

АНОТАЦІЯ

Вовк П.Е. Характеристики граничного пружного і пружно-пластичного станів піднімальних канатів.— Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» – Національний університет «Одеська політехніка», Одеса, 2023.

Робота присвячена розрахунку несівної спроможності сталевих підйомних канатів через введення двох міцнісних характеристик: зусилля граничного пружного стану та зусилля досягнення стану пружно-пластичного деформування. Друга характеристика відповідає несучій спроможності канату і визначається на основі деформацій дротин в канаті і матриці його жорсткостей. Обидві величини розраховувалися для чотирьох схем навантаження канату: розтягання канату з вантажем в направляючих, розтягання вільно підвішеним вантажем, розтягання зі згином на барабані вантажем в направляючих та розтягання зі згином на барабані вільно підвішеним вантажем. При побудові методів розрахунку зазначених вище двох міцнісних характеристик було розроблено та інтегровано метод врахування міжелементного тертя між проволочками та шарами канату.

У **вступі** обґрунтовано вибір напрямку дослідження та висвітлена її актуальність. На основі цього сформовано мету і завдання дослідження. Зазначено наукову новизну отриманих результатів та їх практичну цінність.

В **першому розділі** «Стан проблеми та формулювання задач дисертації» наведено аналіз сучасного рівня теорії деформовано-напруженого стану виробів з витого дроту (канатів, проводів ЛЕП, кабель-канатів, каротажних кабелів). Склалось два напрямки теоретичного дослідження деформованого стану канатів.

Перший напрямок – це роботи М. Ф. Глушко, С. Т. Сергеева та їх учнів, які створили основу «будівельної механіки каната». В роботі М. Ф. Глушко розрахункова схема побудована на рівняннях статички Кірхгофа для тонких стержнів, теоремі Кастільяно та методі сил. Одержані два рівняння статички

стосовно прямого канату, що складається з одної дротини. Простим підсумуванням рішення узагальнені до повноцінного канату як одинарного, так і подвійного звивання. На основі двох диференціальних рівнянь одержані вирази деформацій розтягання і кручення каната для чотирьох схем навантаження прямого каната, серед них: чисте розтягання тобто в напрямних і вільно підвішеним вантажем.

Вплив тертя між елементами на їх деформований стан в роботах першого напрямку не враховується. Зроблено помилкове припущення: «...будемо припускати, що пружні переміщення підкоряються гіпотезі плоских перерізів і невикривлення радіусів». Далі помилковий висновок: «...На торцях каната проволоки з'єднані друг з другом жорстко... отримують однакові переміщення. Звідси виходить також, що через сумісність пружних переміщень шарів проволок, не дивлячись на контактний тиск між ними, внутрішні сили тертя не реалізуються». Роз'яснення зазначеної помилковості показано в п.2.1 і 2.2 даної роботи.

Другий напрямок – це роботи І.М. Чаюна. Принципова відмінність полягає в визначенні жорсткостей перерізу каната і дослідженні зовнішнього деформованого стану.

Визначається не дві, а чотири деформації розтягання, кручення та згинання піднімального канату в залежності від схеми навантаження і глобальної матриці розміру $|4 \times 4|$ жорсткості перерізу канату. Це відкрило можливість дослідження деформованого стану при асиметрії в перерізах канату, яка виникає чи то в наслідок нерівномірності звивального натягання дротів і сталок, чи то обривів дротів при експлуатації. Після зовнішнього деформованого стану визначаються деформації розтягання, кручення та згинання дротів тобто внутрішній деформований стан.

З аналітичних визначень міцнісних характеристик близько до теми дисертації знаходиться методика роботи Чаюна І.М., де досліджується пружно-пластичне деформування канатів і розроблено метод обчислення їх несучої спроможності. Метод доволі громіздкий, потребує вирішення двох

задач. Перша – це дослідження несучої спроможності дротів при деформаціях, відповідних схемам навантаження каната. Друга задача – визначення нормальної сили в перерізах дротів в граничному стані канату і його несучої спроможності.

Другий розділ « Вплив тертя між елементами канату на його деформований і напружений стан». Розглянуто два дослідження. Перше пов'язане з впливом тертя на співвідношення деформацій і переміщень дротів в канаті при розтяганні з крученням і розтяганні з послідуєчим згинання (навиванням на барабан). Друге – пов'язане з деформацією дротин з обривами. Цьому дослідженню підпорядковане вирішення нової задачі щодо тертя нитки гвинтової форми при розтяганні на циліндричній поверхні з прямою і гвинтовою твірними: тертя на циліндричній поверхні з прямою твірною для канатів одинарного звивання, а на циліндричній поверхні з гвинтовою твірною для канатів подвійного звивання. Вирішення задачі тертя нитки використано також в розробці методики визначення жорсткостей перерізу каната при наявності обривів дротів.

Третій розділ «Метод деформацій в визначенні характеристик граничного пружного стану канатів». За граничний пружний прийнято такий стан канату (таке зусилля розтягання), за яким одна з дротин канату (або одночасно група дротин) досягають деформації розтягання, рівної деформації пропорційності за діаграмою розтягання дроту.

Четвертий розділ «Метод деформацій в визначенні несучої спроможності канатів». За зусилля граничного пружно-пластичного стану (несучу спроможність канату) прийнято таке значення навантаження, при якому один з його елементів (одна дротина або група рівнозначних дротин) досягають рівномірної граничної деформації дроту. Пружно-пластичне деформування канату відбувається при змінних жорсткостях перерізу каната, тому прийнята дискретна зміна в межах кожного інтервалу деформування.

П'ятий розділ « Оцінка точності визначення зусиль граничних станів канатів» Оцінка точності пропонованого методу виконана на основі

експериментів . Розходження розрахункових даних з експериментами становить 3–10 %.

Ключові слова: піднімальний канат, підіймальна техніка, статична міцність, статичні навантаження, жорсткість, надійність, витривалість, схеми навантаження, міцнісні характеристики каната, обриви дротів, міжелементне тертя в канаті, діаграми розтягання дроту, передзвивальне натягіння дротів і сталок, пружно-пластичний стан, несуча спроможність, глобальна матриця жорсткості перерізу канату, випробування на міцність, випробування механічних властивостей.

ABSTRACT

Vovk P.E. Characteristics of the limit elastic and elastic-plastic states of lifting ropes.– Qualification scientific work on manuscript rights. Dissertation for the Doctor of Philosophy degree in specialty 131 "Applied Mechanics" - Odesa Polytechnic National University, Odesa, 2023.

The work is devoted to the calculation of the load-bearing capacity of steel lifting ropes by introducing two strength characteristics: the force of the ultimate elastic state and the force of reaching the state of elastic-plastic deformation. The second characteristic corresponds to the load-bearing capacity of the rope and is determined on the basis of the deformations of the wires in the rope and the matrix of its stiffnesses. Both values were calculated for four load schemes of the rope: stretching of the rope with a load in the guides, stretching with a freely suspended load, stretching with bending on the drum with a load in the guides and stretching with bending on the drum with a freely suspended load. When constructing the methods for calculating the above two strength characteristics, a method for taking into account interelement friction between the wires and layers of the rope was developed and integrated.

The **introduction** justifies the choice of the research direction and highlights its relevance. Based on this, the goal and objectives of the research are formed. The scientific novelty of the obtained results and their practical value are indicated.

In the first chapter "The state of the problem and the formulation of the dissertation's objectives"

An analysis of the modern level of the theory of the deformed-stressed state of products made of twisted wire (ropes, power lines, cable-ropes, logging cables) is given. There were two directions of theoretical research into the deformed state of ropes.

The first direction is the works of M. F. Glushko, S. T. Sergeev and their students, which created the basis of "building rope mechanics". In work M. F. Glushko the calculation scheme is based on Kirchhoff's equations of statics for thin rods, Castigliano's theorem and the method of forces. Two equations of statics are

obtained in relation to a straight rope consisting of one wire. By simple summarization, the solutions are generalized to a full-fledged rope of both single and double winding. On the basis of two differential equations, expressions of deformations were obtained stretching and twisting of the rope for four loading schemes of a straight rope, among them: pure stretching, i.e. in guides and freely suspended loads.

The effect of friction between elements on their deformed state in works of the first direction is not taken into account. An incorrect assumption was made: "...we will assume that elastic movements obey the hypothesis of flat cross-sections and non-curvature of radii." Then a false conclusion: "...At the ends of the rope, the wires are rigidly connected to each other...receive the same displacements. It also follows from this that due to the compatibility of the elastic displaced layers of the wires, despite the contact pressure between them, internal friction forces are not realized." The clarification of the specified error is shown in clauses 2.1 and 2.2 of this work.

The second direction is the work of I.M. Chayun. The fundamental difference lies in the determination of the rigidity of the rope section and the study of the external deformed state.

Not two, but four deformations are determined stretching, twisting and bending of the lifting rope depending on the load scheme and the global size matrix $|4 \times 4|$ stiffness of the rope section. This opened up the possibility of studying the deformed state with asymmetry in the cross-sections of the rope, which arises either as a result of the unevenness of the twisting tension of the wires and tables, or the breaks of the wires during operation. After the external deformed state, the deformations are determined stretching, twisting and bending of wires, i.e. internal deformed state.

From analytical determinations of strength characteristics, close to the topic of the dissertation is the method of work I.M. Chayun, where elastic-plastic deformation of ropes is investigated and a method of calculating their bearing capacity is developed. The method is quite cumbersome and requires the solution of two problems. The first is an investigation of the load-bearing capacity of the wires under deformations corresponding to the load schemes of the rope. The second task

is to determine the normal force in the cross-sections of the wires in the limit state of the rope and its bearing capacity

The second section "Effect of friction between rope elements on its deformed and stressed state". Two studies are considered. The first is related to the effect of friction on the ratio of deformations and displacements of wires in the rope during stretching with twisting and stretching with subsequent bending (winding on a drum). The second is related to the deformation of wires with breaks. This research is subordinated to the solution of a new problem regarding the friction of a helical thread during stretching on a cylindrical surface with a straight and helical structure: friction on a cylindrical surface with a straight structure for single-twist ropes, and on a cylindrical surface with a spiral structure for double-stranded ropes cabling. Solving the thread friction problem was also used in the development of the method of determining the stiffness of the rope section in the presence of broken wires.

The third section "Method of deformations in determining the characteristics of the ultimate elastic state of ropes". The following state of the rope is taken as the ultimate elastic state (such tensile strength), after which one of the wires of the rope (or at the same time a group of wires) reaches a tensile strain equal to deformations of proportionality according to the wire stretching diagram.

The fourth chapter "Method of deformations in determining the bearing capacity of ropes". For the forces of the limit elastic-plastic state (carrying capacity rope) such a load value is accepted, at which one of its elements (one wire or a group of equivalent wires) reach a uniform limit deformation of the wire. Elastic-plastic deformation of the rope occurs at variable stiffnesses of the cross-section of the rope, a discrete change within each deformation interval is assumed.

The fifth chapter "Assessment of the accuracy of determination of the forces of the limit states of ropes" The accuracy assessment of the proposed method is based on the experiments of the work M. F. Glushko. The difference between calculated data and experiments is 3–10%.

Key words: *lifting rope, lifting equipment, static strength, static loads, stiffness, reliability, endurance, load patterns, rope strength characteristics, wire breakage,*

interelement friction in the rope, wire tension diagrams, pre-coiling tension of wires and scaffolds, elasto-plastic state, load-bearing capacity, global stiffness matrix of the rope cross-section, strength testing, mechanical properties testing.