

СТЕПАНОВ ДМИТРО

Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку

<https://orcid.org/0009-0002-8299-5402>E-mail: dmstepanov@ukr.net

РОЗРОБКА МЕТОДУ УДОСКОНАЛЕННЯ ВИБОРУ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ СИЛОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ ОПТИЧНОГО КАБЕЛЮ

В роботі розглядається розробка методу удосконалення вибору центрального та периферійного силових елементів (СЕ) на прикладі конструкції одноповивного діелектричного самоутримного оптичного кабелю (ДСОК) на основі визначення залежностей заданого розтягувального навантаження, що забезпечується СЕ, від параметрів його осердя.

Ключові слова: оптичний кабель, силові елементи, склопластиковий стержень, арамідні нитки, максимальне розтягувальне навантаження, максимальне допустиме видовження.

STEPANOV DMYTRO

State University of Intelligent Technologies and Telecommunications

DEVELOPMENT OF THE METHOD OF IMPROVING THE SELECTION OF DIELECTRICAL STRENGTH ELEMENTS OF OPTICAL CABLE DESIGN

The paper considers the development of method for improving the selection of central and peripheral strength elements (SE) on the example of construction of a single-winding dielectric self-supporting optical cable (DSSOC) based on the determination of the dependence of the specified tensile load provided by the SE on the the parameters of its core. The research carried out in the work made it possible to improve the process of selecting the strength elements of the DSSOC and to establish that the dependences of the tensile loads of the central (CSE) and peripheral (PSE) SE have a different character. It was found that the diameter of the central strength element is the determining parameter of the cable core when determining the values of F'_{CSE} and F'_{PSE} . The results of the calculation of the tensile loads of the CSE and the PSE of the selected model are shown that the use of aramid threads in the PSE layer gives a contribution to the total value of the maximum permissible tensile load (MPTL) approximately an order of magnitude greater than that of the fiberglass core of the CSE. According to the developed method, an example of the selection of strength elements of the DSSOC structure with 18 aramid threads is shown, which ensured the value of the MPTL in the cable by 12.3 % more than the needed value. In addition, the study of the accelerated selection of strength elements of the DSSOC core design models is shown that with the correct selection of the CSE diameter, optimization of the cable design is possible. For this purpose, a graphic model of the implementation of the method was developed and the dependencies between the tensile loads provided by the cable strength elements and the parameters of the design model were obtained, which allows to significantly reduce the time of choosing the optimal strength elements, the structure of the core and the parameters of other structural elements to ensure the specified MPTL and reducing the total cost of the cable.

Key words: optical cable, strength elements, fiberglass rod, aramid threads, maximum tensile load, maximum allowable elongation.

Постановка проблеми

На сьогодні в Україні та деяких країнах світу на електронних комунікаційних мережах та абонентських лініях застосовуються оптичні кабелі (ОК) різних конструкцій вітчизняних або закордонних фірм-виробників. Серед кабелів модульного типу (конструкція з повивним скрученням елементів) особливе місце займають діелектричні самоутримні оптичні кабелі, що мають задану кількість оптичних волокон та забезпечують надання якісних електронних комунікаційних послуг. Для розробки ДСОК модульного типу в Україні в повній мірі відсутні нормативні або рекомендаційні документи, що обумовлюють процес удосконалення розробки їх оптимальних моделей. Тому проблема створення високонадійних оптимальних конструкцій оптичних кабелів зв'язку включає в себе комплекс задач, з'єднаних ідеєю систематизації та цілісного підходу до вдосконалення теоретичних основ їх конструювання, а також технології та обладнання для їх виготовлення, контролю їх якості та експлуатації.

В низці літературних джерел зазначається, що розробка моделі осердя конструкції ДСОК модульного типу ведеться за величиною її поздовжньої механічної міцності. Поздовжня механічна міцність кабелю оцінюється максимально допустимим розтягувальним навантаженням (МДРН) $F_{\text{мд}}$ кабелю, що є одним із важливих його механічних параметрів і визначає придатність кабелю до експлуатації в певних умовах. Розробка конструкції ДСОК забезпечує його стійкість до впливових факторів середовища експлуатації, таких як різноманітні кліматичні, природні, техногенні дії, до яких можливо віднести: температурні коливання, кислотність навколишнього середовища, дію дрібних шкідників та інше. Створення високонадійних конструкцій ДСОК забезпечить при належних розробці і виробництві їх моделей заданий при експлуатації термін служби всієї волоконно-оптичної лінії зв'язку.

Аналіз досліджень та публікацій

На сьогодні у відомих роботах з конструювання та розробки ОК, наприклад [1 – 7], дослідження з вибору силових елементів ОК висвітлені лише частково. Зокрема, повністю не досліджено як змінюються механічні параметри кабелю при процесі вибору геометричного розміру центрального силового елемента (ЦСЕ) і конструкції периферійного силового елемента (ПСЕ) із різних матеріалів [1 – 4]. Процес оптимізації конструкції ДСОК впливає на геометричні розміри та механічні параметри інших елементів кабелю [7]. Адже,

відомо, що необхідне максимальне заповнення площі осердя кабелю його елементами – оптичними модулями (ОМ) або заповнювальними елементами та ЦСЕ. Повивні складові осердя розміщені за принципом гексагональної укладки рівних за діаметром циліндричних елементів ОК, які торкаються один одного, але не мають спільних точок [5 – 8]. Спрощена конструкція ДСОК, наприклад, на базі рівних за діаметром елементів приведено на рис. 1. Вона використовується при виробництві ОК, наприклад, фірмами OFS, Corning Inc, Fujikura Global, Sumitomo Electric, ПАТ «Одескабель» та інші [9 – 14].

Метою роботи є: розробка методу удосконалення вибору силових елементів конструкції діелектричного самоутримного оптичного кабелю одноповивного модульного типу.

Виклад основного матеріалу

Як відмічалось раніше, одним із недоліків розробки моделі ДСОК є відсутність керівних нормативних документів, що регламентують оптимальну конструкцію кабелю та, в першу чергу, її механічну міцність. Її величина визначається фізичними властивостями матеріалів, геометричними параметрами та конструкцією осердя кабелю. Основними елементами осердя, наприклад, ДСОК повивного типу, які беруть на себе основну частину МДРН, являються, як правило, діелектричний ЦСЕ, виготовлений зі склопластикового стержня, та ПСЕ у вигляді повиву арамідних ниток. Розтягувальні навантаження, що можуть забезпечувати решта елементів кабелю, являються незначними. Тому, їх сумарне значення враховується, як правило, в якості технологічного запасу конструкції діелектричного самоутримного оптичного кабелю по розтягувальним навантаженням. Приклад спрощеної моделі одноповивної 6-елементної конструкції ДСОК показано на рис. 1.

Максимально допустиме та допустиме розтягувальні навантаження F_{mk} , F'_{dk} кабелю, що забезпечуються лише силовими елементами конструкції, можна визначити за виразами (1) табл. 1 [6, 7]. В цій таблиці приведені вирази для визначення довідкової бази з конструктивних та геометричних параметрів елементів осердя кабелю.

Із аналізу виразів (1) – (10) видно, що їх складові та геометричні параметри моделі осердя ДСОК, які впливають на величини F_{mk} , F'_{dk} , є, в першу чергу, значення максимально допустимого і допустимого видовження кабелю (ϵ_{mk} , ϵ_{dk}), модулів Юнга їх матеріалів та площі поперечного перетину силових елементів. Крім того, на $F'_{псе}$ впливає кут спірального укладання арамідних ниток ПСЕ, залежним від радіусу спірного укладання навитих елементів (R), відстані між ОБ або пучком волокон і внутрішньою поверхнею стінки трубки ОМ (ΔR), кроку спірального укладання елементів повиву осердя (h). Значення R та ΔR визначаються за виразами (6) та (7), відповідно. Значення h залежить від обладнання виробника кабелю і, як правило, приймається від (80 до 150) мм.

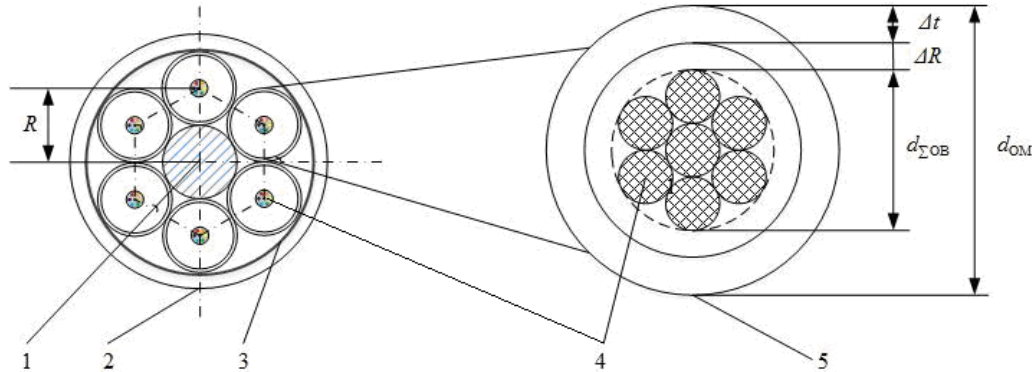


Рис. 1. Спрощена модель конструкції ДСОК: 1 – центральний силовий елемент; 2 – захисна оболонка; 3 – периферійний силовий елемент; 4 – оптичне волокно (пучок ОБ); 5 – трубка ОМ

Таблиця 1

Розрахункові вирази для визначення конструктивних та геометричних параметрів елементів осердя кабелю

Число елементів у повиві, шт	Розрахункові вирази для визначення діаметра ЦСЕ, $d_{цсе}$, мм	Назва параметру	Вирази розрахунку конструктивних та геометричних параметрів осердя кабелю
1	2	3	4
3	$0,155 d_{сл}$	Максимально допустиме та допустиме розтягувальні навантаження, F_{mk} та F'_{dk} , кабелю за рахунок силових елементів ЦСЕ та ПСЕ, Н	$F_{mk} = F_{цсе} + F_{псе},$ $F'_{dk} = F'_{цсе} + F'_{псе}$ (1)

1	2	3	4
4	0,414 $d_{ел}$	Максимально допустиме розтягувальне навантаження, що забезпечується ЦСЕ, $F_{ЦСЕ}, Н$ Допустиме розтягувальне навантаження, $F'_{ЦСЕ}$, за рахунок ЦСЕ, Н	$F_{ЦСЕ} = \epsilon_{дк} E_{сп} S_{ЦСЕ} \quad (2)$ $F'_{ЦСЕ} = \epsilon_{дк} E_{ЦСЕ} S_{ЦСЕ}$
5	0,701 $d_{ел}$	Максимально допустиме розтягувальне навантаження, що забезпечується ПСЕ, $F_{ПСЕ}, Н$ Допустиме розтягувальне навантаження, $F'_{ПСЕ}$, за рахунок ПСЕ, Н	$F_{ПСЕ} = \frac{\epsilon_{дк}}{\sin \beta} E_{ПСЕ} S_{ПСЕ} \quad (3)$ $F'_{ПСЕ} = \frac{\epsilon_{дк}}{\sin \beta} E_{ПСЕ} S_{ПСЕ}$
6	1,000 $d_{ел}$	Максимальне допустиме видовження кабелю, $\epsilon_{мк}$, при заданому значенні допустимого видовження ОВ, $\epsilon_{дОВ}$	$\epsilon_{мк} = \epsilon_{дк} + \epsilon_{дОВ} \quad (4)$
7	1,305 $d_{ел}$	Допустиме відносне видовження кабелю, $\epsilon_{дк}$	$\epsilon_{дк} = -1 + \sqrt{1 + \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot R^2}{h^2} \cdot \left(\frac{2 \cdot \Delta R}{R} - \frac{\Delta R^2}{R^2} \right)} \quad (5)$
8	1,613 $d_{ел}$	Радіус укладання елементів повиву осердя кабелю, R , мм	$R = \frac{d_{ЦСЕ} + d_{ОМ}}{2} \quad (6)$
9	1,924 $d_{ел}$	Відстань між внутрішньою поверхнею стінки трубки ОМ та ОВ або пучком ОВ, ΔR , мм	$\Delta R = \frac{d_{ОМ} - 2d_{тОМ} - d_{\Sigma ОВ}}{2} \quad (7)$
10	2,236 $d_{ел}$	Площа ЦСЕ зі склопластикового стержня, $S_{ЦСЕ}$, мм ²	$S_{ЦСЕ} = \frac{\pi \cdot d_{ЦСЕ}^2}{4} \quad (8)$
11	2,549 $d_{ел}$	Площа ПСЕ з повиву арамідних ниток, $S_{ПСЕ}$, мм ²	$S_{ПСЕ} = \frac{LD}{\rho} \cdot n_{ан} \cdot 10^{-4} \quad (9)$
12	2,864 $d_{ел}$	Максимально допустиме розтягувальне навантаження, $F_{мк}$, Н	$F_{мк} = k_p \cdot F'_{дк}, \quad (10)$ $k_p = \frac{\epsilon_{мд}}{\epsilon_{дк}}$

Крім того, діаметр ЦСЕ, за значенням якого визначається площа, $S_{ЦСЕ}$, впливає на всю структуру осердя ДСОК: кількість (n) та діаметр елементів повиву ($d_{ел}$), ємність оптичних волокон у кожному ОМ ($n_{ОВ}$) та в усьому кабелів. Ці залежності між параметрами елементів конструкції ОК вдало демонструє рис. 2.

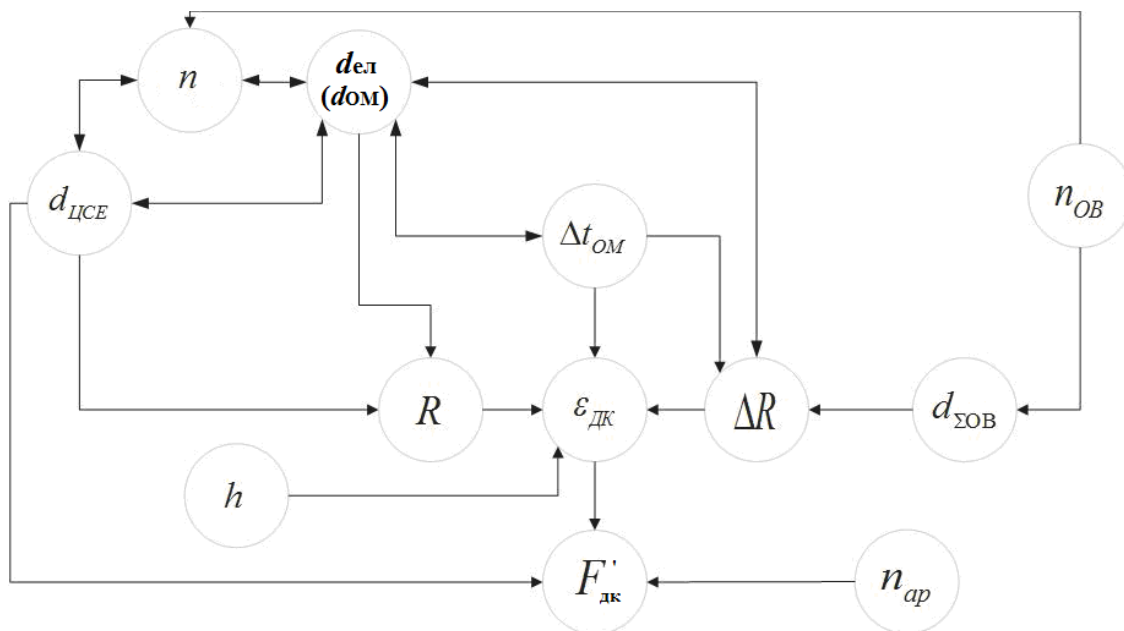


Рис. 2. Схематичне зображення залежностей параметрів елементів повиву моделей конструкції осердя ДСОК

Згідно [1, 2] діаметр ЦСЕ, $d_{\text{ЦСЕ}}$, в ДСОК одноповивного скручення з числом n елементів повиву, всі з яких мають діаметр $d_{\text{ел}}$, може бути визначений за виразом:

$$d_{\text{ЦСЕ}} = k_n \cdot d_{\text{ел}}, \quad (11)$$

де $d_{\text{ЦСЕ}}$ – діаметр ЦСЕ, мм; k_n – коефіцієнт, що враховує кількість елементів у повиві кабелю; $d_{\text{ел}}$ – діаметр елементу повиву, мм.

В свою чергу коефіцієнт k_n визначається за наступною формулою [8]:

$$k_n = \left(\sqrt{1 + \frac{1}{\sin^2 \theta} \left[\frac{1}{\sin^2 \frac{\pi}{n}} - 1 \right]} - 1 \right), \quad (12)$$

де k_n – коефіцієнт, що враховує кількість елементів у повиві кабелю; θ – кут спірального укладання n елементів повиву осердя кабелю, рад; n – кількість елементів повиву, шт.

Розглядаючи конструкцію ДСОК як систему зв'язків її можна охарактеризувати зовнішніми та внутрішніми параметрами.

Зовнішні параметри описують систему з точки зору замовника та споживача. До зовнішніх параметрів можна віднести загальну кількість ОВ в кабелі та його максимально допустиме розтягувальне навантаження. Значення цих параметрів в подальшому будуть визначати всі інші параметри конструкції повиву осердя ДСОК.

В роботі допустиме розтягувальне навантаження, $F'_{\text{дк}}$, вибраної для досліджень моделі ДСОК визначається тільки за значеннями $\epsilon_{\text{дк}}$ для розробки довідкової та графічної баз способу удосконалення вибору СЕ при конструюванні моделей кабелю. Забезпечення значення величин $n_{\text{ОВ}}$ та $F'_{\text{дк}}$ будуть забезпечувати визначення геометричних та конструктивних параметрів повивів кабелю.

Внутрішні параметри описують систему з точки зору розробника моделі кабелю. До внутрішніх параметрів можна віднести максимально допустиме видовження кабелю, діаметр ЦСЕ, кількість ниток ПСЕ, діаметр та кількість ОМ або ОМ та заповнювальних елементів. Саме ці параметри системи ОК необхідно оптимізувати, а саме підібрати найбільш оптимальне співвідношення значень цих параметрів для досягнення мінімальної кількості витрачених матеріалів та забезпечення їх мінімальної собівартості.

Опираючись на вищесказане, процес удосконалення вибору СЕ можна розділити на задачу оптимізації вибору діаметру ЦСЕ (склопластикового стержня) та кількості і типу арамідних ниток ПСЕ при дослідженні їх впливу на конструктивні та геометричні параметри моделі кабелю (рис. 2).

Так, враховуючи роботи [1 – 7] науковий інтерес представляє розробка методу удосконалення процесу вибору силових елементів кабелю з тим, щоб забезпечити його задане значення МДРН та розтягувальне навантаження ОК при найменших витратах на матеріали силових елементів та оптимізувати у результаті конструкцію всього осердя кабелю не втрачаючи його рекомендованих механічних та оптичних параметрів.

Вибір кількості ($n_{\text{ан}}$) та типу арамідних ниток в ПСЕ дозволяє досягти та забезпечити складові заданого МДРН та допустимого розтягувального навантаження кабелю, виходячи з одержаного значення його максимального поздовжнього видовження. Арамідні нитки ПСЕ, як правило, не призводять до значного збільшення ваги та розміру моделі кабелю [8].

Отже, для забезпечення заданого МДРН моделі кабелю та вибору геометричних розмірів ЦСЕ, $d_{\text{ЦСЕ}}$, кількості арамідних ниток ПСЕ, $n_{\text{ан}}$, потрібно провести дослідження залежностей $F'_{\text{ЦСЕ}} = f(\epsilon_{\text{дк}}, d_{\text{ОМ}}, d_{\text{ел}}, n, E_{\text{сс}}, d_{\text{ЦСЕ}}, S_{\text{ЦСЕ}})$ та $F'_{\text{ПСЕ}} = f(\epsilon_{\text{дк}}, d_{\text{ел}}, d_{\text{ЦСЕ}}, n, n_{\text{ан}}, E_{\text{ан}}, S_{\text{ПСЕ}})$, які дозволять вибирати на етапі розробки моделі ДСОК не лише діаметр ЦСЕ, кількість та тип ниток ПСЕ для забезпечення заданої механічної міцності кабелю, а й корегувати економічні витрати на матеріали елементів моделі.

В роботі одержані залежності величин $F'_{\text{ЦСЕ}}$ (рис. 3) та $F'_{\text{ПСЕ}}$ (рис. 4): від діаметру ЦСЕ, $d_{\text{ЦСЕ}}$, та кількості арамідних ниток ПСЕ, $n_{\text{ан}}$, відповідно, різній структурі моделі осердя ДСОК; діаметру ЦСЕ до 4 мм; кількості елементів повиву – від (3 до 8) шт.; діаметру елемента повиву, $d_{\text{ел}}$, від (1,8 до 3,0) мм; кількості ОВ в кожному ОМ, $n_{\text{ОВ}} = 12$. В розрахунках також було використано: радіальна товщина стінки ОМ, $\Delta t_{\text{ОМ}} = 0,15 \cdot d_{\text{ОМ}}$ [2]; крок спірального укладання елементів повиву $h = 100$ мм [7, 8]; діаметр ОВ в захисному пофарбованому покритті 255 мкм; ЦСЕ – склопластиковий стержень фірми «Polystal» з $E_{\text{сс}} = 50\,000$ Н/мм²; повив арамідних ниток ПСЕ складається з 12, 14, 18 та 24 арамідних ниток типу «Twaron» D1052-8050 з $E_{\text{ан}} = 104\,000$ Н/мм².

В якості прикладу виберемо конструкцію осердя одноповивної моделі 48-волоконного ДСОК, СЕ якої забезпечать $F_{\text{мк}} = 7$ кН. Максимально допустиме видовження ОВ прийнято $\epsilon_{\text{дОВ}} = 0,25$ %. Згідно до рис. 3 значення $F'_{\text{ЦСЕ}} = 0,48$ кН, а згідно до рис. 4 значення $F'_{\text{ПСЕ}} = 3,30$ кН при $n_{\text{ан}} = 18$ шт., а при $n_{\text{ан}} = 24$ шт. $F'_{\text{ПСЕ}} = 4,44$ кН. Таким чином, $F'_{\text{мк}}$ при $n_{\text{ан}} = 18$ шт. дорівнює 3,78 кН, а при $n_{\text{ан}} = 24$ шт. – 4,92 кН. Тоді, згідно до виразу (11) табл. 1 значення k_p буде дорівнювати 2,08 при $\epsilon_{\text{мк}} = 0,231$ %, а значення $F_{\text{мк}}$ при 18 арамідних нитках буде дорівнювати 7,86, а при 24 – 10,23 кН.

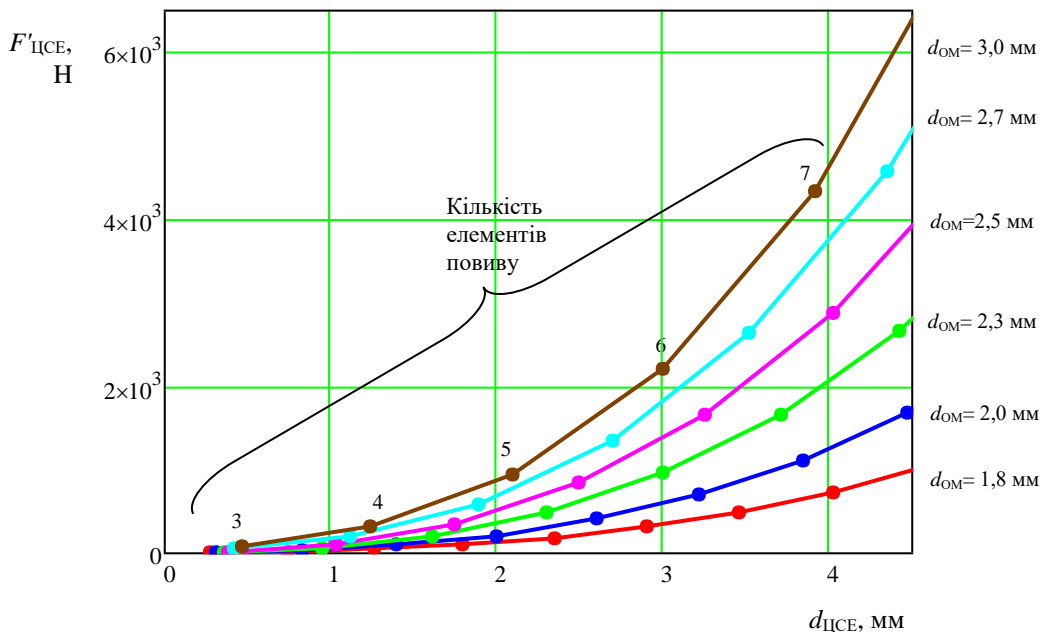


Рис. 3. Залежності $F'_{ЦСЕ}$ від діаметру ЦСЕ, $d_{ЦСЕ}$, при різній кількості та діаметрах ОМ в повиві кабелю без урахування значення $\epsilon_{дОВ}$

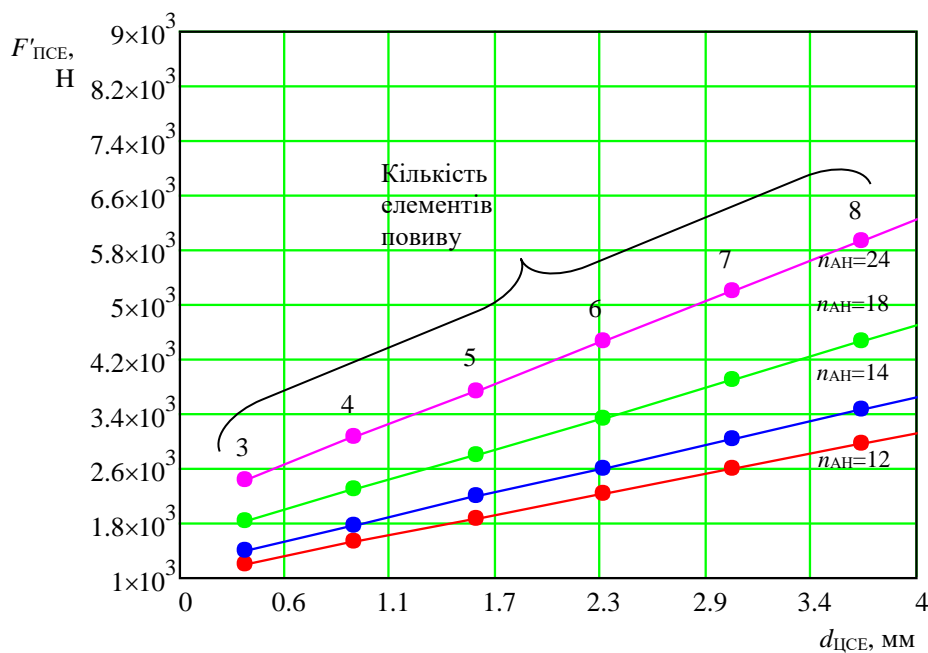


Рис. 4. Залежності $F'_{ЦСЕ}$ від діаметру ЦСЕ $d_{ЦСЕ}$ при різній кількості елементів діаметром 2,3 мм в повиві кабелю без урахування значення $\epsilon_{дОВ}$

Таким чином, модель осердя конструкції ДСОК із 18 арамідними нитками буде забезпечувати задане значення максимального допустимого розтягувального навантаження. При цьому вибрана модель осердя з діелектричними СЕ забезпечить максимально допустиме розтягувальне навантаження в ДСОК на 12,3 % більше заданого.

Останнє забезпечить збільшення технологічного запасу моделі по стійкості до розтягувального навантаження за рахунок усіх елементів моделі кабелю за винятком центрального та периферійного силових елементів.

Дослідження, виконані в даній роботі, по створенню методу удосконалення вибору силових елементів при розробці конструкції ДСОК були виконані за допомогою програмної реалізації в середовищі Python відповідно до графічної моделі, представленої на рис. 5.

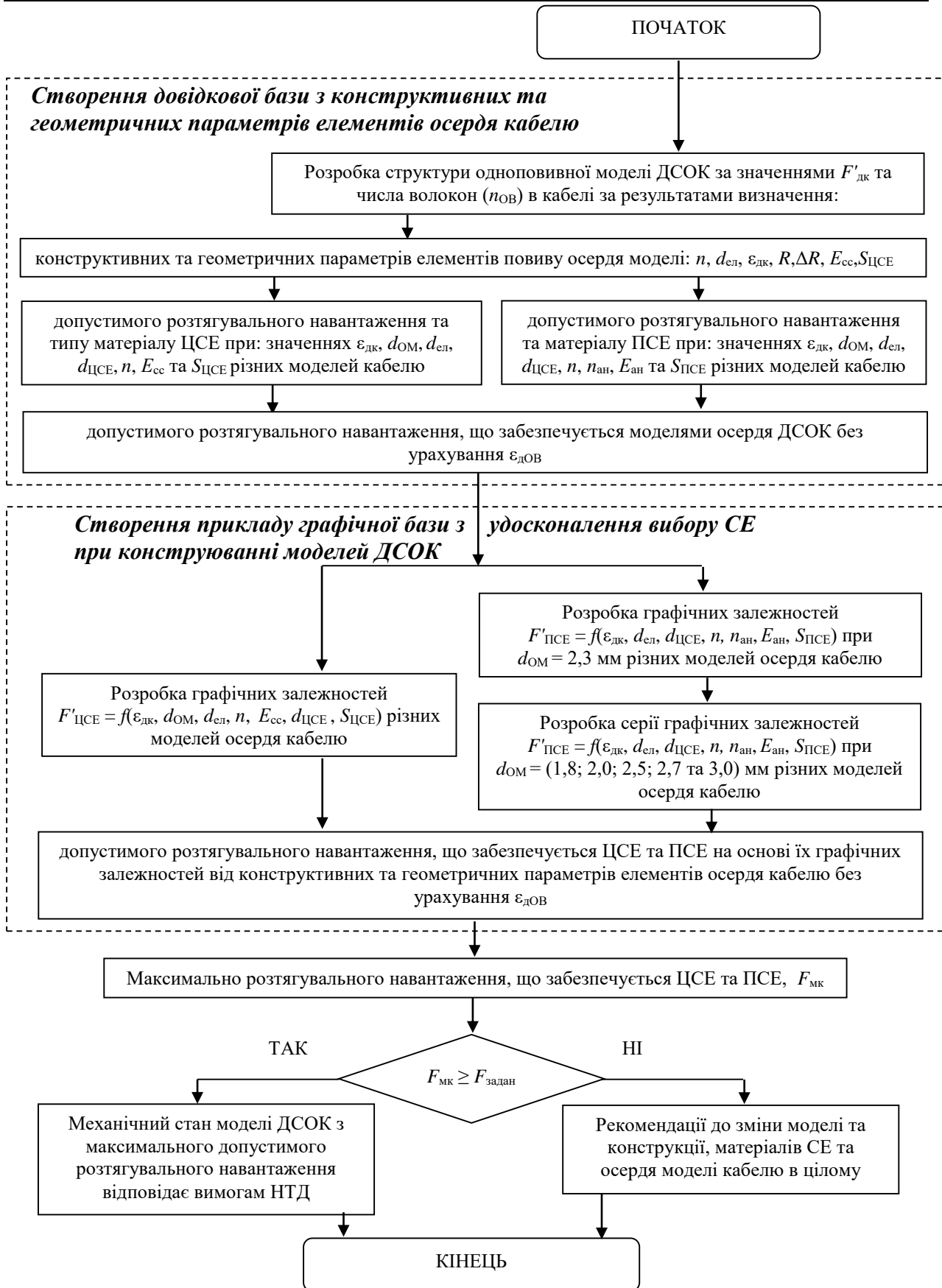


Рис. 5. Графічна модель реалізації методу удосконалення вибору силових елементів при розробці моделі осердя конструкції ДСОК

Висновки

1. В роботі розроблено метод удосконалення вибору силових елементів одноповивних моделей конструкції на прикладі ДСОК модульного типу шляхом визначення залежностей максимально допустимого розтягувального навантаження кабелю, що забезпечується СЕ, від параметрів осердя його моделі.

2. Отримана графічна модель реалізації методу дозволяє на практиці створювати нормативно-технічну документацію по розробці оптимальних одноповивних конструкцій ОК ємністю до 144 волокон.

3. Проведені дослідження з удосконалення вибору силових елементів ДСОК дозволили встановити, що залежності розтягувальних навантажень, які забезпечуються ЦСЕ та ПСЕ, мають різний характер. Крім того, діаметр ЦСЕ є визначальним параметром осердя кабелю при визначенні величини $F'_{\text{ЦСЕ}}$ та $F'_{\text{ПСЕ}}$.

4. Наведений приклад з дослідження прискороного вибору СЕ осердя моделей конструкції ДСОК, встановив, що:

– результати розрахунку розтягувальних навантажень $F'_{\text{ЦСЕ}}$ і $F'_{\text{ПСЕ}}$ показали, що використання арамідних ниток в якості ПСЕ дає вклад в загальну величину максимального допустимого розтягувального навантаження приблизно на порядок більший, ніж склопластикового стержня ЦСЕ;

– останнє не є приводом для відмови використання склопластикового стержня для ЦСЕ, адже існують інші види механічних навантажень, таких як згинальні і роздавлювальні навантаження на кабель та конструктивні функції, які забезпечує склопластиковий стержень ЦСЕ;

– при правильному виборі ЦСЕ осердя можлива оптимізація конструкції ДСОК;

5. Використання отриманих залежностей між розтягувальними навантаженнями, що забезпечуються силовими елементами кабелю, та параметрами моделі конструкції (діаметром ЦСЕ, кількістю елементів повиву, кількістю арамідних ниток ПСЕ тощо) дозволяють на етапі розробки кабелю значно скоротити час вибору оптимальних силових елементів, структуру осердя та параметри інших конструктивних елементів кабелю для забезпечення заданого МДРН та зменшення повної собівартості кабелю.

Література

1. Високошвидкісні волоконно-оптичні лінії зв'язку: навч. посіб. / [Розорінов Г.М., Солов'єв Д.О.] – 2-е вид., перероб. і допов. – Київ: Кафедра, 2012. – 344 с.
2. Fiber Optic Cables – Fundamentals, Cable Design, System Planning. 4th edition / [Mahlke G., Gossing P.] – MCD Corporate Publishing, Munich, 2001. – 302 p.
3. Волоконно-оптичний зв'язок / [Каток В.Б., Руденко І.Е., Ранський Є.Г., Одрог П.М.] – Київ: Логос, 2015. – 481 с.
4. Johnson R. Advances in Optical Fiber Cable Design for Harsh Environments / R. Johnson, S. Lee // Optical Fiber Technology, 2022. – № 45. – P. 202 – 210.
5. Brown A. Mechanical Properties of ADSS Cables in High Wind Environments / [A. Brown, T. Williams, P. Green] – IEEE Transactions on Power Delivery, – 2020. – 35(1). – P. 45 – 53.
6. Бондаренко О.В. Методика забезпечення конструктивної стійкості підземних оптичних кабелів до розтягувальних навантажень / О.В.Бондаренко, Д.М. Степанов, Д.Г. Багачук, В.І. Тіхонов, О.О. Вербицький // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2016.– Вип. №4. – С.5 – 11.
7. Бондаренко О.В. Метод оптимізації багатомодульної конструкції осердя оптичних кабелів / О.В. Бондаренко, Д.М. Степанов, А.А. Боярова // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – Одеса, 2013. – Вип. № 1. – С. 99 – 106.
8. Бондаренко О.В. Удосконалення процесу вибору силових елементів конструкції волоконно-оптичного кабелю / О.В. Бондаренко, Д.М. Степанов, О.О. Вербицький // Матеріали 16-ї міжнародної науково-технічної конференції «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах». м. Одеса (Затока), 10-15 червня 2016 р. – С. 167 – 169.
9. Fujikura Ltd. Fiber Optic Cables [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.optic-product.fujikura.com/optical-fiber-cables/en/products/outdoor-wtc-144-6912f/> (дата звернення 20 жовтня 2024).
10. OFS. Communication Fiber Optic Cables [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://fiber-optic-catalog.ofsoptics.com/Products/Communications-Fiber-Optic-Cables-3100100138> (дата звернення 20 жовтня 2024).
11. Sumitomo Electric. Optical Cables [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://global-sei.com/ftx/highfibercount/opticalcables/> (дата звернення 20 жовтня 2024).
12. Corning Inc. Fiber Optic Cables [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.corning.com/optical-communications/worldwide/en/home/products/fiber-optic-cables.html> (дата звернення 20 жовтня 2024).
13. ПАТ «Одескабель». Волоконно-оптичні кабелі [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://odeskabel.com/en/products/vok-kabeli.html> (дата звернення 20 вересня 2024).
14. ПАТ «Завод «Південкабель»». Волоконно-оптичні кабелі [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.yuzhcable.info/index.php?CAT=50&ENG=1> (дата звернення 20 вересня 2024).

References

1. Vysokoshvydkisni volokonno-optychni linii' zv'jazku: navch. posib. / [Rozorinov G.M., Solov'ov D.O.]. – 2-e vyd., pererob. i dopov. – Kyi'v: Kafedra, 2012. – 344 s.
2. Fiber Optic Cables – Fundamentals, Cable Design, System Planning. 4th edition / [Mahlke G., Gossing P.] – MCD Corporate Publishing, Munich, 2001. – 302 p.
3. Volokonno-optychnyj zv'jazok / [Katok V.B., Rudenko I.E., Rans'kyj Je.G., Odnorog P.M.] – Kyi'v: Logos, 2015. – 481 s.

4. Johnson R. Advances in Optical Fiber Cable Design for Harsh Environments / R. Johnson, S. Lee // *Optical Fiber Technology*, 2022. – № 45. – R. 202 – 210.
5. Brown A. Mechanical Properties of ADSS Cables in High Wind Environments / [A. Brown, T. Williams, P. Green] – *IEEE Transactions on Power Delivery*, – 2020. – 35(1). – R. 45 – 53.
6. Bondarenko O.V. Metodyka zabezpechennja konstruktyvnoi' stijkosti pidzemnyh optychnyh kabeliv do rozjtjagual'nyh navantazhen' / O.V. Bondarenko, D.M. Stepanov, D.G. Bagachuk, V.I. Tihonov, O.O. Verbyc'kyj // *Visnyk Cherkas'kogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu*. – 2016. – Vyp. №4. – S.5 – 11.
7. Bondarenko O.V. Metod optymizacii' bagatomodul'noi' konstrukcii' oserdja optychnyh kabeliv / O.V. Bondarenko, D.M. Stepanov, A.A. Bojarova // *Naukovi praci ONAZ im. O.S. Popova*. – Odesa, 2013. – Vyp. № 1. – S. 99 – 106.
8. Bondarenko O.V. Udokonalennja procesu vyboru sylovyh elementiv konstrukcii' volokonno-optychnogo kabelju / O.V. Bondarenko, D.M. Stepanov, O.O. Verbyc'kyj // *Materialy 16-i' mizhnarodnoi' naukovno-tehnichnoi' konferencii' «Vymirjuval'na ta obchysljuval'na tehnika v tehnologichnyh procesah»*. m. Odesa (Zatoka), 10-15 chervnja 2016 r. – C. 167 – 169.
9. Fujikura Ltd. Fiber Optic Cables [Elektronnyj resurs]. Rezhym dostupu: <https://www.optic-product.fujikura.com/optical-fiber-cables/en/products/outdoor-wtc-144-6912f/> (data zvernennja 20 zhovtnja 2024).
10. OFS. Communication Fiber Optic Cables [Elektronnyj resurs]. Rezhym dostupu: <https://fiber-optic-catalog.oftoptics.com/Products/Communications-Fiber-Optic-Cables-3100100138> (data zvernennja 20 zhovtnja 2024).
11. Sumitomo Electric. Optical Cables [Elektronnyj resurs]. Rezhym dostupu: <https://global-sei.com/ftx/highfibercount/opticalcables/> (data zvernennja 20 zhovtnja 2024).
12. Corning Inc. Fiber Optic Cables [Elektronnyj resurs]. Rezhym dostupu: <https://www.corning.com/optical-communications/worldwide/en/home/products/fiber-optic-cables.html> (data zvernennja 20 zhovtnja 2024).
13. PAT «Odeskabel». Volokonno-optychni kabeli [Elektronnyj resurs]. Rezhym dostupu: <https://odeskabel.com/en/products/vok-kabeli.html> (data zvernennja 20 veresnja 2024).
14. PAT «Zavod «Pivdenkabel'»». Volokonno-optychni kabeli [Elektronnyj resurs]. Rezhym dostupu: <https://www.yuzhcable.info/index.php?CAT=50&ENG=1> (data zvernennja 20 veresnja 2024).