

УДК 621.315

В.Ю. Розанов, В.І.Абрамов

Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського, м.Київ

ПРУЖНОПЛАСТИЧНЕ ДЕФОРМУВАННЯ ГІЛЬЗИ ЗАКІНЦОВУВАЧА ІЗОЛЯТОРА

Міцність стрижневого полімерного ізолятора визначають геометричні параметри, а також технологія його виготовлення. Науково обґрунтована методика розрахунку тиску опресування гільзи металевого закінцювача на склопластиковому стрижні потребує доопрацювання з врахуванням пружно-пластичного деформування металу.

Певні засоби прогнозування зусилля опресування були запропоновані в монографії [1] та статтях [2-4]. Але ці засоби базуються на пружній моделі поведінки матеріалу закінцювача і не враховують значні пластичні деформації, які мають місце у реальному технологічному процесі опресування.

Метою цього дослідження є розробка аналітичних співвідношень визначення тиску опресування.

Лінійний полімерний ізолятор містить склопластиковий стрижень з розвинутою ізолюючою силіконовою оболонкою [4]. На обидва кінці стрижня напресовані металеві закінцювачі за допомогою гідравлічного преса.

Гільза закінцювача, що напресована на склопластиковий стрижень, витримує осьові розтягові навантаження за рахунок сили тертя між зовнішньою поверхнею склопластикового стрижня і напресованою на нього внутрішньою поверхнею гільзи.

Невелике спрощення конструкції закінцювача дозволяє представити його як товстостінний циліндр скінченої довжини, що піддається зовнішньому тиску при виготовленні ізолятора [2, 4]. Вважаємо склопластиковий стрижень набагато менш жорсткішим, ніж матеріал закінцювача. Впливом склопластикового стрижня на режим опресування нехтуємо. На рис.1 представлено розрахункову схему деформування гільзи закінцювача.

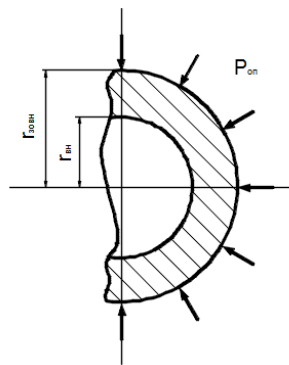


Рис.1. Розрахункова схема деформування закінцювача:

$r_{\text{зовн}}$, $r_{\text{вн}}$ – зовнішній та внутрішній радіуси гільзи закінцювача, $P_{\text{он}}$ – тиск опресування

Питанням пластичного деформування товстостінних циліндрів під дією внутрішнього тиску присвячено [5-7].

Розглянемо напружено-деформований стан (НДС) гільзи закінцювача під дією зростаючого зовнішнього тиску [5, 6]. При цьому скористаємося моделлю Прандтля механічної поведінки матеріалу, тобто будемо вважати матеріал закінцювача ідеально пружно-пластичним без зміцнення, виходячи з умови його нестисливості. Отримаємо інженерне співвідношення для визначення тиску деформування

$$P_{\text{он}} = \sigma_T \ln \left(\frac{r_{\text{вн}}}{r_{\text{зовн}}} \right). \quad (1)$$

Якщо скористатися умовою пластичності Мізеса $\sigma_\theta - \sigma_r = 2/\sqrt{3} \sigma_T$, то співвідношення (1) прийме вигляд

$$P_{on} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_T \ln \left(\frac{r_{вн}}{r_{зовн}} \right). \quad (2)$$

Таким чином, оцінка технологічного параметру тиску деформування при використанні співвідношень (1) та (2) відрізняється на 15,4%.

На практиці в конструкціях закінцювачів полімерних ізоляторів використовують різні металеві сплави, в тому числі матеріали, властивості яких можна з певним наближенням характеризувати діаграмою з лінійним зміцненням без площадки текучості [7].

Будемо вважати, що ці матеріали також нестисливі та осьова деформація дорівнює нулю.

Перетворимо рівняння рівноваги з врахування інтенсивності напружень для плоского деформованого стану у полярних координатах $\sigma_i = \sqrt{3}/2 (\sigma_\theta - \sigma_r)$ до виду:

$$\frac{d\sigma_r}{dr} = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{\sigma_i}{r}. \quad (3)$$

За відсутності площадки текучості для нестисливого матеріалу маємо

$$\sigma_i = \lambda \sigma_T + E_T \varepsilon_i, \quad (4)$$

де $\lambda = 1 - E_T/E$ - параметр зміцнення, E_T - модуль зміцнення.

Тиск опресування, тобто зовнішній тиск при якому весь матеріал закінцювача перейде в пластичний стан, визначимо при $r_t = r_1$

$$P_{on} = \frac{\sigma_T}{\sqrt{3}} \left(2\lambda \ln \frac{r_{вн}}{r_{зовн}} + (1-\lambda) \frac{r_{вн}^2}{r_{зовн}^2} - 1 + \lambda \right). \quad (5)$$

Таким чином, запропоновано співвідношення (1), (2), (5) для визначення рівня тиску деформування гільзи закінцювача з використанням різних критеріїв пластичності та моделей механічної поведінки матеріалів.

Порівняємо оцінку тиску опресування за різними співвідношеннями. Для виготовлення закінцювачів рекомендується застосовувати вуглецеву сталь з границею текучості 245-400 МПа, модулем пружності 210 ГПа, параметр зміцнення $\lambda = 0.977$.

У таблиці 1 наведено розрахункові величини тиску опресування за різними аналітичними формулами (1), (2) та (5).

Таблиця 1. Розрахункові величини тиску опресування за різними аналітичними формулами

Клас механічного навантаження ізолятора	$\frac{r_{вн}}{r_{зовн}}$	Тиск опресування, МПа		
		(1)	(2)	(5)
70 кН	0,53	155	179	173
120 кН	0,48	179	207	205

Довжина поверхні, по якій відбувається опресування, дорівнює 50 мм, зовнішній діаметр – 26 мм. Відповідно площа поверхні опресування F складає $8,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$. Зусилля пресу (у тоннах) при опресуванні закінцювача ізолятора класу 70 кН визначимо як добуток розрахованого за формулою (6) тиску та площі поверхні, до якої прикладено цей тиск:

$$P = P_{on} \cdot F = 179 \cdot 10^6 \text{ Па} \times 4,05 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 = 725 \text{ кН} \approx 74 \text{ тонн}.$$

Аналогічно для ізоляторів класу 120 кН ($l_A=70$ мм, зовнішній діаметр закінцювача – 35 мм, тиск – 207 МПа) зусилля пресу складе приблизно 162 тонни.

Висновки:

Таким чином, ми визначили рівень тиску опресування гільз закінцювачів ізоляторів. За співвідношеннями (2) та (5) ми отримуємо близькі результати, але формула (1) простіша у

використанні. Тому рекомендуємо використовувати саме її в прикладних інженерних розрахунках.

Список використаних джерел

1. Шидловский А.К. и др. Высоковольтные полимерные изоляторы. – К.: Сучасність, 2008. – 253с.
2. Абрамов В.И. Напряженно-деформированное состояние силового узла полимерного изолятора // Энергетика и электрификация. - 2015. - №4. - с.33-36
3. Абрамов В.И. Новые технические решения в производстве полимерных изоляторов // Энергетика и электрификация. - 2016. - №2. - с.24-28.
4. Абрамов В.І. Методика розрахунку параметрів силового вузла полімерного ізолятора // Енергетика та електрифікація. - 2017. - №2. - с.31-34.
5. Корнілов О. Опір матеріалів. Підручник. – Київ: Логос, 2002. – 562с.
6. Уравнения и краевые задачи теории пластичности и ползучести. Справочное пособие / Писаренко Г.С., Можаровский Н.С. – Киев: Наук.думка, 1981. – 496с.
7. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести / Учебник для студентов вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение. – 1975. – с.400.