

УДК 678.7:582.28; 69:006

Про грибостійкість світлопрозорої плівки ETFE у будівельних металоконструкціях

¹Гринберг М.Л., к.т.н., ²Суббота А.Г., к.б.н., ³Чусенко А.І.

¹ДП Науково-технічний центр оцінки відповідності в будівництві
"БУДЦЕНТР", Україна

^{2, 3}Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України, Україна

Анотація. Розглянуто роль фторполімерних огорожувальних систем на металевих підконструкціях у задоволенні основних вимог до споруд згідно з Технічним регламентом будівельних виробів, будівель і споруд. У пневмоподушках на основі плівки ETFE визначено потенційні місця (гладь, шви, контур) і умови ураження мікроскопічними грибами, небезпечними для гігієни та здоров'я людей.

Дослідні зразки обробляли суспензією плісневих грибів (10 тест-культур) в розчині мінеральних солей. За результатами 28-денних випробувань виявлено чітко видимий неозброєним оком розвиток грибів, які вкривають більше 25 % поверхні, що досліджено. Це оцінено як максимальний бал ураження за шкалою ГОСТ 9.048. Встановлено неможливість використання грибами як джерела живлення матеріалу плівки, тобто незначний ризик його деструкції.

Аннотация. Рассмотрена роль фторполимерных ограждающих систем на металлических подконструкциях в удовлетворении основных требований к сооружениям согласно Техническому регламенту строительных изделий, зданий и сооружений. В пневмоподушках на основе пленки ETFE определены потенциальные места (гладь, швы, контур) и условия поражения микроскопическими грибами, опасными для гигиены и здоровья людей.

Опытные образцы обрабатывали суспензией плесневых грибов (10 тест-культур) в растворе минеральных солей. По результатам 28-дневных испытаний выявлено четко видимое невооруженным глазом развитие грибов, которые покрывают более 25 % исследованной поверхности. Это оценено максимальным баллом поражения по шкале ГОСТ 9.048. Установлена невозможность использования грибами, как источника питания, материала пленки, т. е. незначительный риск его деструкции.

Abstract. The role of fluoropolymer protective systems on metal substructures is considered to meet the essential requirements for works in accordance with the Technical Regulations of Construction Products, Buildings and Works. In an ETFE film-based air pillows the potential location is defined (surface, seams, contour), as well as the growth conditions for microscopic fungi, that are hazardous to hygiene and human health.

The test samples were treated with a suspension of mold fungi (10 test cultures) in a mineral salts' solution. After the 28-day trial there was revealed a clearly visible to the naked eye development of fungi, that cover more than 25 % of the surface studied. It was estimated as the maximum score on the scale of GOST 9,048. Inability to use material of film by microscopic fungi as a source of food has been established, so risk of its destruction is small.

Ключові слова: плівкові огорожувальні конструкції, фторовміщуючі полімери, плівкові системи (PTFE, ETFE), грибостійкість плівки.

В сучасних інженерних спорудах та інших об'єктах архітектури України все частіше впроваджують тентові та плівкові огорожувальні конструкції із використанням нових полімерних матеріалів. Такі конструкції є функціонально ефективними та художньо виразними. Наприклад, для навісу над трибунами НСК «Олімпійський» в Києві застосовано напівпрозору скловолокнисту тканину з покриттям із політетрафторетилену (PTFE). В проектах інших конкретних об'єктів передбачено покрівлі на основі світлопрозорої плівки з етилен-тетрафторетилену (ETFE). Ці фторвміщуючі полімери (фторопласти) є достатньо стійкими до атмосферного, температурного та хімічного впливу.

У багатьох європейських та інших країнах поширюються плівкові системи з ETFE, призначені для світлопрозорих покрівель та фасадів, у вигляді одношарових попередньо розтягнутих полотен і багатошарових повітроопорних подушок на контурі з алюмінієвих стрижнів. Є численні приклади застосування плівки ETFE замість традиційного скла переважно у покрівлях атриумів, у фасадах, купольних спорудах із металевими підконструкціями, в т. ч. з основним несним металокаркасом (рис. 1). Функціональне призначення таких об'єктів різноманітне: аквапарки, басейни та спорткомплекси, ботанічні сади та зоопарки, залізничні вокзали та автостанції, виставкові та виробничі будівлі, дослідні, медичні та культурно-освітні заклади, житлові будинки, офісні та торгівельно-розважальні центри тощо.

Плівкові елементи за механічними показниками та геометричними параметрами (форма пневмоподушки підтримується внутрішнім тиском) передають на контурні стрижні та несний каркас силові чинники від місцевих вагових і вітрових навантажень (рис. 2), наприклад, від водяних і снігових мішків, а також від попереднього напруження, зокрема, одностороннього тяжіння, але не можуть брати участі в роботі каркасу на загальні навантаження, навіть як диск жорсткості. Стійкість металевих стрижнів (контурних й основного несного каркасу) має забезпечуватися без підтримки з боку цих плівкових елементів.

Таким чином, плівка ETFE не бере участі у задоволенні основної вимоги № 1 (механічна міцність і стійкість споруд або їх частин) згідно з Директивою Ради 89/106/ЄЕС і Технічним регламентом будівельних виробів, будівель і споруд (Постанова КМУ від 20.12.2006 № 1794). У зв'язку з тим, що плівкові системи застосовуються замість огорожувальних конструкцій зі скла, на них поширюються основні вимоги: № 2 (пожежна безпека), № 3 (гігієна, здоров'я та захист довкілля), № 4 (безпека у використанні), а для багатошарових систем – також № 5 (захист від шуму) і № 6 (економія енергії та збереження тепла). Щодо основних вимог № 2, № 6 стосовно ETFE доступна вичерпна інформація з європейських джерел, а щодо вимоги № 3 відомі лише дані про емісію шкідливих речовин із плівки.



а)



б)

Рис. 1. Взірці плівкових (ETFE) систем із пневмоподушок на металевих підконструкціях:

а) Фрагмент світлопрозорого фасаду медіацентру (Іспанія); б) Інтер'єр одного з куполів "Райського саду" (Велика Британія)

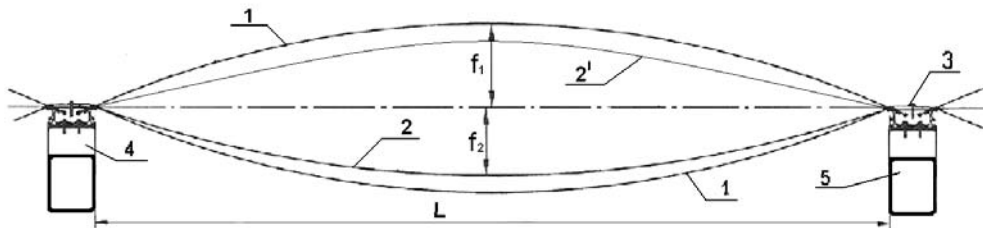


Рис. 2. Типова схема огорожувальної конструкції з повітроопорних подушок на основі плівки ETFE: 1 – зовнішні шари (пояси) зі стрілою підйому (провису) $f_1 \approx L/10$, де L – прогін у робочому напрямку; 2 – внутрішній шар із можливою зміною положення (2') для управління інсоляцією приміщень, $f_2 \approx L/15$; 3 – контурний стрижень зі складеного профілю, пресованого з алюмінієвих сплавів; 4 – підставка-столик під огорожувальну систему; 5 – елемент основної несної металоконструкції (каркасу)

Проблему грибостійкості фторопластів автори обговорювали у 2011 р. стосовно тентової тканини з покриттям із PTFE, виходячи з умов, викладених у Технічній специфікації № 2638 на конструкції навісу над трибунами НСК «Олімпійський». Зазначені умови включали вимоги до постачальника матеріалів надавати інспекційні сертифікати 3.1 згідно з EN 10204 щодо гарантії на строк служби виробу (10 років) за певними характеристиками, в т.ч. утворення плісняви, напівпрозорість, водонепроникність (гладі та зварних швів) тощо.

За таких умов, враховуючи особливості споруди, зокрема тентової тканини зі скловолокнистою основою, стійкість покриття з PTFE до плісневих грибів розглядалася не як безпосереднє убезпечення в сенсі основної вимоги № 3, тобто погіршення гігієнічних показників і шкідливого впливу на здоров'я людей, а як забезпечення довговічності покриття та попередження його можливої деструкції та зниження функціональних показників (напівпрозорості, водонепроникності).

Для елементів з ETFE проблему грибостійкості плівки та її з'єднань (рис. 3, 4б, 4в) розглядаємо переважно з точки зору безпосереднього задоволення основної вимоги № 3, а також аспектів довговічності щодо показників механічних (міцність на розрив, деформативність, опір надриву та розтріскуванню [14]), функціональних (світлопрозорість, герметичність), пожежно-технічних тощо.

Мікроскопічні гриби широко розповсюджені в природі і легко пристосовуються до різних умов навколишнього середовища. З повітря спори грибів осідають на поверхню матеріалів разом із пилом. З появою конденсаційної вологи, атмосферних осадів або при високій відносній вологості повітря починається процес їх проростання. Основою механізму адаптації їх до екологічних умов є здатність виділяти низку позаклітинних ферментів і органічних кислот, що руйнують різні матеріали [1, 5, 10].

Основою вегетативного тіла грибів є міцелій, що складається з розгалужених тонких ниток – гіф, товщиною від 5 до 15 мкм. Розрізняють поверхневий (повітряний) та субстратний (живлячий) міцелій. На повітряному міцелії утворюються структури спороношення. Інтенсивність спороношення гриба залежить від його видової приналежності, субстрату та умов довкілля [5].

Значна кількість мікроскопічних грибів розмножується окремими фрагментами гіф, проте більшість – 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 зі спороносних структур може утворювати декілька тисяч спор кожні 2–7 діб. Спор можна побачити лише за допомогою мікроскопу. Вони є різноманітні за формою, кольором та розміром (від 1,5 до 20 мкм). Велике значення для їх розповсюдження мають повітря та вода [5, 10].

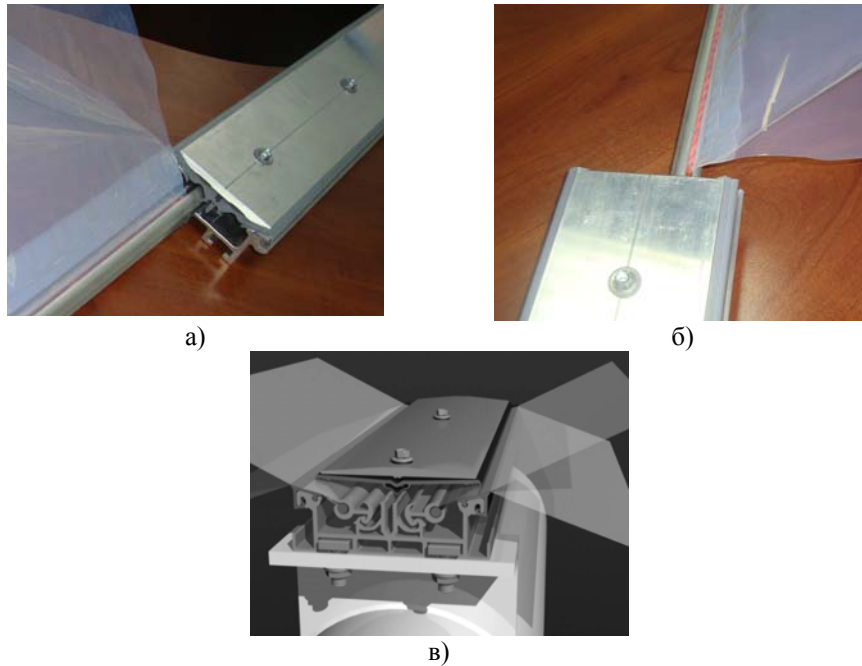


Рис. 3. Контурні стрижні та розміщення в них окінцівок пневмоподушок з окантовочним шнуром і місцевим підсиленням додатковими шарами плівки:
а) і б) – фрагмент (відрізок) окінцівки, вставлений у напрямну контурного профілю; в) зібрана модель вузлового закріплення

Спори грибів мають високу стійкість до сонячного світла та недостатньої кількості кисню. Деякі з них зберігають свою життєздатність 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 [1, 9, 10, 12, 16]. Крім того, значна кількість мікроміцетів є продуцентами мікотоксинів та збудниками захворювання людини на мікози [2, 3, 8, 15].

Тому, для запобігання виникненню біопошкоджуючої ситуації та проблем, пов'язаних з її усуненням, необхідно обов'язкове проведення випробувань із грибостійкості нових будівельних матеріалів.

Об'єктом наших досліджень були три зразки етилен-тетрафторетиленової плівки, що мали наступні особливості:

- № 1 – одношарова плівка без шва (рис. 4, а);
- № 2.2.1 – одношарова плівка зі швом (рис. 4, б);
- № 2.2.2 – двошарова з окантовкою шнуром і склеєним в 4 шари крайком, що на будівельному майданчику розміщують в замкнутому металевому профілі (рис. 4, в).

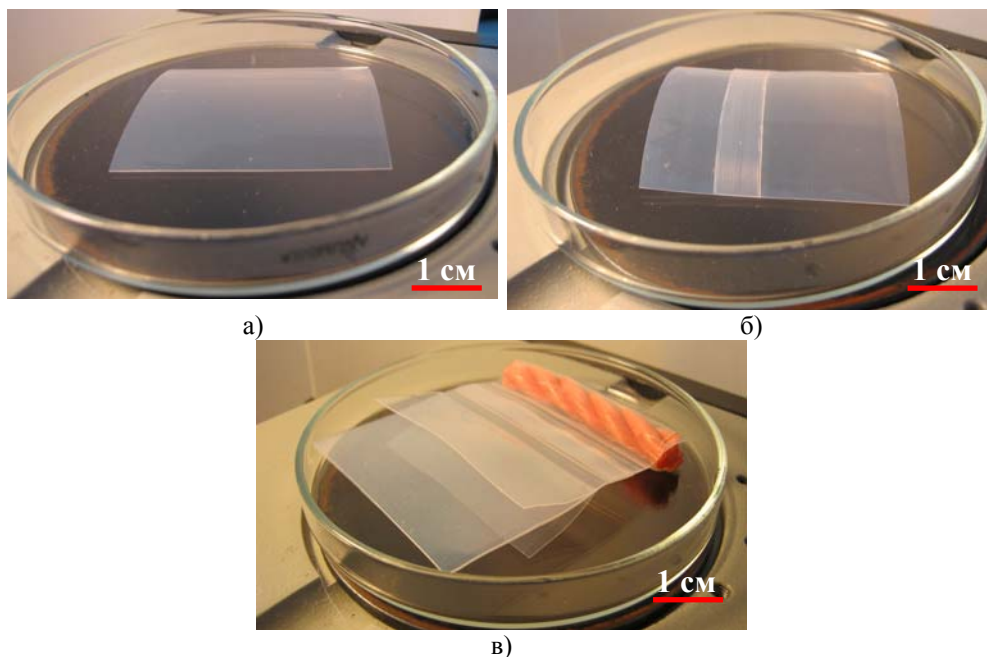


Рис. 4. Зовнішній вигляд зразків плівки ETFE до початку випробувань із грибостійкості: а) №1; б) №2.2.1; в) № 2.2.2

Для випробувань із грибостійкості готували три варіанти фрагментів кожного зі зразків плівки розмірами 5×5 см, які очищали від забруднень 70%-м етиловим спиртом:

- «Контроль 1», фрагменти знаходилися в термостаті в умовах відносної вологості повітря вище 90 % при постійній температурі $(29\pm 2)^\circ\text{C}$ та слугували контролем для порівняння впливу лише температури та високої вологості повітря;
- «Контроль 2», фрагменти під час експерименту знаходилися в нормальних умовах лабораторії при відносній вологості повітря $(60\pm 5)\%$, температурі $(23\pm 2)^\circ\text{C}$ та слугували для порівняльної характеристики при оцінці результатів випробувань;
- «Дослід», фрагменти оброблялися суспензією мікроскопічних грибів в розчині мінеральних солей та знаходилися в термостаті в умовах відносної вологості повітря вище 90 % при постійній температурі $(29\pm 2)^\circ\text{C}$.

Випробування з грибостійкості проводили згідно з методом 2 ГОСТ 9.049 [7]. Досліджені зразки обробляли суспензією плісневих грибів: *Aspergillus niger* van Tieghem, *Aspergillus oryzae* (Achlborg) Cohn, *Aspergillus penicilloides* Speg., *Aspergillus terreus* Thom, *Chaetomium*

globosum Kunze, *Paecilomyces variotii* Bainier, *Penicillium aurantiogriseum* Westling, *Penicillium funiculosum* Thom, *Penicillium chrysogenum* Thom, *Trichoderma viride* Pers.ex S.F. Grey, із вмістом 1×10^6 спор в 1 мл розчину мінеральних солей (табл. 1) та витримували в ексикаторах, в умовах, сприятливих для розвитку мікроскопічних грибів протягом 28 діб [7].

Таблиця 1

Компонентний склад розчину мінеральних солей, що використовували для приготування суспензії конідій мікроскопічних грибів

№ з/п	Найменування компоненту розчину	Вміст
1	Калій фосфорнокислий, однозаміщений	0,7 г
2	Калій фосфорнокислий, двозаміщений, 3-водний	0,3 г
3	Магній сірчанокислий, 7-водний	0,5 г
4	Натрій азотнокислий	2,0 г
5	Калій хлористий	0,5 г
6	Залізо (II) сірчанокисле, 7-водне	0,01 г
7	Вода дистильована	до 1000 см ³

Після завершення випробувань зразки виймали з ексикаторів, оглядали неозброєним оком в розсіяному світлі, а потім – під мікроскопом при збільшенні у 28–56 разів та проводили оцінку грибостійкості за ступенем росту грибів на їх поверхнях із використанням 6-бальної шкали (табл. 2) [6].

Таблиця 2

Шкала грибостійкості

Оцінка, бали	Характеристика балу
0	Під мікроскопом проростання конідій не виявлено
1	Під мікроскопом видно пророслі конідії та незначно розвинений міцелій
2	Під мікроскопом видно розвинений міцелій, можливо спороношення
3	Міцелій та (або) спороношення ледь видно неозброєним оком, однак чітко видно під мікроскопом
4	Неозброєним оком чітко видно розвиток грибів, які вкривають менше 25 % поверхні, що досліджується
5	Неозброєним оком чітко видно розвиток грибів, які вкривають більше 25 % поверхні, що досліджується

Згідно з фактично отриманими результатами випробувань у варіанті «Дослід» через 28 діб на поверхні зразків № 1, № 2.2.1 и № 2.2.2 етилен-тетрафторетиленової плівки неозброєним оком було чітко видно ріст тест-культур мікроскопічних грибів, що вкривали більше 25 % їх загальної площі. Це ураження зразків було оцінене нами в 5 балів. Ріст грибів, виявлений на поверхнях зразків плівки, свідчить про те, що в умовах мінерального забруднення матеріал зразків може бути уражений плісневими грибами (рис. 5–7).

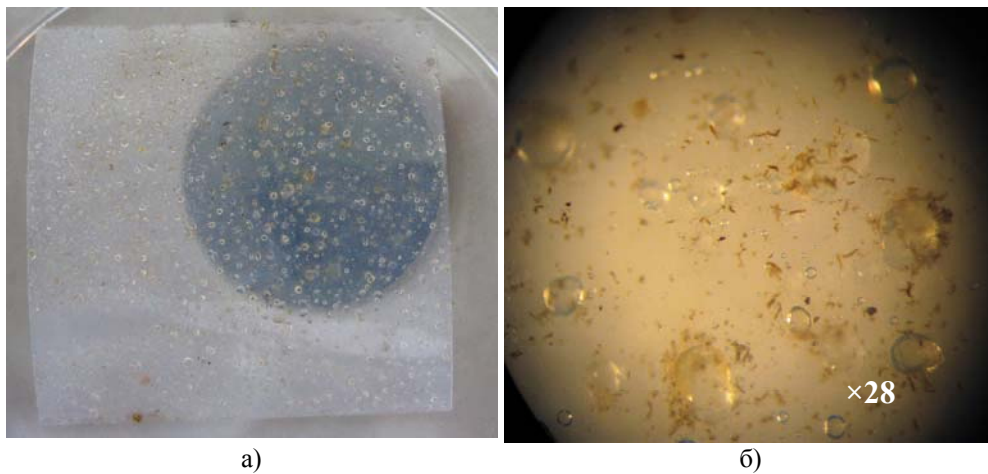


Рис. 5. Грибостійкість зразка № 1 плівки ETFE варіанта «Дослід» після 28 діб випробування: а) – стан поверхні зразка; б) – мікрофото ураження грибами поверхні зразка

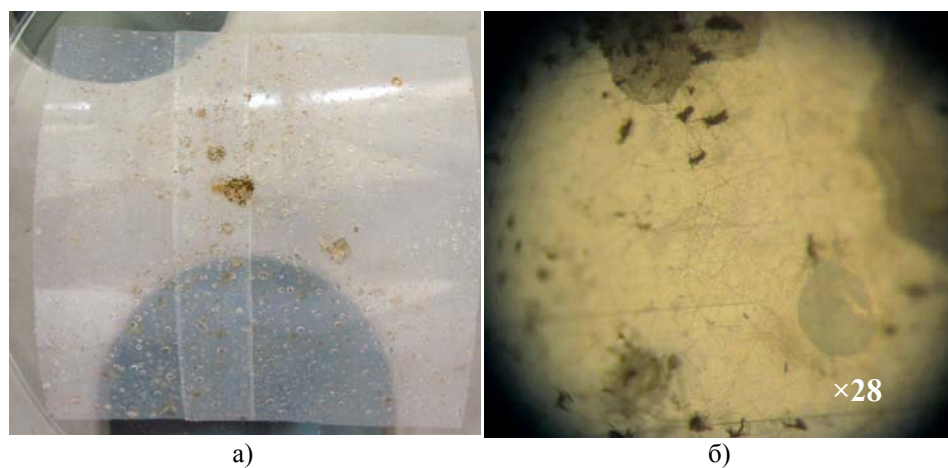


Рис. 6. Грибостійкість зразка № 2.2.1 плівки ETFE варіанта «Дослід» після 28 діб випробування: а) – стан поверхні зразка; б) – мікрофото ураження грибами поверхні зразка

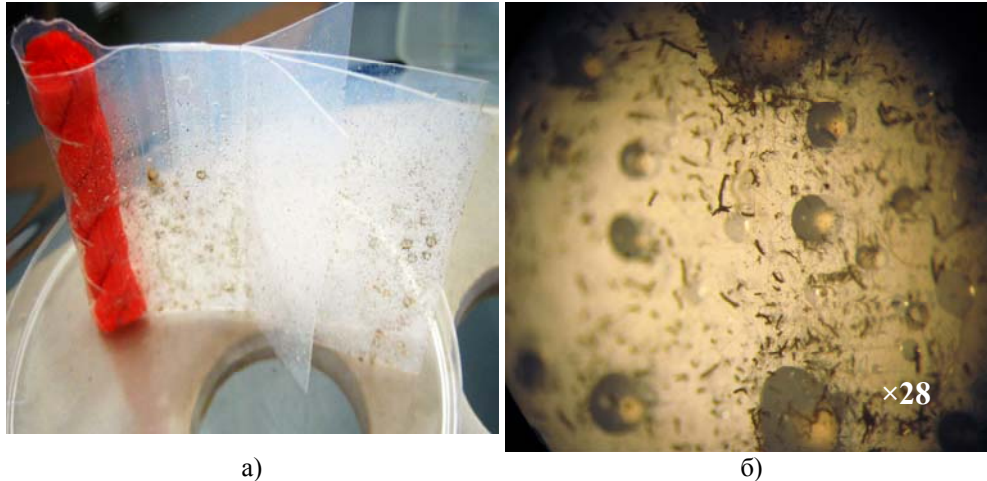


Рис. 7. Грибостійкість зразка №2.2.2 плівки ETFE варіанта «Дослід» після 28 діб випробування: а) – стан поверхні зразка; б) – мікрофото ураження грибами поверхні зразка

Після завершення випробувань із грибостійкості всі зразки були очищені від мікроскопічних грибів 70%-им етиловим спиртом та було проведено їх огляд під мікроскопом при збільшенні 28–56 разів. Ознак ушкодження поверхні мікрміцетами виявлено не було, однак при детальному огляді зразків № 2.2.1 та № 2.2.2 встановлено, що на межі «зварний шов-плівка» відбувається накопичення конденсаційної вологи (рис. 8).

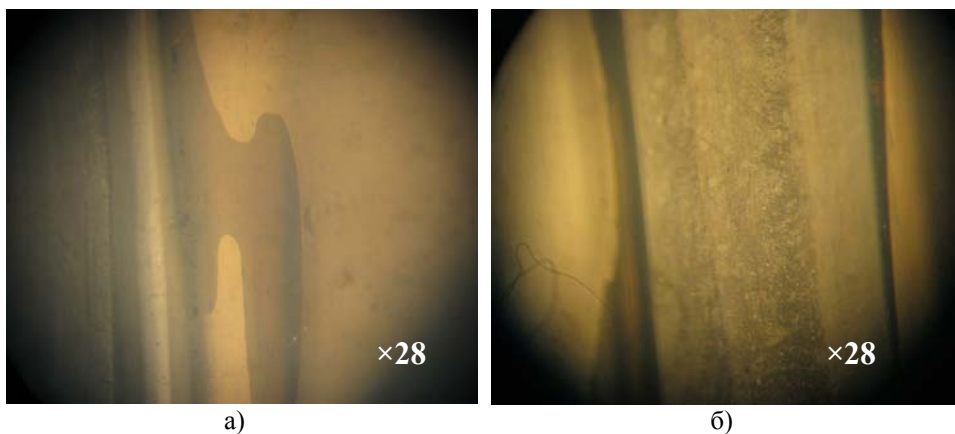


Рис. 8. Варіант «Контроль 1». Накопичення вологи на межі «зварний шов-плівка» після 28 діб випробування з грибостійкості досліджених зразків: а) № 2.2.1; б) № 2.2.2

Відомо, що матеріали, виготовлені на основі співполімерів тетрафторетилену, характеризуються підвищеною стійкістю до впливу мікроскопічних грибів. Проте суттєвим недоліком фторполімерних композицій є підвищена забрудненість їх поверхні [4].

Варто зазначити, що за нашими даними зразки дослідженої плівки були контаміновані мікроскопічними грибами (рис. 9).

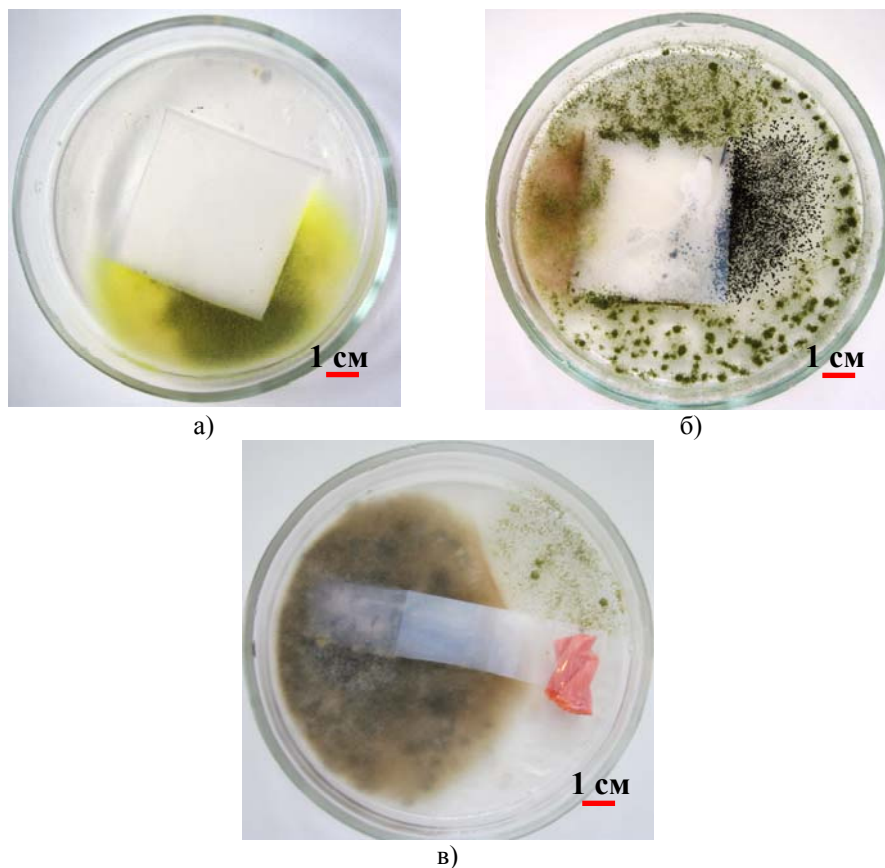


Рис. 9. Контамінація мікроскопічними грибами зразків плівки ETFE:
а) №1; б) № 2.2.1; в) № 2.2.2

Мікроскопічні гриби характеризуються широкими адаптаційними властивостями, зокрема здатністю виживати в умовах вкрай низьких концентрацій джерел вуглецю [12]. При додатковій стимуляції мікроміцетів мінеральним забрудненням в умовах підвищеної вологості та температури 25–30 °C їх ріст на поверхні матеріалу може бути досить інтенсивним, що і спостерігалось в нашому експерименті.

Випробування з грибостійкості зразків плівки ETFE було доповнено визначенням змін у їх компонентному складі за допомогою методу ІЧ-спектроскопії (рис. 10).

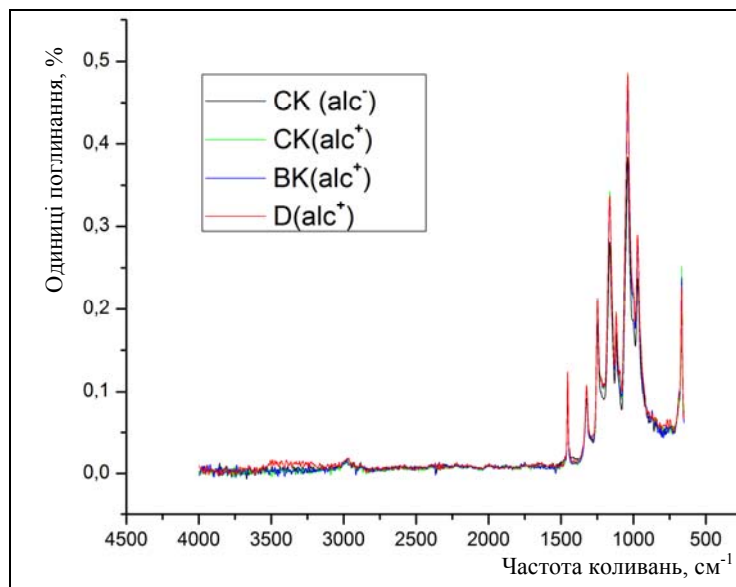


Рис. 10. ІЧ-спектрограма зразка №1 плівки ETFE після 28 діб випробування з грибостійкості:

СК (alc⁻) – варіант «Контроль 2», без спиртової обробки; СК (alc⁺) – варіант «Контроль 2», зі спиртовою обробкою; ВК (alc⁺) – варіант «Контроль 2», зі спиртовою обробкою; D (alc⁺) – варіант «Дослід», зі спиртовою обробкою

Встановлено, що під впливом мікроскопічних грибів змін у компонентному складі зразків етилен-тетрафторетиленової плівки не відбувалося. Отримані нами дані свідчать про неможливість використання мікроміцетами цього матеріалу як джерела живлення. Деякі автори припускають, що в разі природного або штучного старіння плівки вплив грибів може спричинити певну деструкцію матеріалу [11]. Це потребує подальших досліджень.

Таким чином, для уникнення ураження мікроскопічними грибами плівки ETFE під час зберігання та експлуатації необхідно проводити ефективні заходи щодо її очищення від зовнішніх забруднень та підтримувати умови, несприятливі для розвитку мікроскопічних грибів (відносна вологість повітря менше 60 % та температура 21–23 °С). Для приміщень, що за технологією потребують значної вологості та температури, наприклад, в оранжереях тропічних культур слід передбачати додаткові перевірки щодо очищення повітря та захисту здоров'я персоналу й відвідувачів.

Автори висловлюють подяку співробітнику Інституту хімії високомолекулярних сполук НАН України провідному інженеру С. Н.Остапюк за допомогу у визначенні ІЧ спектрограми.

Література

- [1] Андреюк Е. И. Микробная коррозия и ее возбудители / Е. И. Андреюк, В. И. Билай, Э. З. Коваль, И. А. Козлова. – К. : Наук. думка, 1980. – 287 с.
- [2] Антонов В. Б. Экологические причины микозов и микогенной аллергии у городских жителей / В. Б. Антонов // Проблемы медицинской микологии, 2002. – Т.4. – С. 64.
- [3] Антропова А. Б. Микромицеты как источник аллергенов в жилых помещениях г. Москвы : автореф. дисс. на стиск. уч. степ. канд. биол. Наук / А. Б. Антропова. – М., 2005. – 24 с.
- [4] Бейдер Э. Я. Опыт применения фторполимерных материалов в авиационной технике / [Э. Я. Бейдер, А. А. Донской, Г. Ф. Железина и др.] // Российский химический журнал. – 2008. – Том 27. – № 3. – С. 30–44.
- [5] Козлова И. А. Биокоррозия металлов / [И. А. Козлова, А. И. Пиляшенко, Н. Н. Жданова, А. Г. Суббота и др.] // Неорганическое материаловедение : энциклопедическое издание в двух томах : Т. 1 «Основы науки о материалах». – К. : ИПМ. – 2008. – С. 675–690.
- [6] Изделия технические. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов : ГОСТ 9.048-89. – Изд. офиц. – М. : Из-во стандартов, 1989. – 22 с.
- [7] Материалы полимерные и их компоненты. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов : ГОСТ 9.049-91 – Изд. офиц. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1992. – 14 с.
- [8] Зайченко А. М. Макроциклические трихотеценовые микотоксины / А. М. Зайченко, Е. В. Андриенко, Е. С. Цыганенко – К. : Наук. думка, 2008. – 248 с.
- [9] Каневская И. Г. Биологическое повреждение промышленных материалов / И. Г. Каневская. – Л. : Наука, 1984. – 230 с.
- [10] Коваль Э. З. Микодеструкторы промышленных материалов / Э. З. Коваль, Л. П. Сидоренко. – К. : Наук. думка, 1989. – 192 с.
- [11] 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.

- [12] Лугаускас А. Ю. Каталог микромицетов – биодеструкторов полимерных материалов / А. Ю. Лугаускас, А. И. Микульскене, Д. Ю. Шляужене. – Москва : Наука, 1987. – 341 с.
- [13] Павличенко А. К. Еколого-фізіологічні та морфологічні особливості мікроскопічних грибів, виділених з приміщень 4-го блоку Чорнобильської АЕС : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук : спец. 03.00.07 «Мікробіологія» / А. К. Павличенко. – К., 2009. – 19 с.
- [14] Пленки для специальных сфер применения // Пластикс. – 2012. – Том 114. – № 8. – С. 52–53.
- [15] Сергеев А. Ю. Грибковые инфекции /А. Ю. Сергеев, Ю. В. Сергеев. – Москва : Издательство БИНОМ, 2008. – 480 с.
- [16] Lugauskas A. Micromycetes as deterioration agents of polymeric materials / A. Lugauskas, L. Levinskaite, D. Pečiulyte // International Bioteriation and Biodegradation of polymeric materials. – 2003. – № 52. – P. 233–242.

Надійшла до редколегії 15.10.2013 р.