення відповідних розрахунків.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Технічні умови кріплення і розміщення вантажів на залізничних платформах вимагають встановлення дротових розтяжок [1]. Допускається встановлювати розтяжки з сталених канатів та ланцюгів з використанням талрепів. Промисловістю виготовляються комплекти для кріплення колісної техніки та ОВТ на гусеничному шасі. Наприклад: УМК-16С; УМК-24С; Розтяжка табельна та ін. Встановлення розтяжок із сталених канатів та комплектів кріплення економічно доцільно при частих перевезеннях ОВТ протягом року, або регулярних перевезеннях [2]. При разових перевезеннях доцільно використовувати дротові розтяжки. Дослідження процесу деформування дроту розглядаються в роботах з виготовлення канатів вантажопідійомної техніки [3], з визначенням напруги, що виникає при розтягуванні чи згинанні технологічного вигину дроту [4], та деформації скручування циліндричного стрижня у класичній механіці [5].

В роботах [3, 4] розглядається більше геометрична будова та напружено-деформований стан дроту при деформуванні вже готової лінії дроту в канаті. Крім

того не враховується деформація кручення осі кожного дроту в скрутці та силові фактори, які її спричиняють.

Метою роботи є розробка методики розрахунку напружено-деформованого стану дроту в скрутці розтяжки кріплення вантажу (колісної техніки та ОБТ на гусеничному шасі) на залізничній платформі для подальшої можливості визначення параметрів пристрою для скрутки розтяжок та вдосконалення його конструкції.

Виклад основного матеріалу

Відповідно вимогам Правил розміщення і кріплення вантажів в вагонах і контейнерах [1] розтяжки допускається встановлювати трьома способами, для кріплення ОБТ найбільше ефективним являється перший спосіб, зображений на рис. 1.

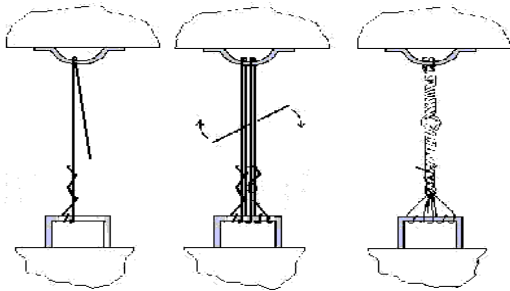


Рис. 1. Розтяжка встановлена способом 1

Для виготовлення розтяжок використовується сталевий дріт по ГОСТ 3282-74 в термообробленому (відпуск) стані круглого перерізу (ГОСТ 2590-88) або квадратного перерізу. Кількість ниток дроту в кожній розтяжці залежить від ваги одиниці ОБТ і становить від 2 до 8.

При кріпленні вантажу за допомогою розтяжок зусилля розподіляються як зображено на рис. 2.

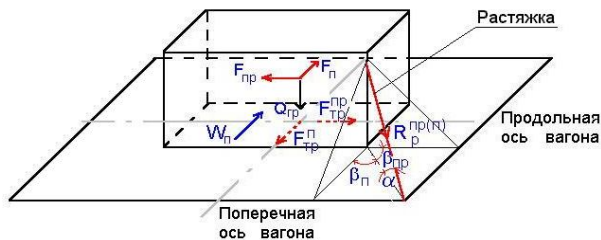


Рис. 2. Схема подовжніх та поперечних зусиль в розтяжці

При закріпленні ОБТ на гусеничному шасі величину зусилля в розтяжці визначають за формулами [1]:

– від сил, які діють у подовжньому напрямку:

$$R_p^{np} = \frac{\Delta F_{np}}{\sum (n_{pi}^{np} (\mu \sin \alpha_i + \cos \alpha_i \cos \beta_{pi}))}, \text{ тс}; \quad (1)$$

– від сил, які діють в поперечному напрямку:

$$R_p^n = \frac{\Delta F_n}{\sum (n_{pi}^n (\mu \sin \alpha_i + \cos \alpha_i \cos \beta_{pi}))}, \text{ тс}; \quad (2)$$

де R_p^{np}, R_p^n – зусилля в розтяжці; n_{pi}^{np}, n_{pi}^n – кількість

розтяжок, які працюють одночасно в одному напрямку під однаковими кутами; α_i – кут нахилу i -ї розтяжки до підлоги вагону; β_{pi}, β_p – кути між проекцією i -ї розтяжки на підлогу вагону; μ – коефіцієнт тертя між контактуючими поверхнями вантажу та вагону.

Подовжнє ΔF_{np} та поперечне ΔF_n зусилля прикладені до розтяжок, визначаються за формулами:

$$\Delta F_{np} = F_{np} - F_{np}^{np}, \text{ тс} \quad (3)$$

$$\Delta F_n = n(F_n + W_n - F_n^n), \text{ тс} \quad (4)$$

Подовжня інерційна сила F_{np} визначається як

$$F_{np} = a_{np} Q_v, \text{ тс} \quad (5)$$

де Q_v – маса вантажу (т); a_{np} – питома позаддовжня інерційна сила (тс/т), приймаємо $a_{np} = 1,2$.

Поперечна інерційна сила F_n визначається за формулою:

$$F_n = a_n Q_v, \text{ тс} \quad (6)$$

де a_n – питома поперечна інерційна сила (тс/т) приймаємо рівною 0,33. Вітрове навантаження W_n визначається за формулою:

$$W_n = 50 S_n, \text{ тс} \quad (7)$$

де S_n – площа навітряної поверхні вантажу.

Сила тертя вантажу на підлозі вагону визначається за формулами:

– в подовжньому напрямку:

$$F_{np}^{np} = Q_v \mu, \text{ тс} \quad (8)$$

– в поперечному напрямку:

$$F_{np}^n = Q_v \mu (1 - a_b), \text{ тс} \quad (9)$$

де μ – коефіцієнт тертя (для ОБТ на гусеничному шасі приймаємо рівним 0,4); a_b – питома вертикальна сила на 1 тону маси вантажу, відповідно для ОБТ на гусеничному шасі буде мати значення:

$$a_b = 0,25 + 2,14/Q_v, \text{ тс/т}. \quad (10)$$

Враховуючи вище викладене визначимо величину зусилля у розтяжках при кріпленні ОБТ на гусеничному шасі відповідну у подовжньому та поперечному напрямках:

$$R_p^{np} = \frac{0,8 Q_v}{2(0,4 \sin \alpha + \cos \alpha \cos \beta_{pi})}, \text{ тс}; \quad (11)$$

$$R_p^n = \frac{0,05 Q_v + W_n}{2(0,4 \sin \alpha + \cos \alpha \cos \beta_{pi})}, \text{ тс}. \quad (12)$$

При кріпленні ОБТ на колісному шасі необхідно використовувати спосіб кріплення циліндричного вантажу за схемою, показаною на рис. 3.

Величина зусилля в розтяжці кріплення колісної техніки згідно рис. 3, визначається за формулою [1]:

– для кріплення у подовжньому напрямку

$$R_{об}^{np} = \left(2,5 F_{np} \left(D/2 - h_y^n \right) - Q_v b_n^0 \right) / \left(n_{об} b_{пер} \right), \text{ тс}; \quad (13)$$

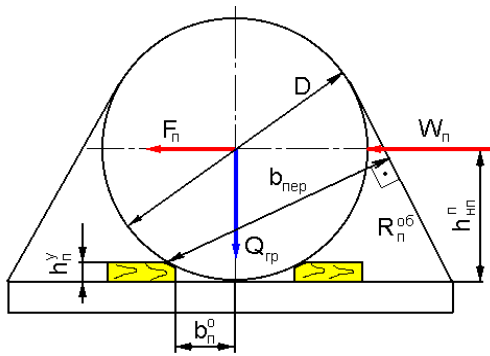


Рис. 3. Схема кріплення циліндричного вантажу

– для кріплення в поперечному напрямку

$$R_{об}^n = \frac{1,25 [F_n (D/2 - h_y^n) + W_n (h_{нп}^n - h_y^n)] - Q_{гр} b_n^0}{n_{об} b_{пер}^0}, \text{ тс} \quad (14)$$

де $n_{об}$ – кількість розтяжок, які діють в одному напрямку; D – діаметр колеса автомобільного шасі, (мм).

Враховавши формули (5) і (6) та відповідні співвідношення отримаємо:

$$R_{об}^{np} = Q_b (2,4D - b_n^0) / (2b_{пер}), \text{ тс}; \quad (15)$$

$$R_{об}^n = \frac{0,165Q_b D + 1,25W_n (h_{нп}^n - 0,1D) - Q_b b_n^0}{2b_{пер}}. \quad (16)$$

За формулами (11), (12), (15) і (16) визначається величина зусилля прикладеного до кінців розтяжки. Щоб визначити величину зусилля при скручуванні розтяжки необхідно також врахувати сили деформації дротів у скрутці розтяжки. Розглянемо розтяжку із скрутки двох ниток дроту.

У деформованому стані один виток скрутки розтяжки із двох ниток має вигляд зображений на рис. 4.

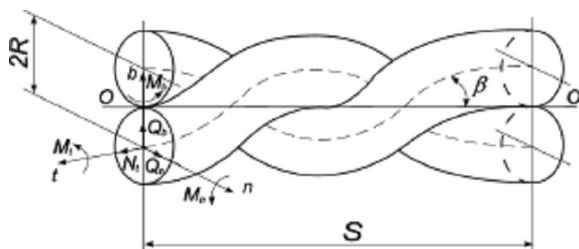


Рис. 4. Схема сил у перерізі дроту

Кожний дріт у скрутці можна представити як стрижень круглого перерізу, який скручено просторової гвинтової лінії навколо умовної осі $O-O_1$. Осьова лінія стрижня буде знаходитись від умовної осі на відстані радіусу дроту r . Дроти при скручуванні піддаються пружно-пластичній деформації згину та кручення, яка рівномірна по всій довжині скрутки. Пружні зусилля в поперечному перерізі дроту приводяться до вектору \bar{Q} та моменту \bar{M} , проекції яких на вісі t, n, b дають відповідно нормальну силу N_t , поперечні сили Q_n і Q_b , згинальні моменти M_b та M_n і крутний момент M_t .

Використовуючи рівняння рівноваги елемента деформованого дроту [7], визначимо N_t, Q_n і Q_b в системі координат t, n, b :

$$\begin{cases} \frac{d\bar{Q}}{ds} + [\bar{\omega} + \bar{Q}] = -\bar{q}; \\ \frac{d\bar{M}}{ds} + [\bar{\omega} + \bar{M}] + [\bar{t} + \bar{Q}] = -\bar{m}, \end{cases} \quad (17)$$

де \bar{q} і \bar{m} – інтенсивності зовнішнього силового і моментального навантаження на одиницю довжини осі деформованого дроту; $\bar{\omega} = \chi\bar{b} + k\bar{t}$ – вектор миттєвої кутової швидкості обертання осей t, n, b навколо свого початку O ; $\bar{t}, \bar{n}, \bar{b}$ – одиничні орти осей t, n, b .

При умові рівномірної деформації по всій довжині дроту $Q = \text{const}, M = \text{const}, q_t = q_n = q_b = 0$, та $\bar{Q} = N_t\bar{t} + Q_n\bar{n} + Q_b\bar{b}$ і $\bar{M} = M_t\bar{t} + M_n\bar{n} + M_b\bar{b}$, отримаємо:

$$\begin{aligned} Q_n &= 0; \quad M_n = 0; \\ Q_b &= \chi M_t - k M_b; \quad N_t = k Q_b / \chi. \end{aligned} \quad (18)$$

Тобто маємо залежності для визначення силових параметрів при деформуванні дроту на довжині зони скручування. Зусилля та моменти, з якими необхідно діяти на дроти при скручуванні доцільно визначити виходячи із параметрів осьової лінії дроту у скрутці. Така задача буде оберненою до тих, які вирішуються в теорії пружно-пластичних деформацій [7]. Зробимо такі припущення: при збільшенні кута β співвідношення між λ та k зменшується, тобто при $\beta \leq 60^\circ$ поздовжньою силою N_t можна знехтувати; матеріал дроту однорідний по всій довжині. Зважаючи на це в перерізі дроту при його скручуванні будуть діяти поперечна сила Q_b , згинаючий момент M_z та крутний момент $M_{кр}$. Їх можна визначити з напружено-деформованого стану дроту [7], та звести до виду:

$$\delta_x = \begin{cases} E\varepsilon_x & (\varepsilon_x \leq \varepsilon_m); \\ \delta_m & (\varepsilon_x \geq \varepsilon_m); \end{cases} \quad (19)$$

$$\tau_{xt} = \begin{cases} G\gamma_{xt} & (\gamma_{xt} \leq \gamma_m); \\ \tau_m & (\gamma_{xt} \geq \gamma_m), \end{cases} \quad (20)$$

де σ_m, τ_m – межі текучості дроту при розтягуванні та зсуві; ε_m – деформація розтягу; γ_m – кутова деформація; E – модуль пружності першого роду; G – модуль пружності другого роду.

Для дроту круглого перерізу лінійна деформація при згинанні та кутова деформація при крученні відповідно буде визначена [7]:

$$\varepsilon_x = \chi \rho \sin \varphi; \quad (21)$$

$$\gamma_{xt} = \rho \theta', \quad (22)$$

де ρ, φ – полярні координати точок перерізу.

Згідно з умовами (19) та (20), переріз дроту буде розподілений на пружну та пластичну частини. Межа пружності зони, визначена з умови пластичності Губера-Мізеса-Генки [7], та має вигляд:

$$P_m = \frac{a_m b_m}{\sqrt{a_m^2 \sin^2 \varphi + b_m^2 \cos^2 \varphi}}; \quad (0 \leq \varphi \leq 2\pi), \quad (23)$$

де a_m та b_m – осі еліпса пружних деформацій ядра дроту:

$$a_m = \sqrt{3\varepsilon_m} / \theta; \quad (24)$$

$$b_m = \varepsilon_m / \sqrt{\chi^2 + \theta'^2 / 3}. \quad (25)$$

Тоді
$$P_m = \frac{\varepsilon_m}{\sqrt{\chi^2 \sin^2 \varphi + \theta'^2 / 3}}. \quad (26)$$

Загальний кут скручування дроту θ при повній гвинтовій навивці на один крок та незмінною величиною скрутки по всій довжині буде: $\theta = 2\pi \cos \beta$ (27).

Глибина пластичних деформацій визначається за формулою [7]:

$$v = 1 + \frac{\varepsilon_{пл}}{\varepsilon_{пр}} = \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_m} = \frac{\rho}{\rho_m} = \frac{\rho}{\varepsilon_m} \sqrt{\chi^2 \sin^2 \varphi + \frac{1}{3}\theta'^2}, \quad (28)$$

де v – функція глибини пластичних деформацій; ε_i – інтенсивність деформації.

Враховуючи вище зазначені викладки нормальні напруження в перерізі становлять:

$$\sigma_x = \begin{cases} E\chi\rho \sin \varphi, & (\rho \leq \rho_m); \\ E\chi\rho \sin \varphi / v = E\chi\rho_m \sin \varphi, & (\rho \geq \rho_m), \end{cases} \quad (29)$$

а дотичні напруження:

$$\tau_{xt} = \begin{cases} G\rho\theta', & (\rho \leq \rho_m); \\ G\rho\theta' / v = G\rho_m\theta', & (\rho \geq \rho_m). \end{cases} \quad (30)$$

Згинаючий момент в перерізі скрутки визначається за формулою:

$$M_b = \frac{b_m \chi \sigma_m}{2} \left(\frac{d^2 \theta'^2}{9 \varepsilon_m \chi} [\Pi(\pi/2, r^2, r) - F(\pi/2, r)] - \pi b_m^2 / \sqrt{3\theta'} \right). \quad (31)$$

Крутний момент можна визначити як:

$$M_t = \frac{G\theta' b_m}{6} \left[d^2 F\left(\frac{\pi}{2}, r\right) - \frac{3\pi a_m b_m^2}{2\theta} \left(\chi^2 + \frac{2}{3}\theta'^2 \right) \right], \quad (32)$$

де $F(\pi/2, r)$ – повний еліптичний інтеграл першого роду; $\Pi(\pi/2, r^2, r)$ – повний еліптичний інтеграл третього роду; $r = \chi b_m / \varepsilon_m$ – модуль інтеграла [6].

Використовуючи викладене можливо визначити зусилля для скручування розтяжки з іншою кількістю ниток дроту.

Висновки

Запропонована методика розрахунку величини зусилля, яке прикладається до скрутки дротяної розтяжки, при кріпленні ОВТ на залізничному вагоні (платформі) дає змогу визначити параметри пристрою для виконання скручування дроту у розтяжках та вдосконалення його конструкції.

Список літератури

1. Правила размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах (Приложение 14 к СМГС) на 01.07.2014г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.uz.gov.ua>.
2. Наставление по перевозкам войск железнодорожным, морским, речным и воздушным транспортом. Приложение 6 и 15. Введенное в действие приказом Министра обороны СССР от 6 июня 1983 года №180. – М.: Военное издательство, 1987.
3. Жданов Г.П. Изгибные напряжения в стальных проволочных канатах со спиральной и двойной свивки / Г.П. Жданов // Научные труды Харьковского горного института. – Х.: ХГУ. – 1955. – С. 45-51.
4. Малиновський В.А. Сталеві канати. Ч.1. Деякі питання технології, розрахунку та проектування / В.А. Малиновський. – Одеса: Астропринт, 2001. – 188 с.
5. Попов Е.П. Теория и расчет гибких упругих стержней / Е.П. Попов. – М.: Наука, 1986. – 296 с.
6. Корн Г. Справочник по математике: для науч. Работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1973. – 832 с.
7. Ильюшин А.А. Пластичность / А.А. Ильюшин. – М.–Л.: ОГИЗ, 1948. – 376 с.

Надійшла до редколегії 16.04.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Б.О. Демідов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВЕЛИЧИНЫ УСИЛИЯ СКРУЧИВАНИЯ ПРОВОЛОЧНОЙ РАСТЯЖКИ КРЕПЛЕНИЯ ТЕХНИКИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ВАГОНЕ

А.А. Родюков

В работе предложено методику расчета величины усилия скручивания проволочной растяжки, используемой при закреплении колесной и гусеничной техники на железнодорожных вагонах. Расчет проведен с учетом упруго-деформированного состояния проволоки в процессе скручивания растяжки. Рассмотрено схему сил действующих на скрутку и в разрезе проволоки. Приведены формулы по которым определяется величина изгибающего момента и крутящего момента действующего в разрезе проволоки скрутки.

Ключевые слова: проволочная растяжка, скручивания проволоки, крепление груза.

METHOD OF CALCULATING THE AMOUNT OF FORCE TWISTING WIRE STRETCHING TECHNIQUE FOR FIXING RAILWAY CARRIGE

A.A. Rodyukov

The paper proposed a method for calculating the amount of effort twisting wire stretching used when fixing the wheel and tracked vehicles on rail cars. The calculations were performed with the elastic-strain state of the wire in the process twisting stretch. Consider the scheme of forces acting on the twist in the wire section. The formulas for which is determined by the value of the bending moment and torque acting sectional wire twist.

Keywords: wire stretching, twisting wire, securing of cargo.