

Ю.П. АНТОНЕЦЬ, А.А. ШУРУПОВА, Л.А. ЩЕБЕНЮК, О.В. ГОЛИК

## ТЕХНОЛОГІЧНА ВИТЯЖКА – ФАКТОР ВПЛИВУ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЗАХИСНИХ ПОКРИВІВ З БЕЗГАЛОГЕННИХ ПОЛІМЕРІВ У КАБЕЛЬНИХ ВИРОБАХ

Механічна міцність високо наповнених безгалогенних пластмас в експлуатації безпосередньо залежить від технології накладання при виготовленні кабельних виробів у пожежебезпечному виконанні. Представлено результати оцінки відносної деформації видовження при одноосному розтягуванні зразків наповнених безгалогенних пластмас, вилучених з оболонки готових кабелів при нормативних випробуваннях в умовах виробництва. Показано, що внутрішній і зовнішній шари оболонки з наповненої безгалогенної пластмаси мають суттєво різні значення нормативного параметру пластичності: свідчення відмінностей в структурі полімеру у внутрішніх і зовнішніх шарах оболонки в наслідок технологічного процесу примусового деформування при екструзії. Наведені експериментальні залежності відносної деформації видовження при розриві (elongation at break) від товщини зразка, що свідчать про значний вплив вимушеної (примусової) орієнтації полімерної структури. Співставлення оцінок відносного розсіювання результатів вимірювань питомої маси  $\gamma$  і відносного видовження при розриві  $\delta$  ставить питання про анізотропію пластичності готової оболонки кабелю. Одержані результати вказують на можливість руйнування оболонки з наповнених безгалогенних пластмас по твірній циліндра захисного покриття в умовах експлуатації. Відповідно про необхідність впровадження додаткового контролю нормативних параметрів зразків, в напрямі нормального до напрямку примусової орієнтації, при прийнятті рішень щодо вдосконалення технології екструзії.

**Ключові слова:** оболонки кабелів, безгалогенні полімерні композиції, деформація видовження, одноосне розтягування, внутрішній і зовнішній шари оболонки.

Ju.A. ANTONETS, A. A. SHURUPOVA L. A. SHCHEBENIUK, O.V. GOLIK

## THE MECHANICAL STRENGTH OF WHICH IN OPERATION DIRECTLY OF THE INTRODUCTION INTO HIGHLY FILLED HALOGEN-FREE PLASTICS PRODUCTION

With the introduction into highly filled halogen-free plastics production, the mechanical strength of which in operation directly depends on the flame retardant content and application technology, it becomes important to control the cable sheath mechanical characteristics in a fireproof design. Polymeric materials and their compositions are viscoelastic materials for which the mechanical properties depend on the technological process of extrusion. The results of estimating the elongation at break of samples from the uniaxial stretching. It is shown that the inner and outer layers of the halogen-free plastic cable sheath have significantly different values of the plasticity normative parameter: differences evidence in the polymer structure in the inner and outer layers of the sheath due to the forced deformation process during extrusion, which is forced polymer structure orientation. It is shown that the inner and outer layers of the halogen-free plastic cable sheath have significantly different values of the relative change in specific mass of polymer samples. Analysis of the statistical covariance of the relative elongation at break and of the relative change in specific mass of polymer samples different in structure similar filled halogen-free polymers. With the introduction into highly filled halogen-free plastics application technology, it becomes important to control the cable sheath mechanical characteristics in fireproof design for the inner and outer layers

**Key words:** halogen-free cable polymer compositions, elongation at break, relative change in specific mass, uniaxial stretching

**Актуальність** роботи зумовлена тим, що використання безгалогенних полімерних композицій забезпечує пожежну безпеку інноваційних конструкцій силових кабелів при цьому виключаючи використання екологічно небезпечних полівінілхлоридних пластикатів у захисних покриттях кабелів. Стійкість безгалогенних полімерних композицій до механічних навантажень впродовж терміну їх експлуатації тісно пов'язана з явищем релаксації – процесом поступової зміни внутрішніх напружень в попередньо деформованому полімерному матеріалі і тому організація технологічного контролю забезпечення механічної міцності елементів конструкції, виготовлених з безгалогенних пластмас в умовах конкретного виробництва – актуальна задача організації виробництва пожежебезпечних кабелів.

**Проблема** полягає в тому, що механічна міцність безгалогенних пластмас в експлуатації безпосередньо залежить і від вмісту антипірену, і від технологічного процесу накладання пластмаси в умовах конкретного виробництва. Цей процес по суті свій є примусовим деформуванням полімерної композиції (примусовою орієнтацією) при підвищених температурах з подальшим охолодженням в деформованому стані. Нормативна процедура визначення механічних характеристик кабельних пластмас в умовах виробництва [1] передбачає визначення ряду характеристик (максимальне

розтягувальне зусилля  $P_m$ , maximum tensile force; міцність під час розтягування  $\sigma_m$ , tensile strength; відносне видовження при розриві  $\delta$ , elongation at break), але всі вони є параметрами, що характеризують короточасну механічну міцність, тобто міцність в умовах руйнування зразка. Це критично важливо, але недостатньо з огляду на те, що довговічність в експлуатації визначає, в першу чергу, процес релаксації внутрішніх напруженостей в попередньо деформованих полімерах, який тісно пов'язаний з їх внутрішньою структурою. При короточасних навантаженнях флукуаційна сітка полімеру не розпадається а лише розтягується, а руйнування локалізоване в місці дефекту. В експлуатації тривалі відносно слабші навантаження зумовлюють поступовий розпад вузлів флукуаційної сітки полімеру і переміщення сегментів його макромолекул. Тобто безпосередньо пов'язані з його надмолекулярною структурою, яка формується в процесі примусового деформування полімерної композиції (примусовою орієнтацією) при підвищених температурах з подальшою фіксацією примусової орієнтації при охолодженні в деформованому стані. Те, що внутрішній і зовнішній шари оболонки кабелю з наповненої безгалогенної пластмаси мають суттєво різні значення нормативного параметру пластичності відносного видовження при розриві (elongation at break) [1] є свідченням про різну надмолекулярну структуру в

© Ю.П. Антонєць, А.А. Шурупова, Л.А. Щєбенюк, О.В. Голик, 2023

шарах оболонки, що формується саме в процесі виготовлення і визначає механічну міцність в експлуатації. Це є свідченням, по-перше, відмінностей в структурі полімеру у внутрішніх і зовнішніх шарах оболонки і, по-друге, відмінності внутрішніх механічних напруженостей в цих шарах [2].

Кінечною метою технологічного контролю є зменшення рекламційного потенціалу продукції, тобто зменшення відносної вартості реалізованої продукції через затрати на рекламції. Оскільки деформування і релаксація орієнтованих полімерів значною мірою залежить від технології їх накладання, пошук контрольних параметрів пов'язаних з їх внутрішньою структурою і аналіз їх взаємозалежності з нормованими механічними характеристиками кабельних пластмас є необхідною складовою технологічного контролю в умовах виробництва пожежебезпечних кабелів.

**Аналіз літератури.** Найбільш загальною теорією вирішення задач визначення механічної міцності полімерних матеріалів є теорія в'язкопружності Больцмана, згідно з якою саме полімерні матеріали і їх композиції є в'язкопружними, для яких залежність між напруженням і деформацією включає час. В [2] основними виділено чотири види деформації полімерних матеріалів:

1) При короткочасних навантаженнях флуктуаційна сітка полімеру не розпадається а лише розтягується, що є наслідком зміни валентних зв'язків або кутів, тобто з малою зміною міжмолекулярних та міжатомних відстаней. Це пружна деформація  $\epsilon_{пр}$ , яка розповсюджується в матеріалі практично миттєво.

2) Більш тривалі навантаження характерні для нормативних методів визначення механічних властивостей полімерних матеріалів [1] викликають розпад вузлів флуктуаційної сітки і переміщення сегментів макромолекули (ковзання). Це в'язко пружна (затримана [2]) деформація  $\epsilon_{вп}$ , яка за абсолютною величиною може (в багато разів) перевищувати пружну.

3) Миттєво-пластична (незворотна)  $\epsilon_{пл}$ , виникає одначасно з миттєво пружною.

4) При тривалих навантаженнях виникає незворотна в'язка деформація (типу течії)  $\epsilon_{т}$ .

Перші три названі види збігаються в часі і в практиці їх об'єднує поняття в'язко пружна деформація, оскільки за абсолютною величиною значно переважає саме вона. Це зумовило пошуки моделі, яка б давала опис експериментальних кривих повзучості, – залежностей деформації від дії напруження впродовж заданого часу [2, 3, 4, 6]: від узагальненої моделі Максвелла для набору пружних та в'язких елементів із різним часом релаксації для останніх, через віранти моделі Кельвіна-Фойгта (не описують незворотні деформації) та комбіновані моделі з послідовним та паралельним з'єднанням в'язких та пружних елементів (приклад модель Бюргерса) до теорії спадкової в'язко-пружності Больцмана. Згідно з нею деформація в'язко-пружного тіла при дії напруження, що змінюється безперервно, в момент часу  $t$  визначається напруженням в цей момент  $\sigma(t)$  плюс вплив деформацій, що виникли в попередній період часу від 0 до  $t$ , і вплив їх на поточну деформацію тим менший, чим більша різниця  $t - s$  [2, 3]:

$$\epsilon(t) = \sigma(t)/E + E^{-1} \int K(t-s) \sigma(s) ds, \quad (1)$$

де  $E$  – модуль пружності;  $K(t)$  – функція впливу напружень  $\sigma(s)$  в момент часу  $s$  на деформацію в момент часу

$t$ ,  $K(t)$  пропорційна швидкості деформування при напруженнях, менших за ті, які викликають помітну остаточну деформацію.

Для практичних застосувань у кабельній техніці важливо, що стійкість полімерів до механічних навантажень впродовж терміну їх експлуатації тісно пов'язана з явищем релаксації – процесом поступової зміни внутрішніх напружень в попередньо деформованому полімерному матеріалі, а технологія накладання такого матеріалу в умовах виробництва і є процесом його деформування, яке по суті своїй є вимушеною (примусовою) орієнтацією. Деформування і релаксація орієнтованих полімерів значною мірою залежить від технології накладання.

**Мета роботи.** Експериментальне дослідження механічних характеристик безгалогенних кабельних пластмас за нормативної процедури їх визначення в умовах виробництва на зразках, вилучених з готових кабельних виробів у пожежебезпечному виконанні. Аналіз впливу розташування зразка в готовому конструктивному елементі кабелю, виготовленому із безгалогенної кабельної пластмаси (захисна оболонка, ізоляція), на його механічні характеристики, в першу чергу на відносну деформацію видовження при розриві  $\delta$  (elongation at break). Порівняння впливу розташування зразка в готовому виробі на його механічні характеристики, з одного боку, з впливом розташування зразка в готовому виробі на його питому масу  $\gamma$  з іншого, оскільки  $\gamma$  відображає структуру полімеру, що формується в процесі вимушеної технологічної витяжки. Результатом дослідження має бути рекомендація щодо доцільності розширення нормативної процедури лабораторного контролю механічних характеристик кабельних безгалогенних пластмас шляхом додавання до неї питомої маси  $\gamma$  параметру, чутливого до структури полімеру в готових пожежебезпечних виробках.

**Основні результати.** Експериментальну роботу проведено на базі центральної заводської лабораторії ПАТ «ЗАВОД ПІВДЕНКАБЕЛЬ» за участі студентів з кафедри «Електроізоляційна і кабельна техніка» НТУ «ХПІ». Досліджено безгалогенні компаунди фірми Condor Compaunds GmbH.

На рис. 1 представлено характерні функції розподілу відносного видовження при розриві  $\delta$  зразків, вирізаних з оболонки готового кабелю і розташованих в різних її шарах (див. рис.2).

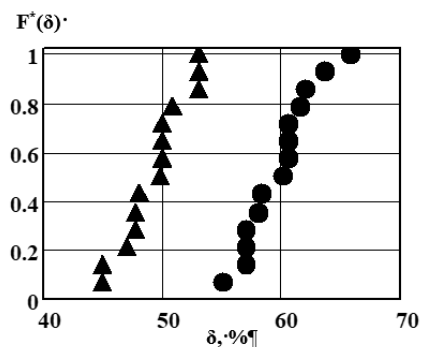


Рис. 1 – Емпіричні функції розподілу  $F^*(\delta)$  відносного видовження при розриві  $\delta$  зразків, вирізаних з оболонки готового кабелю: ● – біля зовнішньої поверхні; ▲ – біля внутрішньої поверхні екструдованого циліндру



Рис. 2 – Ілюстрація результату вирізання заготовок стандартної товщини для зразків твердого полімера з готового кабельного виробу: рис.1 відображає суттєву різницю параметру пластичності  $\delta$  залежно від розташування

Залежності міцності при розтягуванні  $\sigma_m$  від товщини  $t$  зразка залежно від розташування їх в готовому захисному покритті наведено на рис. 3

$\sigma_m$ , МПа: міцність при розтягуванні (tensile strength)

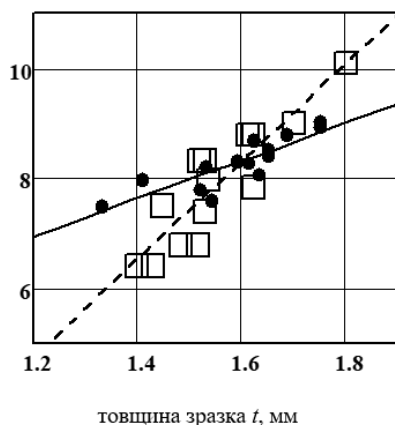


Рис. 3 – Залежність міцності при розтягуванні  $\sigma_m$  від товщини  $t$  зразка оболонки готового кабелю розташованого біля зовнішньої (чорні точки) чи біля внутрішньої (квадрати) поверхні екструдованого циліндру

Міцність при розтягуванні залежить від товщини  $t$  і в середньому не залежить від того де розташований зразок у готовому виробі біля зовнішньої чи біля внутрішньої поверхні екструдованого циліндру; відповідна різниця в нахилі прямих апроксимації не змінює середній показник, але свідчить про суттєву різницю в дисперсії, а саме дисперсія визначає оцінку відсотку продукції, що виходить за межі нормативу, тобто рекламатий потенціал продукції.

Відносне видовження після розриву  $\delta$  залежить суттєво від того де розташований зразок у готовому виробі: біля зовнішньої чи біля внутрішньої поверхні екструдованого циліндру, що в однаковому діапазоні товщин і однакової залежності від товщини всі значення параметра пластичності  $\delta$  належать різним діапазорам:

біля внутрішньої поверхні екструдованого циліндру: 44 % ... 53%;

біля зовнішньої поверхні екструдованого циліндру: 55 % ... 66% (рис.4).

$\delta$  % : відносне видовження при розриві (elongation at break)

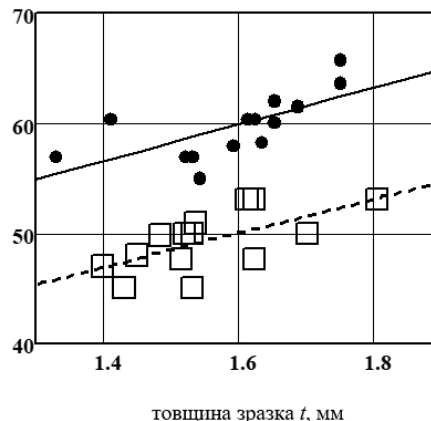


Рис.4 – Залежність відносного видовження після розриву  $\delta$  залежить суттєво від того де розташований зразок у готовому виробі: біля зовнішньої (чорні точки) чи біля внутрішньої (квадрати) поверхні екструдованого циліндру

Те що залежність міцності при розтягуванні  $\sigma_m$  від товщини  $t$  в середньому не залежить від того де розташований зразок у готовому виробі, але відповідна різниця в нахилі прямих апроксимації свідчить про суттєву різницю в розсіянні  $\sigma_m$  (дисперсії цього параметру), є в першу чергу результатом розрахунку параметру  $\sigma_m$  (tensile strength) відповідно до стандартної процедури випробувань, за якою  $\sigma_m = P_m/F$ , де  $P_m$  це максимальне розтягувальне зусилля (maximum tensile force),  $F$  це площа поперечного перерізу зразка, прямо пропорційна товщині  $t$  до випробування, стабільність якої в умовах вирізання зразків з готового виробу (циліндру) не перевищує  $\pm 0,05$  мм.

Розрахунок відносного видовження після розриву  $\delta$  (elongation at break) не містить значення товщини  $t$  до випробування. Тому порівняння різниці нахилу прямих апроксимації на рис. 1 і рис. 2 засвідчує необхідність дисперсійного аналізу впливу розташування полімерного матеріалу в готовому виробі на параметр  $\delta$ , але шляхом вимірювання параметрів, що відображають структуру полімерного матеріалу незалежно від товщини зразка. Наприклад шляхом вимірювання питомої маси зразка  $\gamma$  (рис. 5).

Рис. 5 є очевидним свідченням зменшення питомої маси полімерного матеріалу у зовнішніх шарах циліндру готової оболонки в процесі її виготовлення, що є результатом вимушеної витяжки полімеру в напрямі руху кабелю в процесі екструзії біля зовнішньої поверхні оболонки через полегшення переміщення макромолекул як з геометричних міркувань, так і через додатковий підігрів в головці екструдера саме зовнішніх шарів матеріалу.

Наскільки додаткова вимушена витяжка полімеру біля зовнішньої поверхні готової оболонки, пов'язана із суттєво більшим відносним видовженням після розриву  $\delta$  (параметр пластичності на рис. 4) в цій області кількісно відображає статистична коваріація питомої маси  $\gamma$  і  $\delta$ .

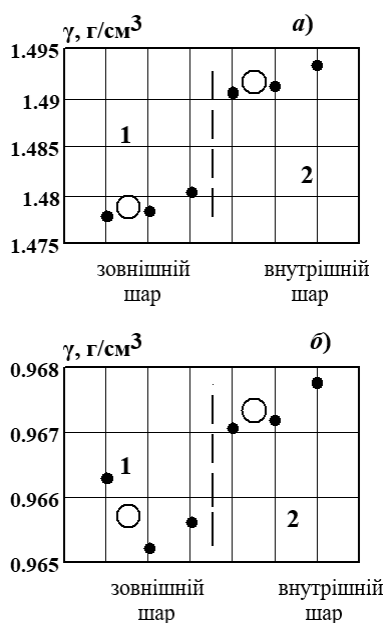


Рис.5 – Полігони значень питомої маси  $\gamma$  полімеру (чорні точки) для стандартних зразків, вирізаних з різни шарів оболонки кабелю, виготовленої з різних полімерних матеріалів: *a*) високо наповнена безгалогенна пластмаса; *b*) шланговий поліетилен

Кількісною характеристикою взаємозалежності двох одномірних випадкових величин  $\xi$  і  $\eta$  є їх коваріація: математичне сподівання добутків відхилень всіх значень кожної з них від її математичного сподівання:

$$\text{cov}(\xi, \eta) = M(\xi - M\xi)(\eta - M\eta). \quad (1)$$

Відповідно  $\text{cov}(\xi, \eta)$  є характеристикою із складною розмірністю і може приймати як від'ємні, так і додатні значення. Значення і розмірність статистичної міри спільної мінливості двох випадкових величин, визначеної цією формулою є чутливими до розмірності вихідних масивів даних. Тому для аналізу взаємозалежності в даному разі питомої маси  $\gamma$  і відносного видовження при розриві  $\delta$  зразків матеріалу оболонки з різни шарів, доцільно використати замість значень  $\gamma$  і  $\delta$  поточні оцінки їх відносного розсіяння результатів вимірювань:

$$\Delta\gamma = (\gamma_i - \gamma_{i-1}) / \gamma_{i-1}; \quad \Delta\delta = (\delta_i - \delta_{i-1}) / \delta_{i-1}, \quad (2)$$

де  $i$  – номер вимірювання у відповідному статистичному ансамблі ( $i = 0 \dots 5$ ), причому кількість оцінок за формулою (2) менша на одне вимірювання..

Коваріація поточних оцінок відносного розсіяння результатів вимірювань  $\Delta\gamma$  і  $\Delta\delta$  для питомої маси  $\gamma$  і відносного видовження при розриві  $\delta$  за (2) крім незалежності від конкретних одиниць вимірювання параметрів є інформацією про взаємозалежність відносних дисперсій цих параметрів, тобто важливою складовою дисперсійного аналізу:

$$\text{cov}(\Delta\gamma, \Delta\delta) = M[(\Delta\gamma - M\Delta\gamma)(\Delta\delta - M\Delta\delta)]. \quad (3)$$

Відповідні графіки наведено на рис. 6.

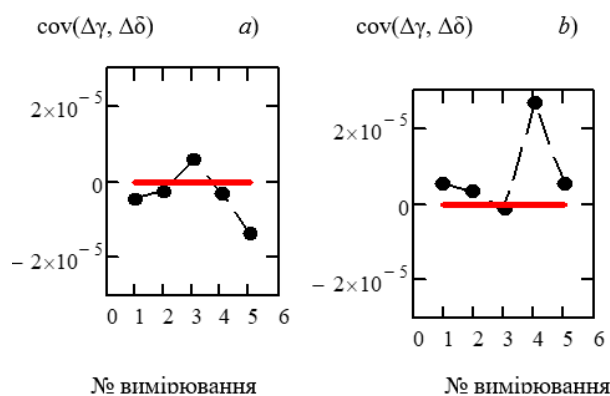


Рис. 6 – Коваріація поточних оцінок відносного розсіяння результатів вимірювань  $\Delta\gamma$  і  $\Delta\delta$  для питомої маси  $\gamma$  і відносного видовження при розриві  $\delta$  за формулою (3) зразків матеріалу оболонки, вирізаних з різни шарів:

*a*) зовнішній шар; *b*) внутрішній шар:

*a*) оцінки коваріації крім однієї є від'ємними, – відхилення від середнього протилежних знаків;

*b*) всі відхилення від середнього з однаковим знаком

Інформація про взаємозалежність поточних оцінок  $\Delta\gamma$  і  $\Delta\delta$  від нуля (червоні лінії) свідчить про принципову відмінність зовнішніх і внутрішніх шарів готової оболонки:

– знаки окремих оцінок розсіяння від нуля для зовнішніх шарів оболонки різні (*a*): кореляція між розсіянням значень маси і пластичності не спостерігається (коефіцієнт кореляції – 0,168; середнє розсіяння відносно нуля – 4 відносних одиниць), що є свідченням неоднорідності структури полімеру;

– знаки окремих оцінок розсіяння від нуля у внутрішніх шарах оболонки (*b*) практично однакові: кореляція між розсіянням значень маси і пластичності достатньо висока (коефіцієнт кореляції + 0,747; середнє розсіяння відносно нуля +38 відносних одиниць), що є свідченням суттєво однорідної структури полімеру.

Таким чином те, що відносне видовження після розриву  $\delta$  залежить від того де розташований зразок у готовому виробі: біля зовнішньої чи біля внутрішньої поверхні екструдованого циліндру готової оболонки, підтверджує аналіз коваріації (взаємозалежності) відносного поточного розсіяння результатів відповідних вимірювань.

Структура полімеру радіально неоднорідна. Примусова витяжка в поверхневих шарах готової оболонки зумовлює більші значення відносного видовження після розриву  $\delta$  в напрямі руху кабелю при ошлангуванні, оскільки зразки для випробувань вирубуються штампом саме в цьому напрямі.

**Висновки.** 1. Основна нормативна характеристика пластичності відносно видовження після розриву  $\delta$  (elongation at break) матеріалу конструкції кабелю, виготовленому із безгалогенної пластмаси (захисна оболонка, ізоляція), залежить суттєво від того де розташований матеріал у готовому виробі: біля зовнішньої чи біля внутрішньої поверхні екструдованого циліндру: спостерігається анізотропія пластичності готової оболонки.

2. Структура полімеру радіально неоднорідна. Примусова витяжка в поверхневих шарах готової оболонки зумовлює більші значення відносного

видовження після розриву  $\delta$ , оскільки зразки для нормативних випробувань вирубуються штампом саме в цьому напрямі.

3. Зменшення питомої маси полімерного матеріалу у зовнішніх шарах циліндру готової оболонки в процесі її виготовлення, що є результатом вимушеної витяжки полімеру в напрямі руху кабелю в процесі екструзії біля зовнішньої поверхні оболонки через полегшення переміщення макромолекул як з геометричних міркувань, так і через додатковий підігрів в головці екструдера саме зовнішніх шарів матеріалу.

4. Кількісною характеристикою взаємозалежності двох одномірних випадкових величин  $\xi$  і  $\eta$  є їх коваріація – характеристика із складною розмірністю чутливою до розмірності вихідних масивів даних. Тому для кількісного порівняльного аналізу взаємозалежності в даному разі питомої маси  $\gamma$  і відносного видовження при розриві  $\delta$  зразків матеріалу оболонки з різни шарів, доцільно використати замість значень  $\gamma$  і  $\delta$  поточні оцінки їх відносного розсіяння результатів вимірювань.

5. Доцільним є розширення нормативної процедури лабораторного контролю механічних характеристик кабельних безгалогенних пластмас шляхом додавання до неї питомої маси  $\gamma$  параметру, чутливого до структури полімеру в готових пожежобезпечних виробках.

#### Список літератури

1. IEC 60811-501:2012. Electric and optical fibre cables – Test methods for non-metallic materials – Part 501: Mechanical tests – Test for determining the mechanical properties of insulating and sheathing compounds.
2. М.С. Шидловський. Нові матеріали: частина 1. Структура і механічні властивості конструкційних полімерів. – Навчальний посібник для вузів. – Київ: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Скоропадського». – 2017. – 192 с.
3. Золотарьов В.М. Системний підхід до управління якістю – фундамент перспективного розвитку підприємства / В.М. Золотарьов // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2002. – № 1. – С. 57–61.
4. Л.А. Щебенюк, С.А. Рябинин, А.И. Стурченко. К анализу зависимости механического напряжения от времени одноосного растяжения для образцов высоконаполненных антипиренами ПВХ-пластикатов / Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2014. – №24/- с. 19 – 21.

5. Омар В.О., Лежнюк П.Д., Лесько В.О., Гунько І.О., Смагло І.І. Програмно апаратний комплекс діагностування технічного стану обладнання. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія «Енергетика, надійність та енергоефективність». – Харків: НТУ «ХПІ», 2022. – Вип.2 – с. 43 – 50.
6. Золотарьов В.В., Голик О.В., Зиков М.Б., Шурупова А.А., Щебенюк Л.А. Модель динаміки розвитку деформації при механічних випробуваннях наповнених полімерних матеріалів в умовах кабельного виробництва // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2021. – №2 – с. 30 – 35.
7. В.М. Турчин. Математична статистика: Навч. посібник для студентів ВУЗ ів.- К.: Академія, 1999.- 240 с.
8. Карпушенко В.П., Щебенюк Л.А., Антоненко Ю.О., Науменко О.А. Силові кабелі низької та середньої напруги. Конструювання, технологія, якість. Харків: Редіон-Інформ.2000.- С. 270 – 289

#### References (transliterated)

1. IEC 60811-501:2012. Electric and optical fibre cables – Test methods for non-metallic materials – Part 501: Mechanical tests – Test for determining the mechanical properties of insulating and sheathing compounds.
2. Shydlovskiy M.S. Novi materialy: chastyna 1. Struktura i mekhanichni vlastyvoli konstruktivnykh polimeriv. Navchalnyi posibnyk dlia vuziv. Kyiv: NTUU «KPI im. Ihoria Skoropadskoho. 2017. 192 p.
3. Zolotarov V.M. Systemnyi pidkhid do upravlinnia yakistiu – fundament perspektyvnoho rozvytku pidpriemstva. Standartyzatsiia, sertyfikatsiia, yakist. 2002. No 1. Pp. 57–61.
4. L.A. Shchebeniuk, S.A. Riabynyn, A.Y. Sturchenko. K analyzu zavy-symosty mekhanicheskoho napriazheniya ot vremeny odnoosnoho rastiasheniya dlia obraztsov vysokonapolnennykh antypirenamy PVKh-plastykatov. Vistnyk NTU «KhPI». Kharkiv: NTU «KhPI», 2014. No 24. Pp. 19 – 21.
5. Omar V.O., Lezhniuk P.D., Lesko V.O., Hunko I.O., Smahlo I.I. Prohramno aparatnyi kompleks diahnostuvavnnia tekhnichnoho stanu obladdannia. Vistnyk NTU «KhPI». Serii «Enerhetyka, nadiinist ta enerhoefektyvnist». Kharkiv: NTU «KhPI», 2022. No 2. Pp. 43 – 50.
6. Zolotarov V.V., Holyk O.V., Zykov M.B., Shurupova A.A., Shchebeniuk L.A. Model dynamiky rozvytku deformatsii pry mekhanichnykh vyprobuvanniakh napovnenykh polimernykh materialiv v umovakh kabelnoho vyrobnytstva. Vistnyk NTU «KhPI». Kharkiv: NTU «KhPI», 2021. No 2. Pp. 30 – 35.
7. V.M. Turchyn. Matematychna statystyka: Navch. posibnyk dlia studentiv VUZ iv. Kyiv: Akademiia, 1999. 240 p.
8. Karpushenko V.P., Shchebeniuk L.A., Antonets Yu.O., Naumenko O.A. Sylovi kabeli nyzkoi ta serednoi napruhy. Konstruiuvannia, tekhnolohiia, yakist. Kharkiv: Rehion-Inform. 2000. Pp. 270 – 289

Надійшла (received) 23.10.2023

#### Відомості про авторів / About the authors

**Антоненко Юрій Панасович (Antonets Yuri Afanasievich)** – кандидат технічних наук, технічний директор ПАТ «ЗАВОД ПШВДЕНКАБЕЛЬ», м. Харків; тел.: 728 12 64; e-mail: zavod@yuzhcable.com.ua

**Шурупова Аліна Альбертівна (Shurupova Alina Albertovna)** – начальник лабораторії випробувань пластмас ПАТ «ЗАВОД ПШВДЕНКАБЕЛЬ», м. Харків; тел.: 754 52 04; e-mail: lab@yuzhcable.com.ua

**Щебенюк Леся Артемівна (Shchebeniuk Lesia Artemovna)** – кандидат технічних наук, професор кафедри «Електроізоляційна та кабельна техніка» Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут", м. Харків; тел.: 707 65 44; e-mail: lesasebenuk@gmail.com.

**Голик Оксана Вячеславівна (Holyk Oksana)** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри електроізоляційної та кабельної техніки, м. Харків, Україна; e-mail: Oksana.Holyk@khpri.edu.ua