

УДК 623[681.7(544.723+666.1.001.5)]

С.В. ПОТАПЕНКО,

*інженер конструктор-технолог оптико-електронної апаратури, приватний підприємець
(м. Ізюм Харківська область)*

Осушувальні пристрої в оптико-електронних приладах військового призначення

Наведені результати аналізу застосовування різних конструкторських-технологічних рішень осушення оптико-електронної апаратури військового призначення, розглянуті існуючі проблеми щодо відновлення виробництва раніше освоєних осушувальних пристроїв на основі пористих матеріалів, запропоновані обґрунтовані позначення пористих матеріалів в нормативно-технічній та конструкторській-технологічній документації.

Ключові слова: ураження вологою; корозія; деградація; осушення; пористі матеріали; натрій-бор-силікатне скло, ліквация; хімічне травлення, вилугування; осушувальні пристрої; оптико-електронні прилади військового призначення.

Приведены результаты анализа применения различных конструкторско-технологических решений осушения оптико-электронной аппаратуры военного назначения, рассмотрены существующие проблемы по восстановлению производства ранее освоенных осушаемых устройств на основе пористых материалов, предложены обоснованные обозначения пористых материалов в нормативно-технической и конструкторско-технологической документации.

Ключевые слова: поражение влажностью; коррозия; деградация; осушение; пористые материалы; натрий-бор-силикатное стекло; ликвация; химическое травление; выщелачивание; осушительные устройства; оптико-электронные приборы военного назначения.

Оптичні та електронні прилади військового призначення експлуатуються в різних умовах помірного, холодного та тропічного клімату, які значно відрізняються температурним режимом та вологістю, що відповідним чином впливає на надійність апаратури.

Незалежно від розміру виробів вологість вражає робочі поверхні та об'єми, призводить до корозії металів, псування оптичного скла, деградації інших матеріалів, зменшує фізичний термін експлуатації. У разі ураження вологістю в порожнинах апаратури виникає агресивне хімічне та біологічне середовище, під дією якого є імовірною втрата працездатності її найбільш важливих компонентів.

Особливо схильні до вологості візир, перископи, монітори, відеотехніка, прилади розпізнавання, прицілювання, наведення, управління тощо. На склі приладів у разі обігріву їх внутрішнього об'єму утворюється туман або конденсат, які здатні багаторазово звизити сектор та дальність спостереження [3].

З самого початку операції Об'єднаних сил на сході України з боку військових формувань почастишали скарги щодо невідповідності оптико-електронної апаратури технічним умовам експлуатації у зв'язку з її надмірним запотіванням. Той факт, що наслідки цього явища не вдалося усунути безпосередньо у бойових умовах, дозволяє припустити:

або недостатню укомплектованість військової техніки необхідними запасними частинами, інструментами та пристосуваннями, у тому числі осушувальними пристроями;

або відсутність у військових фахівців відповідної практики щодо технічної експлуатації оптико-електронних приладів.

Невипадково, їх претензії не містять вказівок на істинні причини запотівання оптичних та електронних приладів.

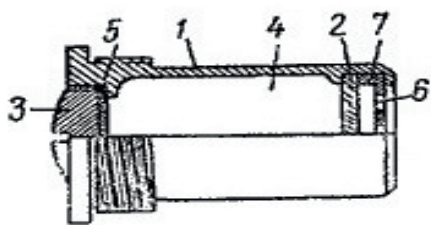
У той же час у технічних описах та інструкціях щодо експлуатації бойових машин повсюдно зазначено, що осушувальні пристрої встановлюються на оптико-електронних приладах з метою поглинання вологи всередині та перешкоджання їй надмірного скупчення на внутрішніх скляних і металевих елементах при зміні навколишніх умов.

Тому принципово важливо у комплекті запасних частин та інструменту мати в наявності запасні (нові або регенеровані) осушувальні пристрої та спеціальні ключі для їх заміни.

Так, наприклад, зникнення та поява спалахів і миготіння зображення на приладі нічного спостереження дуже часто пов'язані з потраплянням вологи на електроно-оптичний перетворювач. У такому випадку слід негайно вимкнути електроживлення апаратури, викрутити всі осушувальні пристрої та змінити їх на запасні в достатній кількості, після чого через деякий час включити прилад знов.

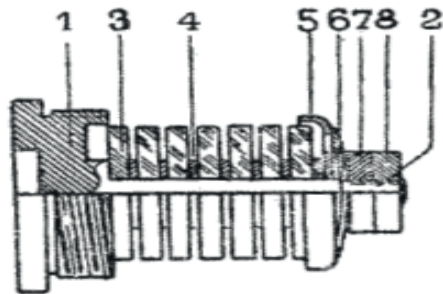
Технічна проблема, що розглядається у даній статті, має давню та тривалу історію.

Ще в 1943 році молодий співробітник Ленінградського оптико-механічного заводу Валентин Лукич Ченакал



- 1 - металева гільза;
- 2 - пористий елемент з пористого скла;
- 3 - пробка;
- 4 - внутрішній простір гільзи, заповнений порошковим сорбентом або алюмогелем;
- 5 - гумова прокладка;
- 6 - металева сітка;
- 7 - прокладне кільце

Рис. 1. Загальний вигляд та принцип влаштування патрону для осушування В.Л. Ченакала із застосуванням порошкового та твердого сорбентів



- 1 - металева основа;
- 2 - металевий штифт;
- 3 - пластини з пористого скла;
- 4 - металеві прокладки;
- 5 - сітчастий ковпачок;
- 6 - пружина;
- 7 - кріпильна гайка;
- 8 - контргайка

Рис. 2. Загальний вигляд та принцип влаштування патрону для осушування В.Л. Ченакала із застосуванням твердого сорбенту

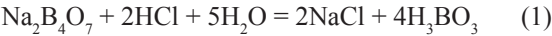
zareestruvav u Narkomatі ozbroennia dva vinaходи (avtors'kі svіdoctva №65594 ta №67840) [1, 2] na patroni dlya osushuvannia optichnih prilaдів, yakі zasnovanі na vlastivostyah adsorbtsії i absorptsії poroshkovih ta tverdhих sorbentів, u tomu chislі poristogo skla (рис. 1, 2).

Саме у застосуванні пористого скла, яке на відміну від усіх інших відомих адсорбентів та абсорбентів є масивною, твердою та міцною речовиною, що не розбухає і не опливає при насиченні її вологою та придатне для регенерації, полягає новизна і ефект даних винаходів. У деяких випадках при осушенні невеликих об'ємів цілком можна обійтися навіть без силікагелю – досить декількох пластин з пористого скла. Ця важлива особливість зумовила повсюдне використання патронів Ченакала для осушування оптичних приладів [1, 2].

Пористе скло являє собою скляний матеріал з пористою структурою, який є результатом хімічного або послідовного термічного та хімічного оброблення скла особливого складу. У такому склі одна фаза є хімічно малостійкою і здатна до руйнування та вимивання при впливі відповідного хімічного розчинника [3, 15, 17].

Для отримання пористого скла у якості заготовки використовується трьохкомпонентне двофазне натрій-бор-силікатне скло з відповідним співвідношенням оксиду натрію (Na₂O), оксиду бора (B₂O₃) та діоксиду кремнію (SiO₂) [18].

Наявність трьох хімічних компонентів забезпечує побудову взаємо проникаючих каркасів двох склоутворюючих фаз бора та кремнію. Діоксид кремнію створює безперервний хімічно стійкий кварцовий каркас, а оксид бора – хімічно нестійкий каркас у вигляді лужного з'єднання, яке реагує з кислотами [15, 16, 18], наприклад:



Для виготовлення виробів із пористого скла застосовують заготовки із скла ДВ-1, К-8, ОФ-1 з відповідною часткою хімічних компонентів оксиду натрію (Na₂O), оксиду бора (B₂O₃) та діоксиду кремнію (SiO₂), що наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Тип скла	Синтетичний хімічний склад, вагова частина хімічних компонентів, %		
	Na ₂ O	B ₂ O ₃	SiO ₂
Спеціальне скло			
ДВ-1	7	27	66
Оптичне скло			
К-8	10	12	69
ОФ-1	3	20	48

Виготовлення пористого скла можливо двома технологічними способами: без спеціальної термічної обробки зазначених заготовок або з їх спеціальною термічною обробкою [7, 15, 16].

Перший з них полягає в тому, що натрій-бор-силікатна заготовка обробляється кислотою у процесі операції хімічного травлення, в результаті якої виходить пористе скло з однорідними мікро-порами розміром близько 10 нм (рис. 3).

Такі світлопрозорі пористі матеріали застосовуються, наприклад, в осушувальних пристроях аерокосмічного базування [10].

При другому способі натрій-бор-силікатна заготовка шляхом спеціальної термічної обробки піддається ліквідації, а потім на операції хімічного травлення



Рис. 3. Процес поглинання води світлопрозорим пористим склом, виготовленим за технологією хімічного травлення без попередньої спеціальної термічної обробки

обробляється кислотою, в результаті чого можна отримати пористе скло з однорідними макро-порами за розміром більш 100 нм [6, 7, 14].

Але дана технологія виготовлення пористого скла з макро-порами є дуже тонкою. В одних випадках хімічне травлення натрій-бор-силікатного скла непрозорого білого кольору з явними ознаками ліквідації (тобто спеціально термічно обробленого) дійсно призводить до отримання пористого скла, в інших – заготовки набувають хімічну стійкість до вилугування у зв'язку з утворенням ізольованих включень боратної фази, які відмінні від хімічного з'єднання $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (тетраборат натрію), наведеного у формулі (1) [3, 4, 5, 11].

Такі неспрозорні пористі матеріали використовуються, як правило, в осушувальних пристроях наземного і морського базування, наприклад, в бойових броньованих машинах [5, 11].

На підставі викладеного можна констатувати, що ступень прозорості пористого скла багато в чому залежить від розмірів пор: світлопрозорі скляні матеріали мають мікро-пори до 10 нм, неспрозорні – макро-пори понад 100 нм. Тобто зі збільшенням величини пор

непрозорість скла зростає. Отримати світлопрозорий скляний матеріал з макро-порами практично неможливо [11].

На початку 90-х років минулого століття на заводі «Червоний Гігант» у місті Никольск (Пензенська область Російської Федерації) за замовленням Державного оптичного інституту ім. С.І. Вавилова на основі спеціального скла ДВ-1 вдалося виробити велику промислову партію двофазного натрій-бор-силікатного скла, придатного для виготовлення пористого скляного матеріалу з порами розміром більше 100 нм (рис. 4).

Скло ДВ-1 являється світлопрозорим скляним матеріалом, схильним до ліквідації та поділу на дві скляні фази і при спеціальному термічному обробленні здатним бути заготовкою для виробництва пористого скла. Максимальний типорозмір серійно освоєної заготовки при прийнятному виході придатних виробів – диск 45 x 4 мм або 40 x 4 мм. В результаті ліквідації, як показано на рисунку 4, скло набуває непрозорий молочний колір, відповідний кольору мінерального складу бури, бораксу, тинкалу, керніту. Після такого спеціального



Рис.4. Заготовки, призначені для отримання пористого скла з порами розміром більше 100 нм в упакованому та неупакованому вигляді



Рис. 5. Несвітлопрозоре пористе скло ПС-1-Ш з макро-порами понад 100 нм, виготовлення способом хімічного травлення заготовок ДВ-1-Ш

термічного оброблення скла ДВ-1 присвоюється позначення ДВ-1-Ш.

Але не вдалося досягнути стабільних обсягів виробництва пористого скла з використанням спеціального скла ДВ-1 з наступних причин:

режими термічної та хімічної обробки виявилися експериментальними і остаточно не визначеними;

в зв'язку з тривалістю і дорожнечою технологічна постановка на виробництво пористих елементів не проводилася, більшість підприємств оптичного приладобудування обмежилися дослідно-експериментальними роботами в лабораторних умовах на дискретних партіях;

контроль якості вимагає перевірки кожного виробу вручну;

вихід придатних виробів є не виправдано низким (таблиця 2).

Таблиця 2

Типорозміри заготовки, мм		
45 x 45 x 4	65 x 65 x 6	100 x 100 x 10
Фактичний вихід придатних пористих виробів, %		
80	40	10

Таким чином жодне із нижчезазначених проектно-конструкторсько-технологічних завдань з виробництва пористого скла для осушувальних пристроїв оптико-електронних приладів військового призначення, включаючи технологічну підготовку виробничих потужностей, в промисловому масштабі в Україні поки остаточно не вирішено, а саме:

навар трьохкомпонентного двофазного натрій-бор-силікатного скла з синтетичним хімічним складом $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ та отримання заготовок ДВ-1;

ліквіація скла ДВ-1 способом спеціальної термічної обробки та виготовлення заготовок ДВ-1-Ш;

хімічне травлення заготовок ДВ-1-Ш з метою виробництва пористих скляних елементів для осушувальних пристроїв оптико-електронної апаратури.

При цьому існує певна невизначеність нормативно-документального характеру, пов'язана з тим, що у

діючих стандартах та іншій нормативно-технічній документації пористе скло до сьогодення не отримало офіційного позначення.

Тому в конструкторській та технологічній документації відсутній єдиний підхід до опису технічних характеристик, технічних вимог та технічних умов стосовно пористого скла. З цієї ж причини велика кількість креслень таких відомостей зовсім не містить, що створює певні труднощі для їх правильного розуміння і загрожує подальшими технічними і виробничими помилками.

У той же час в науковій літературі склалася практика, коли матеріал, отриманий, наприклад, із заготовок ДВ-1-Ш з використанням спеціального скла ДВ-1, позначається літерами ПС (пористе скло) і додатково:

або цифрами, що характеризують розмір пір;

або літерою «Ш», яка означає наявність пір величиною більш 100 нм.

Тобто позначення ПС-1-Ш слід розуміти наступним чином: матеріал, що являє собою пористе скло з розміром пір більш 100 нм і отриманий із заготовки ДВ-1-Ш методом хімічного травлення, яка в свою чергу, виготовлена із спеціального скла ДВ-1 з певним вмістом оксиду натрію (Na_2O), оксиду бору (B_2O_3) та діоксиду кремнію (SiO_2) шляхом спеціальної термічної обробки (рис. 5).

Однак і таке позначення пористого скла не можна визнати достатньою мірою інформативним.

Проблема опису характеристик пористого скла в конструкторській та технологічній документації стоїть настільки гостро, що вимагає безоткладного вирішення.

Згідно експлуатаційної документації, технічних описів та інструкцій процес осушення оптико-електронної апаратури військового призначення здійснюється за допомогою осушувальних пристроїв (патронів, картриджів, капсул) – один і більше на кожний прилад. Додатково у складі запасних частин та інструментів подається не менше двох таких пристроїв, а також спеціальні ключі для обслуговування та експлуатації.

Залишкова або проникаюча волога всередині приладів, яка при температурі точки роси конденсується на поверхні оптичних елементів, ефективно поглинається

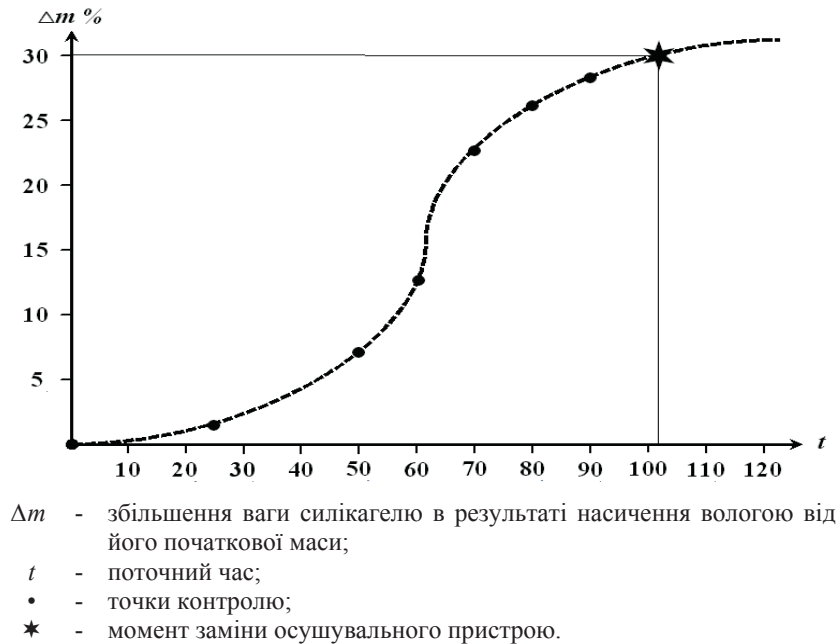


Рис. 6. Графік спостереження за функціонуванням осушувального пристрою та його заміни.

осушувальними пристроями, де у якості сорбентів використовуються: або насипні порошкоподібні силікагелі, або несіпучі твердотільні сорбенти (пористе скло, інші пористі склоподібні та полімерні матеріали), або і те й друге разом.

В процесі експлуатації принципово важливо чітко визначити момент часу, коли сорбент, що є складовою частиною осушувального пристрою, вже наситився вологою і далі не може виконувати свою функцію. Так, наприклад, відомо, що в умовах морського та тропічного клімату, з відносною вологістю 80%, ця подія відбувається кожні 90-120 годин [5, 10].

Необхідно ретельно стежити за роботою осушувального пристрою і своєчасно приймати рішення про його заміну (рис. 6). Для цього в його конструкції, як правило, встановлюється спеціальне оглядове вікно для контролю стану силікагелю, який в міру насичення вологою змінює свій колір.

Тобто, якщо в процесі експлуатації апаратури, що супроводжується періодичним контролем стану осушувального пристрою, який здійснюються візуально через оглядове вікно або автоматично за допомогою сигнального датчика, вага силікагелю збільшилася на 30%, такий пристрій підлягає заміні.

Для подолання несприятливої ситуації у зоні операції Об'єднаних сил на сході України, пов'язаної з надмірним запотіванням оптико-електронної апаратури, слід невідкладно здійснити наступні дії.

По-перше, необхідно ретельно перевірити укомплектованість осушувальними пристроями оптико-електронних приладів, що використовуються військами, і в разі їх недостатності або відсутності вжити вичерпних заходів щодо додаткового постачання в потрібній кількості.

По-друге, слід негайно проконтролювати якість наявних осушувальних пристроїв у частині визначення фактичних параметрів пористого скла в їх конструкції.

Справа в тому, що пористі скляні матеріали в Україні вже давно не випускаються, а експортуються з Німеччини, Китаю, до недавнього часу з Росії, інших країн. Серед них часто зустрічаються такі, що за своїми параметрам не відповідають вимогам, які пред'являються, і навіть відверті фальшивки. Не можна виключати варіант, коли в осушувальних приладах, які експлуатуються в зоні операції Об'єднаних сил, взагалі встановлено не пористе скло, а якісь інший матеріал, що робить осушувальні патрони в принципі непрацездатними.

Якщо такі випадки будуть виявлені, все браковані осушувальні пристрої повинні бути повернуті виробнику з наступною заміною на придатні.

По-третє, є нагальна потреба в організації додаткового навчання особового складу військових формувань правилам експлуатації сучасної оптико-електронної апаратури у частині її осушення.

Механіки-водії, наводчики, військові інших спеціальностей, що мають справу з оптико-електронними приладами, повинні володіти необхідними навичками спостереження за станом осушувальних пристроїв, їх своєчасної заміни і навіть регенерації з урахуванням характеру експлуатації у районі бойових дій.

Для урегулювання проблеми, що виникає при трактуванні конструкторсько-технологічної документації у зв'язку з відсутністю в нормативно-технічних джерелах офіційного позначення пористого скла, пропонується на полі креслення в розділі технічних умов та вимог розмішувати наступні записи стосовно його характеристик.

1. Матеріал ПС-1-Ш пористий, сорбент, за хімічним складом натрій-бор-силікатне скло, діаметр пор 100...200 нм, пористість 34%, відносна вага 1.5...2.0 г/см³, колір молочно-кораловий, згідно ОСТ-3-5692-1984: Пластины пористі зі скла ДВ-1. Типовий технологічний процес виготовлення.

2. Контролювати матеріал ПС-1-Ш на наскрізну пористість крапельним методом, за яким крапля дистильованої води абсорбується на товщину придатного виробу за 1 хвилину згідно ОСТ-3-5692-1984: Пластини пористі зі скла ДВ-1. Типовий технологічний процес виготовлення – п. 4.1. Контроль пластин на наскрізну пористість крапельним методом.

Під пористістю у даному випадку розуміється відношення об'єму пор у виробі до його повного об'єму в %.

Контроль пористих виробів також допускається здійснювати за допомогою електронних або рентгєнівських мікроскопів з роздільною здатністю в межах 2-22 нм, які дозволяють перевіряти безпосередньо розмір пор [7].

При визначенні подальших перспектив виготовлення в Україні осушувальних пристроїв оптико-електронної апаратури необхідно враховувати наступні обставини.

З огляду на реальний стан оптико-електронного напрямку в вітчизняному приладобудуванні, оновлення після тривалої перерви виробництва пористого скла на діючих підприємствах або його перенесення в інші місця при неминучій необхідності нової технологічної підготовки вимагатиме значних коштів та тривалого часу.

Тут виникає відома етична проблема: чи варто на початку ХХІ століття витратити серйозні наукові зусилля, значні виробничі потужності й чималі грошові ресурси на повторення технологій 40-х років минулого віку?

Світова спільнота пішла далеко вперед у розвитку своїх технологічних можливостей. За кордоном вже розроблені та виготовляються як у дрібносерійному, так і в багатосерійному виробництві сучасні пористі матеріали на основі склоподібних, композиційних та полімерних субстанцій, які не передбачають операції хімічного травлення і тому є більш технологічними [12, 13]. Максимальний розмір пористого виробу при цьому може становити 300х300х10 мм.

Маючи на увазі світові тенденції розвитку методів осушення оптико-електронної апаратури, враховуючи існуючий потенціал Національної академії наук України та галузевої науки, доцільніше було би зосередити основну увагу на цих новітніх технологіях, розгорнувши серію науково-дослідних, дослідно-конструкторських і дослідно-технологічних робіт з даної проблематики [5, 8, 9]. До моменту отримання потрібних результатів, пористе скло, необхідне для підтримки в експлуатації існуючих осушувальних пристроїв, можна закуповувати на світовому ринку, забезпечивши контроль його якості на належному рівні.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Авторское свидетельство SU 65594. Патрон для осушки оптических приборов / Наркомвооружения, Ченакал В.Л. – Калуга : Изд-во Госпланиздат, 1945. – 4 с.
- Авторское свидетельство SU 67840. Патрон для осушки оптических приборов / Наркомвооружения, Ченакал В.Л. – М. : Изд-во Московский Печатник, 1947. – 4 с.
- Гребенщиков, И.В. Химические реакции на поверхности силикатов и их значение для техники / И.В. Гребенщиков // Известия АН СССР, ОТН, 1939 – №1. – С. 3-24.
- Карнаухов, А.П. Адсорбция. Текстура дисперсных и пористых материалов / А.П. Карнаухов. – Новосибирск : Изд-во Наука, 1999 – 470 с.
- Криворучко, Я.С. Моделі пористих середовищ [Електронний ресурс] / Я.С. Криворучко, Л.Б. Лерман, Н.Г. Шкода // Збірник наукових праць «Повверхня», 2013. – Вип. 5. – С. 34-37. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pov_2013_5_6.
- ОСТ-3-1899-1981. Заготовки для выщелачивания из стекла ДВ-1. Технические условия. Типовой технологический процесс изготовления. – М. : Изд-во Госстандартов, 1982. – 13 с.
- ОСТ-3-5692-1984. Пластини пористые из стекла ДВ-1. Типовой технологический процесс изготовления – М. : Изд-во Госстандартов, 1985. – 19 с.
- Пак, В.Н. Пористые стекла и наноструктурированные материалы на их основе [Электронный ресурс] / В.Н. Пак, Ю.Ю. Гавронская, Т.М. Буркат. – 2015. – Режим доступа: <http://www.expeducation.ru/article/view?id=6540>.
- Пацаган, Т.М. Статистико-механичне моделювання впливу пористих середовищ на властивості рідин / Т.М. Пацаган. – 2005. – Режим доступу: <http://www.lib.ua-ru.net/diss/cont/132707.html>.
- Применение пористых стекол в качестве мембран в приборах аэрокосмического базирования / О.В. Андреева О.В., Г.Е. Новиков, А.А. Афонюшкин, Д.Д. Темнова, А.И. Голубка // Наносистемы: физика, химия, математика. – Санкт-Петербург : Изд-во Университета информационных технологий, механики и оптики, кафедра фотоники и оптоинформатики, 2010. – Т. 1. – №1. – С. 1-4.
- Хейфец, Л.И. Многофазные процессы в пористых средах / Л.И. Хейфец, А.В. Неймарк. – М : Химия, 1982. – 320 с.
- Patent US20110269621, Porous body and method of producing the same / Nippon Sheet Glass Co., Ltd., Ikuko Emori, Koji Takahashi – Arlington: USPTO, United States Patent and Trademark Office, 2011.
- Patent US20130233018, Method of manufacturing porous glass / Canon, Inc., Kenji Takashima, Zuyi Zhang, Yoshinori Kotani, Akira Sugiyama, Naoyuki Koketsu – Alexandria: USPTO, United States Patent and Trademark Office, 2013.
- Patent US 2106744, Treated Borosilicate Glass / Corning Glass, Inc., Harrison Porter Hood and Martin Emery Nordberg – Alexandria: USPTO, United States Patent and Trademark Office, 1938.
- Patent US 2221709, Borosilicate Glass / Corning Glass, Inc., Harrison Porter Hood and Martin Emery Nordberg – Alexandria: USPTO, United States Patent and Trademark Office, 1940.
- Patent US 2286275, Method of Treating Borosilicate Glasses / Corning Glass, Inc., Harrison Porter Hood

- and Martin Emery Nordberg – Alexandria: USPTO, United States Patent and Trademark Office, 1942.
17. Patent US 4927442, Method of producing open-pore sintered glass filters and product / Schott Glaswerke, AG, Norbert Greulich; Werner Kiefer; Veronika Rehm – Arlington: USPTO, United States Patent and Trademark Office, 1989.
18. Porous and Reconstructed Glasses / Corning Glass, Inc., Thomas H. Elmer // Engineered Materials Handbook,

Vol. 4, Ceramic and Glasses – Materials Park: ASM, Materials Information Society, 1991.

Стаття надійшла до редколегії 16.10.2018 р.

Рецензент М.І. Васьківський д-р техн. наук, проф.
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)