

## ТРИВАЛІ ВИПРОБУВАННЯ З ГРИБОСТІЙКОСТІ СВІТЛОПРОЗОРОЇ ПЛІВКИ ETFE У БУДІВЕЛЬНИХ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЯХ

**В**ихідні аспекти щодо небезпеки ураження мікроскопічними грибами, або мікроміцетами (плісневими грибами) фторполімерних елементів огорожувальних систем, що кріпляться на металевих підконструкціях, були висвітлені у роботах [1, 2].

Досліджувались будівельні вироби для систем на основі світлопрозорої плівки з етилен-тетрафторетилену (ETFE). Це системи плівкових покрівель і фасадів у вигляді одношарових попередньо розтягнутих полотен і багатошарових повітроопорних подушок на контурі з алюмінієвих стрижнів, що застосовуються замість традиційного скла в будівлях і спорудах різноманітного призначення – аквапарки, басейни та спорт-центри, ботанічні сади та зоопарки, залізничні вокзали та автостанції, виставкові та виробничі будівлі, дослідні, медичні та культурно-освітні заклади, житлові будинки, офісні та торговельно-розважальні комплекси тощо.

Плівкові системи в архітектурно-виразних і художньо-витончених формах відтворюють переважно над атріумами, на світлопрозорих фасадах і куполах. Легкі огорожувальні системи є особливо ефективними у разі обпирання на проміжну металоконструкцію та основний сталевий каркас (рис. 1).

Такі вироби мають задовольняти основні вимоги до споруд згідно з Директивою Ради 89/106/ЄЕС [3] і Технічним регламентом будівельних виробів, будівель і споруд [4], а саме:

- вимога № 1 (механічна міцність і стійкість споруд або їх частин);
- вимоги № 2 (пожежна безпека), № 3 (гігієна, здоров'я та захист довкілля), № 4 (безпека у використанні);
- вимоги № 5 (захист від шуму) і № 6 (економія енергії та збереження тепла) стосуються тільки багатошарових систем.

Здатність задовольняти основні вимоги залежить від особливостей конструкцій. Плівкові елементи в пневмоподушках можуть сприймати місцеві навантаження згідно з механічними показниками матеріалу та заданими геометричними параметрами. Форма пневмоподушок під-



**М.Л. Гринберг**

головний інженер  
ДП Науково-технічний центр оцінки відповідності в будівництві «БУДЦЕНТР», аудитор системи сертифікації УкрСЕПРО, к.т.н



**А.Г. Суббота**

керівник випробувальної лабораторії грибостійкості та мікробіологічних досліджень технічних, медичних виробів і матеріалів Інституту мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України, канд. біол. наук



**А.І. Чуєнко**

провідний інженер випробувальної лабораторії грибостійкості та мікробіологічних досліджень технічних, медичних виробів і матеріалів Інституту мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України



**С.М. Остапюк**

провідний інженер відділу хімії олігомерів і сітчастих полімерів Інституту хімії високомолекулярних сполук НАН України

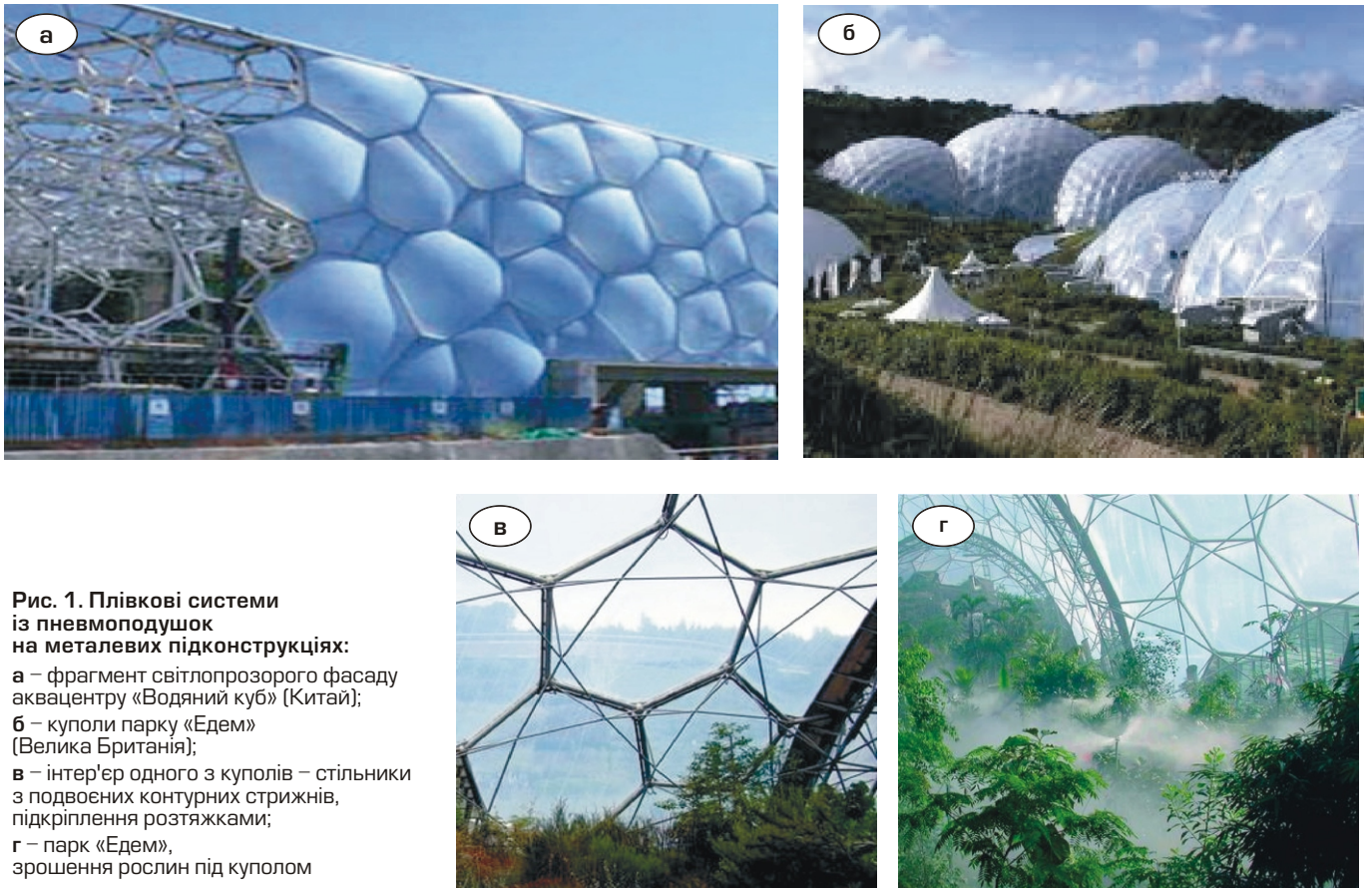


**О.М. Цибульський**

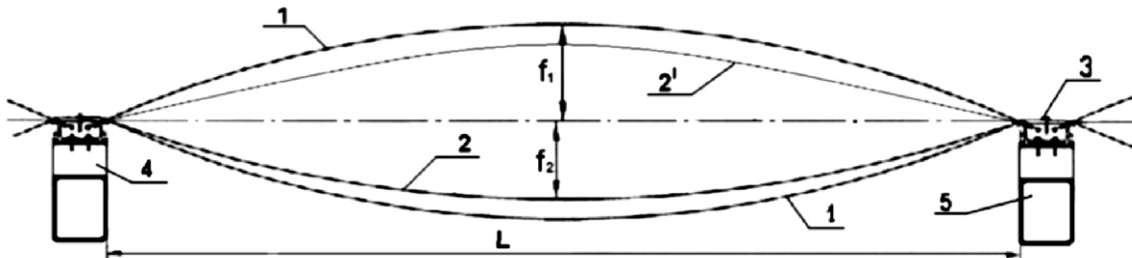
керівник групи  
ДП Науково-технічний центр оцінки відповідності в будівництві «БУДЦЕНТР»

тримується внутрішнім тиском, завдяки чому вони передають на контурні стрижні та каркас вагові та вітрові навантаження, наприклад від водяних і снігових мішків, а також від попереднього напруження (рис. 2).

Можливе одностороннє тяжіння, зокрема через падіння тиску в суміжній подушці, втрату попереднього напруження та проектної міцності. Тому плівка не може взяти на себе частину загальних навантажень на каркас, навіть як диск жорсткості. Стійкість металевих стрижнів



**Рис. 1. Плівкові системи із пневмоподушок на металевих підконструкціях:**  
**а** – фрагмент світлопрозорого фасаду аквацентру «Водяний куб» (Китай);  
**б** – куполи парку «Едем» (Велика Британія);  
**в** – інтер'єр одного з куполів – стільники з подвоєних контурних стрижнів, підкріплення розтяжками;  
**г** – парк «Едем», зрошення рослин під куполом



**Рис. 2. Типова схема огорожувальної конструкції із повітропорних подушок на основі плівки ETFE:**

**1** – зовнішні шари (пояси) зі стрілою підйому (провису)  $f_1 = L/10$ , де  $L$  – прогін у робочому напрямку; **2** – внутрішній шар із можливою зміною положення ( $2'$ ) для керування інсоляцією приміщень,  $f_2 = L/15$ ; **3** – контурний стрижень зі складеного профілю, пресованого з алюмінієвих сплавів; **4** – підставка-столік під огорожувальну систему; **5** – елемент основної несучої металоконструкції (каркаса)

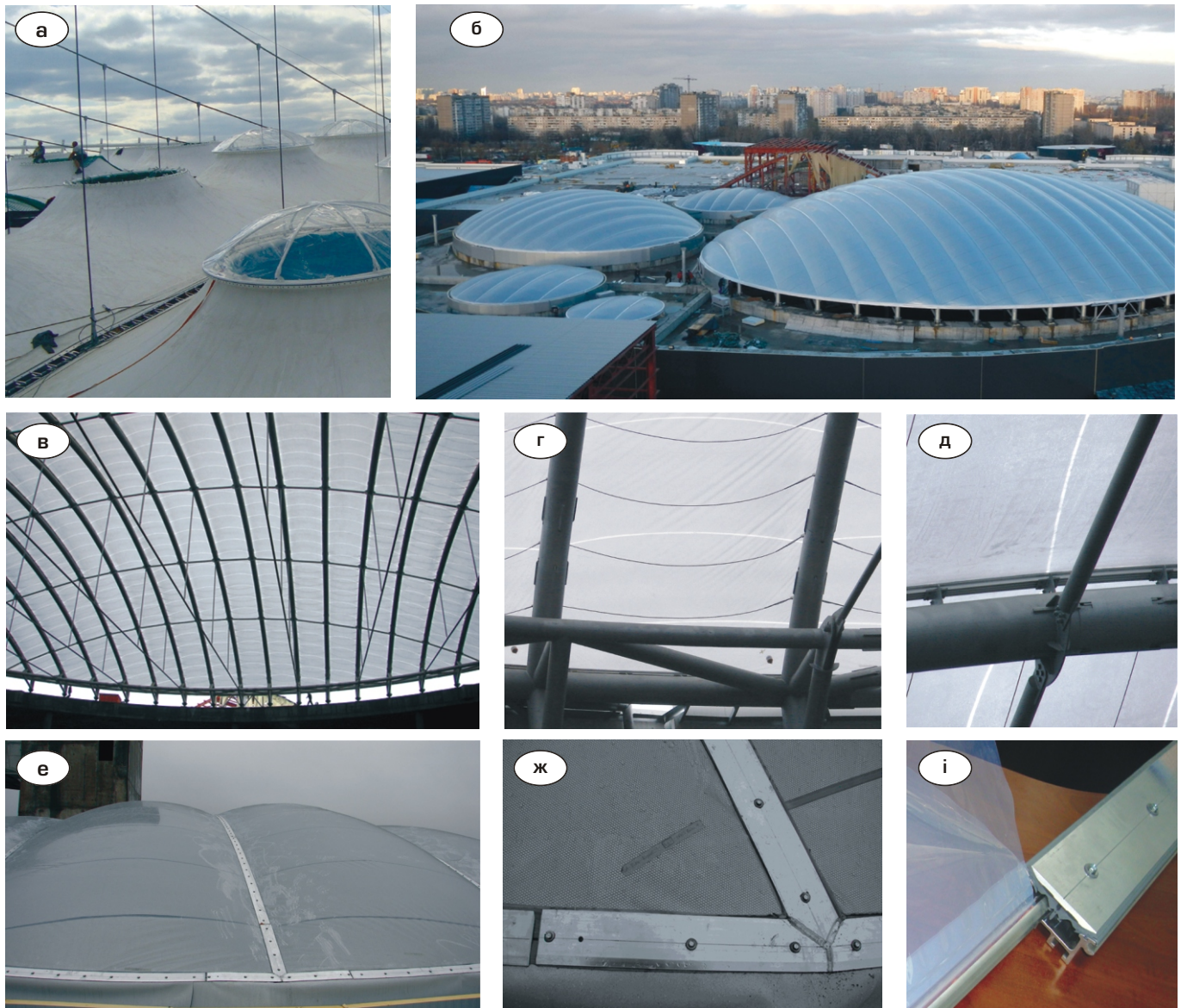
(контурних й основного каркаса) має забезпечуватися без підтримки з боку плівкових елементів. Таким чином, плівка ETFE не бере участі у задоволенні основної вимоги № 1.

Щодо вимог № 2 та № 6 для ETFE можна отримати всебічну інформацію з європейських джерел, наприклад [5], стосовно реакції на вогонь (важкозаймистий матеріал), падіння палаючих крапель або часток (не спостерігається) тощо. А що стосується вимоги № 3, то нам відомі лише дані про емісію шкідливих речовин з плівки. Про небезпеку її ураження мікроміцетами не повідомляється, хоча є приклади засто-

сування плівки ETFE за умов високої вологості повітря (рис. 1, г), що може спричинити розвиток мікроміцетів на плівці.

Проблема грибостійкості фторполімерних елементів тентових і плівкових огорожувальних систем на металевих підконструкціях досліджується нами у зв'язку з їх впровадженням у 2011–2013 рр. на інженерних спорудах та інших об'єктах України (рис. 3).

Для тентового навісу над трибунами НСК «Олімпійський» (рис. 3, а) було застосовано напівпрозору скловолокнусту тканину з покриттям із політетрафторетилену (PTFE). Згідно з



**Рис. 3. Фторполімерні покрівлі на об'єктах м. Києва:**

**а** – тентова тканина з покриттям із РТФЕ (навіс на НСК «Олімпійський»); **б** – пневмоподушки з плівки ЕТФЕ над атріумами ТРК «Республіка»; **в** – несуча система – сталеві трубчасті арки із затяжками та без, між якими натягнуто пневмоподушки довжиною на прогін арок; **г** – абрис перерізу подушки (між арками в зоні їх спирання) по зовнішньому шару плівки ЕТФЕ – зварними швами, орієнтованими уздовж робочого зусилля (опуклі криві, білясті на просвіт) і по внутрішньому шару – провислими страхувальними тросиками; клапани на нижньому шарі, запобіжні та нагнітальні щодо тиску; **д** – спирання на арку контурного стрижня зі складеного алюмінієвого профілю для захвату крайок пневмоподушок; **е** – фрагмент покрівлі із плівкових подушок із контурними стрижнями; **ж** – вузол із заводським зварюванням профілів з алюмінієвого сплаву; **з** – відрізок окрайки з окантувальним шнуром і місцевим підсиленням додатковими шарами плівки, вставлений у напрямну контурного профілю

технічними умовами на постачання матеріалів строк служби покриття із РТФЕ – 10 років за певними характеристиками – напівпрозорість, водонепроникність (гладі та зварних швів), у т.ч. у разі утворення плісняви, тощо. Враховуючи розташування тентової тканини, стійкість покриття з РТФЕ до плісневих грибів тлумачилася не як безпосереднє забезпечення в сенсі основної вимоги № 3, а як умова його довговічності та попередження деструкції зі зниженням функціо-

нальних показників (напівпрозорості, водонепроникності) [6].

В інших конкретних об'єктах реалізуються покрівлі на основі згаданої світлопрозорої плівки з етилететрафторетилену (ЕТФЕ) (рис. 3, б–і). За літературними даними, такі фторвмісні полімери є достатньо стійкими до атмосферного, температурного та хімічного впливу завдяки своїм механічним і протипожежним показникам [7].

На відміну від тлумачення стійкості покриття з PTFE до плісневих грибів у завданні на випробування з грибостійкості плівки ETFE в пневмоподушках та її з'єднань як потенційних місць ураження [1, 2] виходили переважно з точки зору безпосереднього задоволення основної вимоги № 3. Для цього дослідили можливість росту мікроміцетів на плівці ETFE і їх впливу на гігієнічний стан і здоров'я людей. Також оцінювали аспекти довговічності щодо фізико-механічних і хімічних показників за умов підвищеної вологості повітря при постійній температурі під час випробувань протягом 28 діб.

Головною особливістю мікроміцетів є їх легке пристосування до різних умов навколишнього середовища і різних виробів та матеріалів, у т.ч. і до полімерів [8, 9]. В основі механізму адаптації до екологічних умов лежить здатність виділяти ряд позаклітинних ферментів і органічних кислот, що руйнують різні матеріали [10].

Спори грибів осідають на поверхні матеріалів разом із пилом. У разі конденсаційної вологості, атмосферних опадів або високої відносної вологості повітря починається процес їх проростання. Основою вегетативного тіла грибів є міцелій, що складається з розгалужених тонких ниток – гіф завтовшки від 5 до 15 мкм. Інтенсивність спороношення гриба залежить від його видової належності, субстрату (джерела живлення) та умов довкілля.

Значна кількість видів мікроміцетів розмножується за допомогою спор або конідій. Потрапивши на субстрат та закріпившись до нього, спора, конідія або частинка міцелію може дати початок новій колонії. У деяких грибів кожна із спороносних структур може утворювати декілька тисяч спор кожні 2–7 діб, побачити їх можна лише за допомогою мікроскопа. Вони є різноманітними за формою, кольором та розміром (від 1,5 до 20 мкм), мають високу стійкість до сонячного світла та недостатньої кількості кисню, деякі з них зберігають свою житте-

здатність до 10 років, витримуючи коливання температури від  $-5$  до  $+60$  °С. Відносна вологість повітря від 60 % і вище призводить до мікологічного пошкодження субстрату, яке посилюється з підвищенням температури [11].

Найчастіше біодеструкцію виробів і матеріалів спричиняють мікроскопічні гриби з родів *Alternaria*, *Aspergillus*, *Chaetomium*, *Fusarium*, *Raecilomyces*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Trichoderma*. Деякі автори вважають, що в разі природного або штучного старіння плівок вплив грибів може призвести до підсилення деструкції навіть грибостійкого матеріалу [7, 9].

У процесі життєдіяльності через обростання матеріалу міцелієм гриби завдають різнохарактерного ушкодження: механічного – проникнення гіф у товщу матеріалу і хімічного – через виділення метаболітів різного хімічного складу [10]. До того ж значна кількість родів мікроміцетів є продуцентами мікотоксинів та збудниками мікозів у людини [12, 13].

Для запобігання біонебезпечній ситуації та проблем, пов'язаних з її усуненням, необхідне обов'язкове проведення випробувань із грибостійкості нових будівельних виробів в умовах, наближених до реальних. Раніше [1, 2] нами було досліджено упродовж 28 діб грибостійкість трьох зразків плівки ETFE (рис. 4):

- одношарова без шва (зразок № 1);
- одношарова зі швом (зразок № 2.2.1);
- двошарова з окантуванням шнуром і склеєним у 4 шари крайком, що на будівельному майданчику розміщують у замкнутому металевому профілі (зразок № 2.2.2).

Зразки варіанта «Дослід» обробляли суспензією конідій 10-ти тест-культур мікроскопічних грибів у розчині мінеральних солей. Після 28-денних випробувань на поверхні всіх зразків чітко було видно неозброєним оком розвиток грибів, які вкривали більше 25 % поверхні, що оцінено у 5 балів – максимальний бал ураження за шкалою ГОСТ 9.048 [14] (рис. 5).

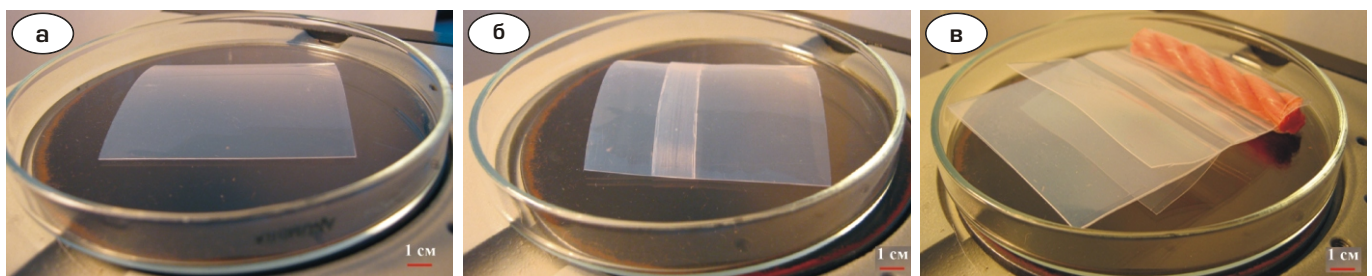
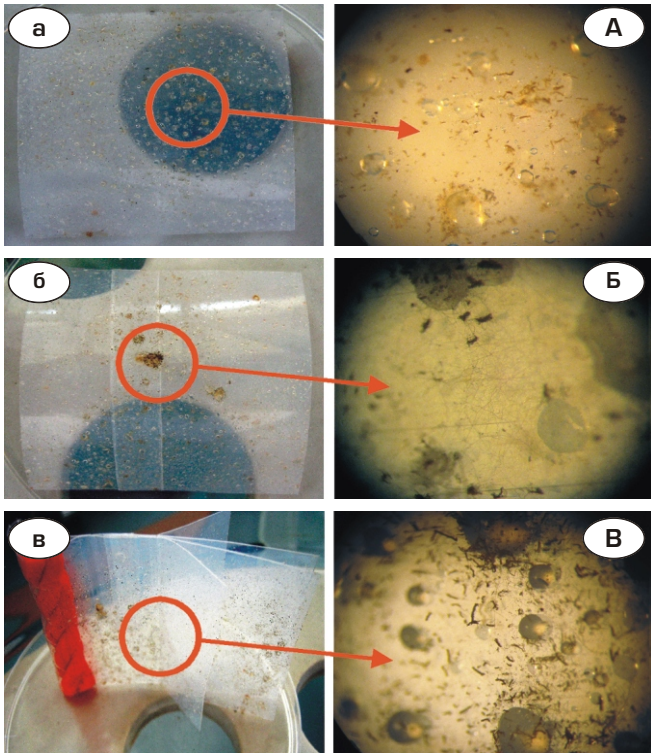
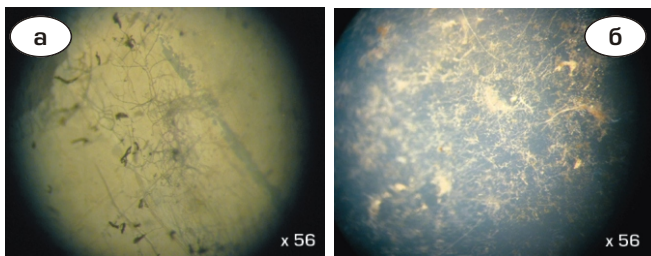


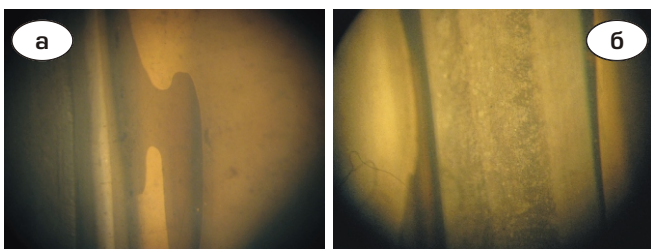
Рис. 4. Зовнішній вигляд зразків плівки ETFE до початку випробувань із грибостійкості:  
а – № 1; б – № 2.2.1; в – № 2.2.2



**Рис. 5.** Стан поверхонь зразків плівки ETFE, штучно уражених тест-культурами мікроміцетів, варіант «Дослід» після 28 діб випробування з грибостійкості: а – зразок № 1; б – зразок № 2.2.1; в – зразок № 2.2.2 (червоним позначено колонії грибів в полі зору під мікроскопом); А, Б, В – мікрофото спороношення та павутинний міцелій, що розвинуті інтенсивніше у краплі конденсату (збільшення у 28 разів)



**Рис. 6.** Стан поверхні зразка № 2.2.2 плівки ETFE варіанта «Дослід» після 28 діб випробування до (а) і після (б) знезараження 70 %-м етанолом



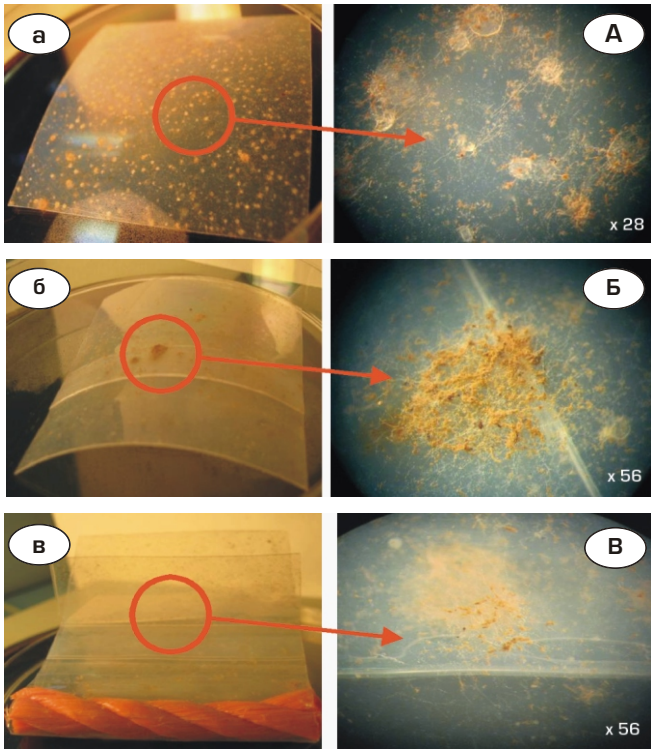
**Рис. 7.** Накопичення вологи на межі «зварний шов–плівка» у досліджених зразках плівки ETFE (варіант «Контроль 1») після 28 діб випробування з грибостійкості: а – № 2.2.1; б – № 2.2.2

Після знезараження 70 %-м етиловим спиртом зовнішніх поверхонь плівки спостерігалось погіршення її прозорості через розростання на поверхні тонкого мікроскопічного міцелію (рис. 6, б). Ретельне очищення зразків № 1, № 2.2.1 і № 2.2.2 від міцелію виявило відсутність видимих ознак руйнування або пошкодження, що підтвердилось при огляді їх поверхонь під мікроскопом при збільшенні у 28, 56 разів. Однак при огляді контрольної групи зразків № 2.2.1 та № 2.2.2 (варіант «Контроль 1») встановлено, що на межі «зварний шов–плівка» відбувається накопичення конденсаційної вологи (рис. 7).

Наприкінці експерименту (28 діб) порівнянням стану фрагментів групи «Дослід» із контрольними було виявлено, що підвищена вологість повітря погіршує грибостійкість плівки в разі її мінерального забруднення, яке є єдиним джерелом живлення для мікроміцетів, оскільки гриби не пошкодили матеріал плівки. Ризик її деструкції може бути вірогіднішим, якщо продовжується вплив мікроміцетів на зразки. Для перевірки цієї версії випробування має бути тривалим.

На наступних етапах досліджень простежувався розвиток мікроскопічних грибів на заданих зразках упродовж 140 діб та визначався ступінь обростання їх грибами, вивчався вплив мікроскопічних грибів на компонентний склад зразків плівки ETFE методом ІЧ-спектроскопії.

Результати експерименту у групі «Дослід» на 140 добу засвідчили інтенсивність росту мікроскопічних грибів майже в десять разів у порівнянні зі станом на 14 добу, тобто перша генерація грибів розсіялася. Краплі конденсату, наявність яких спостерігалась спочатку випробування, були повністю використані і заповнені спороносними структурами (рис. 7, а). Конденсат підтримував життєдіяльність грибів упродовж 140 діб, і міцелій грибів розрісся по обох сторонах фрагментів одношарової плівки зразка № 1, на зразках плівки одношарової зі швом № 2.2.1 і плівки двошарової зі шнуром № 2.2.2. Їх грибостійкість було оцінено максимальним балом ураження вже на 14 добу експерименту. Після 140 діб інтенсивність росту грибів на верхніх фрагментах значно зростає (рис. 8).



**Рис. 8.** Вигляд групи зразків плівки ETFE варіанта «Дослід» після 140 діб випробування з грибостійкості:

а, б, в – фрагменти зразків № 1, № 2.2.1 та № 2.2.2 (червоним позначено зони спостереження під мікроскопом при збільшенні в 28 і 56 разів); А, Б, В – мікрофото спороношення мікроскопічних грибів на поверхні фрагментів зразків № 1, № 2.2.1 та № 2.2.2 відповідно

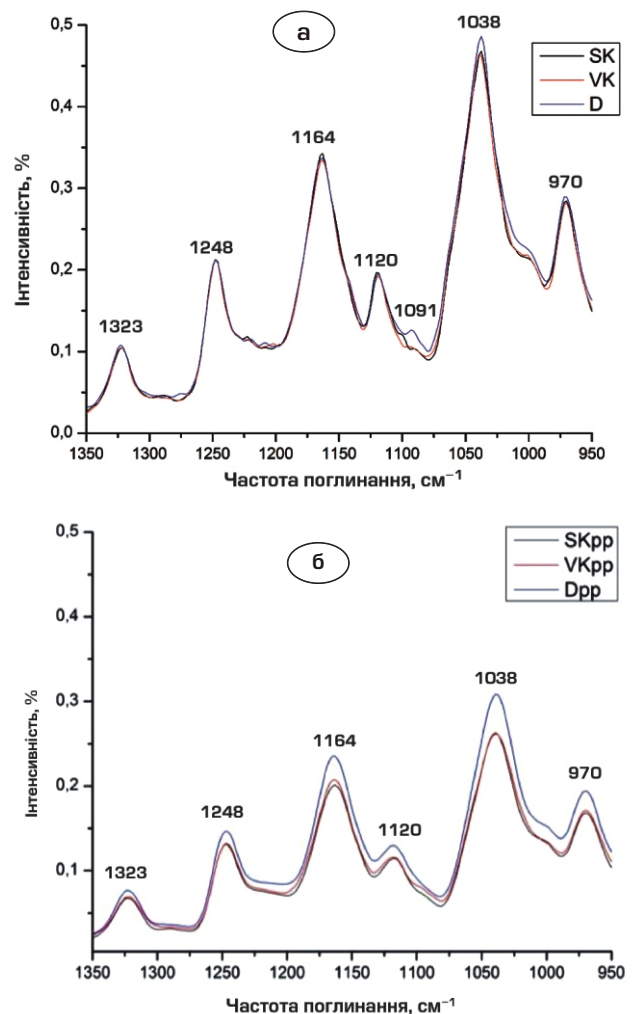
Слід зазначити, що при штучному зараженні мікроскопічними грибами в умовах високої вологості повітря у варіанті «Дослід» згідно з фактично отриманими результатами через 140 діб випробування спостерігалось значне обростання міцелієм плівки ETFE.

Інтенсивність колонізації фрагментів свідчить про те, що плівка не чинить опору зростанню мікроміцетів. Після ретельного очищення міцелію не було виявлено ніяких видимих ознак руйнування поверхні плівки або пошкодження ні візуально, ні при збільшенні у 56 разів (як і в експерименті упродовж 28 діб). Огляд дослідних зразків № 1, № 2.2.1 і № 2.2.2 показав відсутність спороносних структур на зовнішніх поверхнях плівки.

Випробування з грибостійкості зразків плівки ETFE було доповнено визначенням вірогідних змін у їх компонентному складі за допомогою методу ІЧ-спектроскопії (рис. 9). Встановлено, що під час експозиції штучно зараженої мікроскопічними грибами плівки ETFE в умовах підвищеної відносної вологості

повітря та температури, оптимальної для їх інтенсивного розвитку, змін у хімічному складі зразків не відбулося. Отримані результати підтверджують, що використання мікроміцетами дослідженого матеріалу як джерела живлення не сталося навіть після збільшення строку їх впливу до 5 місяців.

Таким чином, зразок плівки ETFE не можна вважати таким, що витримав випробування на грибостійкість в умовах, що імітують мінеральне забруднення. Плівка зразка може ушкоджуватися плісеневими грибами, тобто не є токсичною для них і має здатність накопичувати і зберігати на поверхні конденсаційну вологу, що сприяє інтенсивному росту тест-культур протягом 140 діб. Мікроскопічні гриби в умовах мінерального забруднення, за відносної вологості повітря вище 90 % і температури біля 30 °С (подібні умови підтримують, наприклад, в оранжереях тропічних культур) здатні накопи-



**Рис. 9.** ІЧ-спектрограма зразка плівки ETFE після впливу мікроскопічних грибів протягом 28 діб (а) та 140 діб (б)

чуватись на плівці, впливаючи на її прозорість, однак не руйнують плівку. Уражена мікроскопічними грибами, плівка може погіршувати санітарний стан приміщень.

Отже можна дійти висновку, що безпека огороджувальних конструкцій на основі плівки ETFE з точки зору задоволення основної вимоги до споруд № 3 (гігієна, здоров'я та захист довкілля) [3, 4] може бути пов'язана з оцінкою вірогідності біопшкоджуючої ситуації через ураження мікроміцетами. Аби унеможливити шкідливий вплив мікотоксинів і збудників мікозів під час виготовлення, переміщення, складування тощо плівкові елементи слід захищати від зовнішніх забруднень та, в разі потреби, контролювати та очищати. За умов, що сприяють розвитку плісневих грибів, необхідно передбачати спеціалізовані системи кондиціонування повітря.

За певних умов експлуатації можливе значне обростання плівки ETFE міцелієм. Це зменшує денне освітлення приміщень, що може ініціювати розроблення пристроїв для очищення плівки, зокрема в повітроопорних подушках. Аспекти розвитку мікроскопічних грибів на внутрішніх поверхнях, у т.ч. внутрішніх шарів подушок (рис. 2, поз. 2), потребують окремого дослідження.

Нами встановлено, що в нещодавно виготовленій плівці ETFE, підданій довготривалому впливу мікроміцетів, не відбулося біодеструкції як механічного, так і хімічного типу. Це означає, що вихідні показники міцності та деформативності не змінюються. Можна припустити, що вплив грибів на плівку після її багаторічної експлуатації буде більш деструктивним, що може стати темою подальших досліджень.

- [1] Международная научно-техническая интернет-конференция «Проектирование, изготовление и монтаж стальных конструкций. Опыт и перспективы развития»: <http://urdisc.com.ua/interconf.html>/Учасники/Проблеми технічної експлуатації, методи оцінки технічного стану та визначення залишкового ресурсу будівельних конструкцій//Про грибовостійкість світлопрозорої плівки ETFE у будівельних металокопункціях/Гринберг М.Л., Суббота А.І., Чуєнко А.І. – 21.10. 2013. – 7с.
- [2] Про грибовостійкість світлопрозорої плівки ETFE у будівельних металокопункціях/Гринберг М.Л., Суббота А.І., Чуєнко А.І.// Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. – Випуск 12, 2013 р. – С. 58–70. (Видавництво «Сталь», Київ).
- [3] Council Directive 89/106/EEC of 21 December 1988 on the approximation of the laws, regulations and administrative provisions of the Member States relating to construction products. – OJ L40, 11.2.1989. – 12 p.
- [4] Технічний регламент будівельних виробів, будівель і споруд, затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 20.12.06 № 1764.
- [5] P-BWU03-I-16.5.107 Prüfzeugnis vom: 31.01.2012 – Transparente oder weibe oder bedruckte oder in den RAL-Farben eingefärbte ETFE-Folie 'NOWOFLON ET-Folie 6235 Z' und transparente EFEP-Folie 'NOWOFLON EFEP-5000' als schwerentflammbarer Baustoff (Baustoffklasse DIN 4102-B1) nach Bauregelliste A, Teil 2, Ausgabe 2011/1, lfd. Nr. 2.10.2. – NOWOFLON Kunststoffprodukte gmbH Co. KG.
- [6] Пленки для специальных сфер применения // Пластик. – 2012. – Том 114; № 8. – С. 52–53.
- [7] Кряжев В.Д. Роль факторов климатического старения в оценке устойчивости полимерных материалов к действию микроскопических грибов / Д.В. Кряжев, В.Ф. Смирнов // Пластические массы. – 2010. – № 6. – С. 46–48.
- [8] Лугаускас А.Ю. Каталог микромицетов – биодеструкторов полимерных материалов / А.Ю. Лугаускас, А.И. Микульскене, Д. Ю. Шляужене. – Москва: Наука, 1987. – 341 с.
- [9] Lugauskas A. Micromycetes as deterioration agents of polymeric materials / A. Lugauskas, L. Levinskaite, D. Peculyte // International Biodegradation and Biodegradation of polymeric materials. – 2003. – № 52. – P. 233–242.
- [10] Коваль Э.З., Сидоренко Л.П. Микодеструкторы промышленных материалов. – К.: Наук. думка, 1989. – 192 с.
- [11] Биокоррозия металлов / И.А. Козлова, А.И. Пиляшенко-Новохатный, Н.Н. Жданова, А.Г. Суббота // Неорганическое материаловедение: Энциклопедическое издание в двух томах: Т.1 «Основы науки о материалах». – К.: ИПМ. – 2008. – С. 675–690.
- [12] Зайченко А.М. Макроциклические трихотеценовые микотоксины / А.М. Зайченко, Е.В. Андриенко, Е.С. Цыганенко – К.: Наук. думка, 2008. – 248 с.
- [13] Сергеев А.Ю. Грибковые инфекции / А.Ю. Сергеев, Ю.В. Сергеев. – Москва: Издательство БИНОМ, 2008. – 480 с.
- [14] ГОСТ 9.048-89. Изделия технические. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов. Действующий от 1989-26-06. М.: Из-во стандартов, 1989. – 22 с.

Надійшла 31.01.2014 р.