

О.В. Глоба¹, канд.техн.наук, доц., О.А. Шевченко², канд.техн.наук, доц.
1 - НТУ України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна
2 - Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

РЕМОНТ ПОШКОДЖЕНЬ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ТА КОМПЛЕКТУ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ ЗАСОБІВ

Розроблено універсальний ремонтний комплекс, який включає комп'ютерні програми, експертну систему із базами даних та комплект інструментальних засобів. Запропоновано метод ремонту пошкоджень елементів конструкцій літальних апаратів із полімерних композиційних матеріалів, головною особливістю якого є додаткове пришивання країв ремонтних латок. Для реалізації методу розроблено комплект інструментальних засобів на основі універсального пневмоприводу з набором змінних технологічних насадок і комп'ютеризований комплекс для свердлення і пришивання.

A universal repair complex, which includes computer software, expert system with data bases and a set of tools is developed. The method of repairing aircraft structures made of polymer composite materials, whose main feature is the additional edge sewing of repair patches is proposed. To implement the method set of tools based on a universal set of variables with pneumatic nozzles and computerized technological system for drilling and sewing is developed.

Композиційні матеріали (КМ) дуже широко використовуються у конструкціях сучасних транспортних засобів цивільного і, особливо, військового призначення, оскільки КМ мають велику питому міцність, що дозволяє суттєво підвищити ефективність конструкцій з них, навіть незважаючи на їх значну собівартість. В конструкціях військових літальних апаратів (ЛА) КМ практично замінила традиційні метали, а у ЛА цивільного призначення спостерігається аналогічна тенденція і, якщо у цивільних літаках останнього покоління до 20% відносної ваги несучих поверхонь, агрегатів і фюзеляжу виготовляються з КМ [1], то у найсучаснішому В.787 ваги КМ перевищує 50%. Раніше використання КМ стримувало, як з відсутністю досвіду експлуатації таких конструкцій, так і досить складна їх технологія виробництва, але зараз практично усі елементи конструкцій ЛА можуть бути виготовлені з КМ, або з металокомпозитів.

У конструкціях сучасних ЛА використовуються в основному полімерні композиційні матеріали (ПКМ), які виготовлені на основі скло-, вугле та органічних волокон. Конструкції з ПКМ набагато технологічніші ніж аналогічні металеві та мають значно (до 40%) меншу вагу, але вони суттєво дорожчі. Велика вартість та значні розміри елементів з ПКМ примушують виконувати ремонт цих елементів, а не замінювати їх при виникненні пошкоджень в процесі експлуатації. Зважаючи на це важливою проблемою є впровадження обґрунтованих технологій ремонту із залученням сучасних комп'ютерних технологій та розробка інструментальних засобів для проведення ремонту пошкоджень в елементах із ПКМ в процесі експлуатації. Аналіз експлуатаційних пошкоджень та особливостей ремонту таких елементів є дуже важливими для розробки нових ефективних технологій їх ремонту, тому подальші дослідження цієї тематики є важливою науково-технічною проблемою.

Спроба авторів щодо комплексного розв'язання цієї проблеми представлена у статті [2]. У монографії [3] надано аналіз різноманітних дефектів у армованих пластиках, також наведено дані по пошкодженнях елементів авіаційних конструкцій при їх експлуатації та випробуваннях. Ефективність використання ПКМ у конструкціях сучасних літальних апаратів військового та цивільного призначення досліджено у роботі [1], в якій також надано аналіз використання ПКМ в конструкціях літаків сімейства АН. Можливі дефекти, їх класифікація по ступені пошкодження та методи ремонту пошкоджень у неметалевих конструкціях із заповнювачем розглядається у роботі [4].

Наробки, отримані в результаті досліджень ПКМ та їх впровадження в конструкціях літаків сімейства АН, дозволили здійснити більш складну програму по створенню високоавантажених агрегатів із ПКМ для широкофюзеляжного літака Ан-70, в конструкції якого обсяг

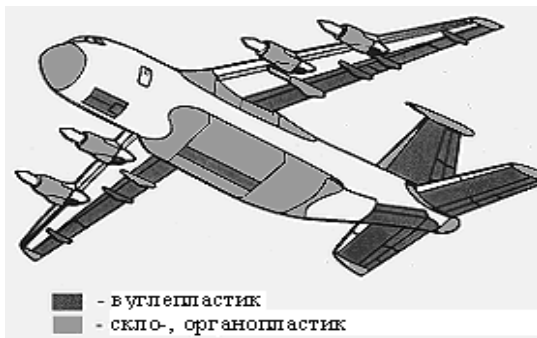


Рис. 1. Застосування ПКМ у конструкції Ан-70

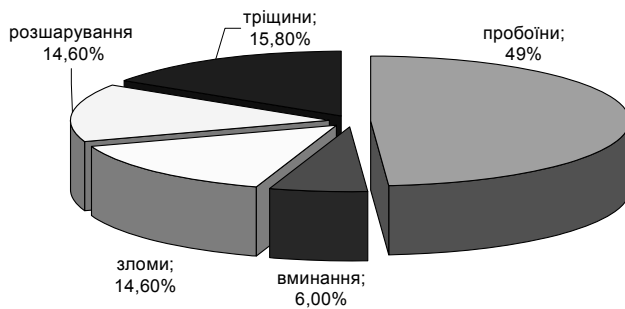


Рис. 2. Частота виникнення різних пошкоджень в елементах з вуглепластика

постановки спеціальних ремонтних вставок за допомогою спеціально розробленого ремонтного комплекта на основі універсального пневмоприводу з набором змінних технологічних насадок. Ремонт конструкцій із ПКМ, які мають пошкодження типу пробоя за допомогою ремонтних вставок виконується наступним чином, спочатку висвердлюється круглий отвір, який повністю перекриває пробій та пошкоджені краї. Далі на краях отвору виконується скос або радіус (рис. 3, а) в залежності від товщини матеріалу та рекомендованої технології ремонту, а потім в підготовлений отвір вставляється ремонтна вставка (рис. 3, б).

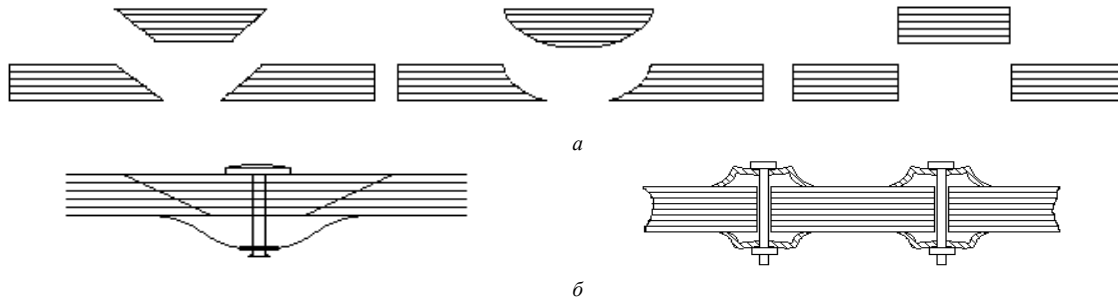


Рис. 3. Види підготовлених під ремонт поверхнь та заплат для них у вигляді ремонтних вставок (а) та методи їх постановки (б)

Для вирізання круглих отворів розроблено ряд кільцевих свердл, які виготовлені з швидкорізучої сталі або мають алмазне покриття. Цими інструментами можна, як свердлити отвори так і виготовляти накладки. Інструменти встановлюються в спеціальну технологічну насадку представлену на малюнку (рис. 4).

Насадка складається з основи, в яку вмонтовані три пневмоприсоски. Останні призначені для кріплення пристосування на поверхні, яка обробляється. Пристосування із закріпленою насадкою встановлюється на пошкоджену поверхню, за допомогою присосок закріплюється на цій поверхні і проводиться висвердлювання її пошкодженої частини. Скоси можуть виконуватися залежно від діаметра отвору або спеціальними алмазними інструментами, або спеціальною насадкою, яка представлена на малюнку (рис. 5). Відповідно до їх призначення насадки можуть знімати фаски в отворах, як на прямолінійних поверхнях, так і на поверхнях, що мають кривизну. При роботі з головками дотримуються певної послідовності. У отвір що оброблюється вставляють опорну втулку, що має вертикальну напрямну качалку для інструментальної голівки. Потім на качалку встановлюють інструментальну голівку. Кутова або спеціальна фреза встановлена в головці при цьому знімає фаску на заданий кут або профіль.

Для виконання скосів може також використовуватися пристосування, у якому встановлено спеціальний інструмент, який здійснює обертальний рух навколо своєї осі, що рухається по заданій йому траєкторії. Виліт інструмента може налаштовуватися на заданий розмір.

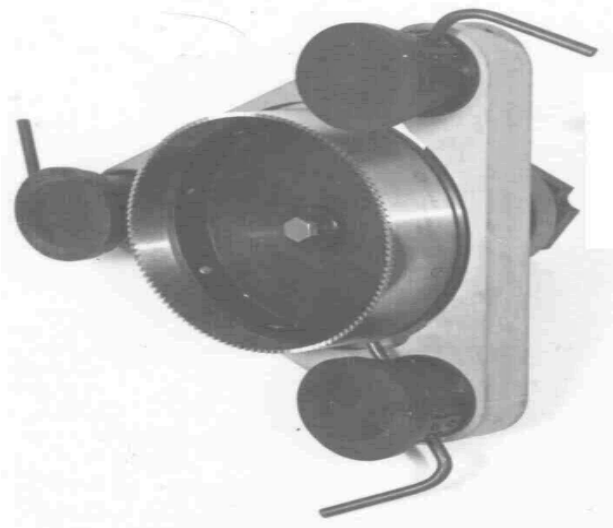


Рис. 4. Насадка для висвердлення отворів

Оснoву комплекту складає універсальний пневмопривід з набором змінних технологічних насадок, який призначений для перетворення потенційної енергії стислого повітря в кінетичну енергію шпинделя і передачі її у вигляді обертання і крутного моменту на насадку. Кожна з насадок разом з пневмоприводом утворює один з різновидів ручного механізованого інструменту, призначеного для виконання

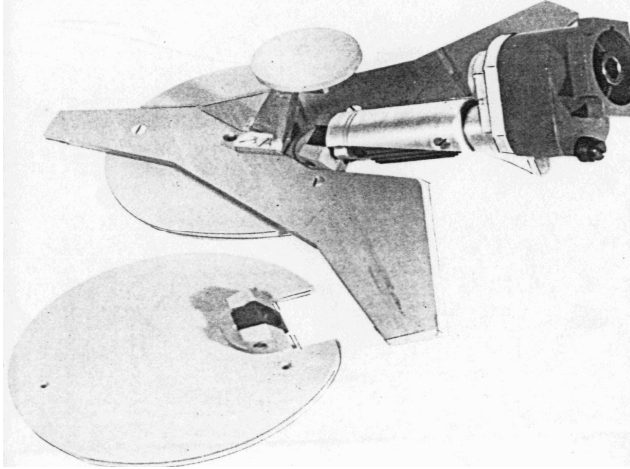


Рис. 5. Насадка для виконання скосов

конкретних технологічних операцій (свердління, розрізання, розтин великих отворів, зачистка, полірування тощо). Обертання ріжучих елементів у насадках здійснюється універсальним пневматичним приводом (рис. 6).

Привід складається з власне приводу і змінних редукторних головок. У залежності від потрібного режиму роботи до гільзи під'єднуються змінні редуктора якими регулюється частота обертання приводу (остання може регулюватися і за рахунок дроселювання). Із метою зручності роботи привід може бути використаний у вигляді циліндра або у вигляді пістолета, для чого вона має знімну ручку. Крім перерахованих вище для вирізки пошкоджених ділянок застосовується і інші насадки - пила ножівкова горизонтальна і вертикальна, перфоратори і шнекові насадки; дискові і прямі ножиці (рис.

7).

Привід складається з власне приводу і змінних редукторних головок. У залежності від потрібного режиму роботи до гільзи під'єднуються змінні редуктора якими регулюється частота обертання приводу (остання може регулюватися і за рахунок дроселювання). Із метою зручності роботи привід може бути використаний у вигляді циліндра або у вигляді пістолета, для чого вона має знімну ручку. Крім перерахованих вище для вирізки пошкоджених ділянок застосовується і інші насадки - пила ножівкова горизонтальна і вертикальна, перфоратори і шнекові насадки; дискові і прямі ножиці (рис. 7).

Розглянутий вище універсальний комплект для обробки конструкцій з ПКМ повністю забезпечує проведення всіх технологічних операцій з виконання ремонтних робіт елементів. Комплект дозволяє проводити ремонт на виробництві, в польових умовах, на виробі та на знятих вузлах і агрегатах.



Рис. 6. Привід пневматичний універсальний

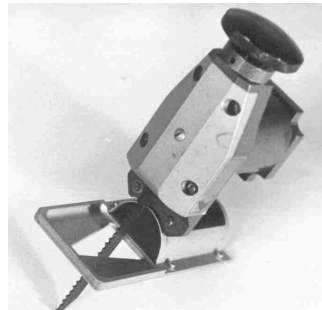
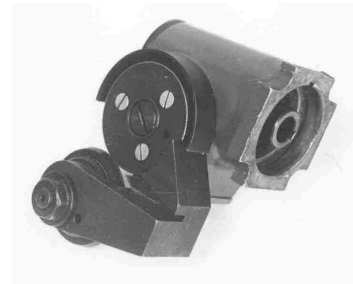


Рис. 7. Приклад змінних технологічних насадок



В попередній роботі авторів статті [2] для аналізу міцності елементів конструкцій із ПКМ, які мають експлуатаційні пошкодження, запропонована автоматизована система, структурна схема алгоритма реалізації якої представлена на рис. 8. При виявленні експлуатаційних пошкоджень і визначенні їх розмірів та координат розташування, система дозволяє проводити аналіз їх впливу на міцність елемента з метою вибору стратегії та методу ремонту. Система базується на алгоритмі, в якому порівнюється дійсний розмір пошкодження з критичним розміром пошкодження даного типу і орієнтації у даній зоні елемента із ПКМ. Умова перевірки чи є експлуатаційне пошкодження критичним, чи ні полягає у порівнянні характерного розміру пошкодження ($2L_{експл}$) з його допустимим розміром ($2L_{доп}^i$) для i -го типу дефекта или повреждение в конкретной зоне соответствующего элемента из ПКМ и может быть записана так:

$$2L_{експл} < 2L_{доп}^i$$

При виконанні цієї умови можна обмежитись так званим «Косметичним ремонтом» або тимчасовим, або постійним, які не потребують значних матеріальних витрат.

У випадку, коли характерний розмір пошкодження ($2L_{експл}$) є більшим ніж допустимий розмір ($2L_{доп}^i$), тобто виконується умова, то в цьому випадку за допомогою

$$2L_{експл} \geq 2L_{доп}^i$$

Експертної системи (рис. 8) із відповідних баз даних (БД) вибирається необхідна технологічна операція і відповідні їй інструменти та устаткування, а також відповідні ремонтні елементи. Складається операційна карта технології ремонту, на основі якої і виконується ремонт.

У випадку виявлення у конструктивному елементі із ПКМ нетипового експлуатаційного пошкодження для прийняття обґрунтованого рішення про ремонт може бути використаний програмний комплекс для оцінки пошкодження з точки зору його критичності. Далі підбирається відповідна технологія ремонту і складається необхідна операційна карта. Якщо за допомогою програмного комплексу та експертної системи (рис. 8) неможливо прийняти обґрунтоване рішення, то тільки у цьому випадку інформація про нетипове пошкодження передається у відповідний відділ розробника, або у спеціальний сервісний центр, якому надано повноваження по прийняттю рішень по нетиповим ремонтам та по їх проведенню. Інформація, яка буде отримана в результаті оцінки нетипового пошкодження та його подальшого ремонту концентрується в електронному вигляді у спеціальній базі даних (БД), для подальшої можливості її аналізу і використання при виникненні аналогічних пошкоджень.

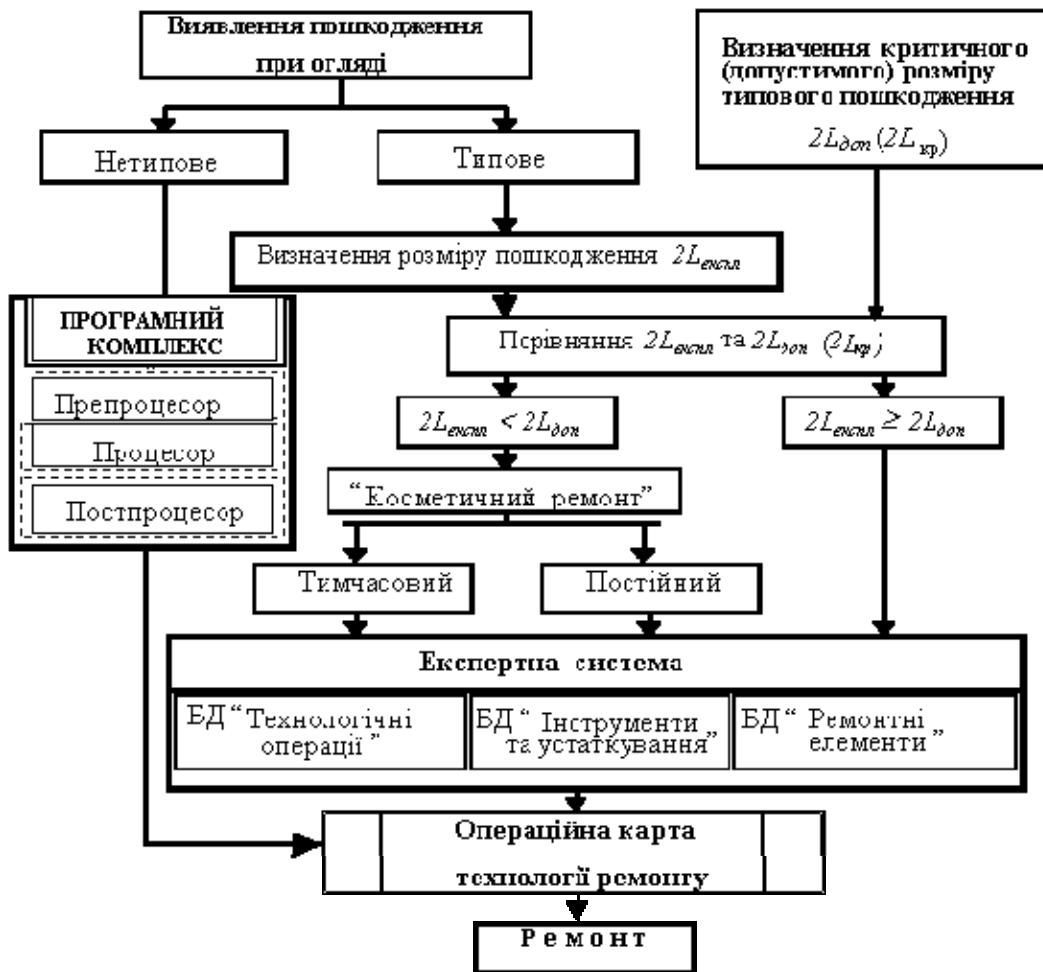


Рис. 8. Структурна схема комплексної системи ремонту пошкоджень

Типовими методами ремонту кризних пробіів, що закладені у експертну систему є технології постановки латок (рис. 3), які досить швидко можуть бути реалізовані, але вони погіршують аеродинамічні характеристики поверхні та мають недостатню міцність, тому можуть бути використані для військових літаків, або як тимчасовий ремонт. Для довготермінового ремонту може бути використаний метод постановки приформованих латок (рис. 9, а), особливістю постановки яких полягає у накладанні на пошкодження і на підготовлені поверхні навкруги пошкодження просочення шарів тканини, або препрега. Підготовка поверхні навкруги місця для даного виду ремонту полягає у скошенні країв вирізу на заданий кут. Кут скошення за даними одних джерел складає 5°, 7°, 10° та навіть 15°, а за даними інших надається у вигляді відношення ширини ділянки скошу до товщини (δ) і складає $16 \div 32 \delta$ і навіть 100δ за інформацією [4].

При навантаженні у скошеній склейці виникають додаткові напруження відриву, які особливо небезпечні на краях клейового шва, тому дуже корисним може бути додаткове стягування біля края клейового шва. З метою ремонту елементів за допомогою вставок або латок, які вформовані у підготовлений отвір, пропонується додатково використовувати пришивання країв латок дворядним швом. Один рядок шва повинен проходити біля зовнішнього краю латки на відстані 8-10 мм, а другий біля внутрішнього на такій самій відстані (рис. 9, б). Використання даної технології дозволить зменшити скос краю отвору, підготовленого до постановки латки, та підвищити міцність вклеїної вставки чи приформованої латки.



Рис. 9. Види ремонту шляхом постановки приформованих латок (а) та з пришиванням їх країв (б)

Для виконання свердління отворів і пришивання країв вставок або латок розроблено конструкцію універсального комп'ютеризованого комплексу, який представлено на малюнку (рис. 10). Комплекс складається з основного пристрою, який виконує свердління отвору для подальшого ремонту за заданою програмою, виконання скосів крайок отвору під необхідним кутом і свердління отворів у які потім буде входити голка з кріпильною ниткою; комп'ютерного блоку управління основним пристроєм; пневмостанції, що подає стиснене повітря на привід головного руху пристрою при свердлінні отворів.

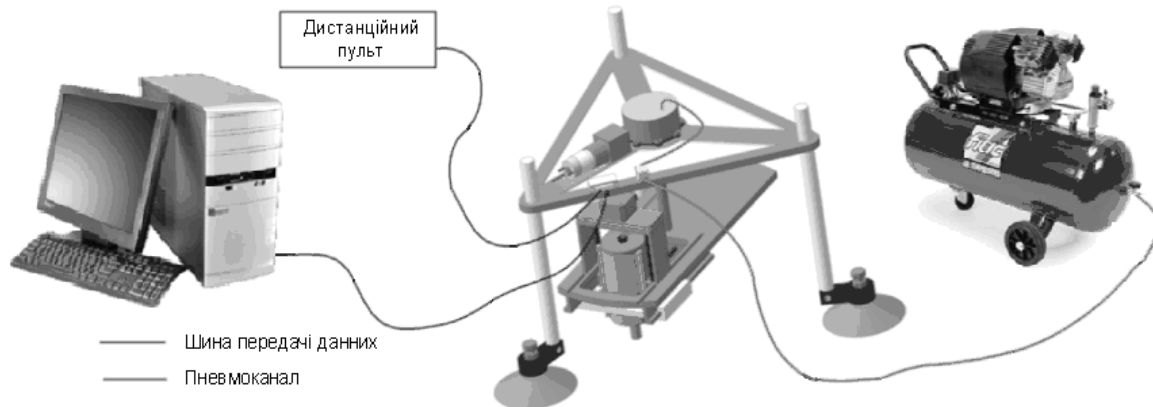


Рис. 10. Комп'ютеризований комплекс для виконання свердління отворів і пришивання латок

Для виконання свердління отворів під наступне входження голка з кріпильною ниткою може бути також використана багатошпindelна голівка з регульованою відстанню від центру латки. Пришивання виконується спеціальним пристосуванням, в якому голка переміщується по відповідному діляльному пристрою. Другий більш спрощений варіант у порівнянні з комп'ютеризованим комплексом має один суттєвий недолік - необхідність точного позиціонування голки у процесі пришивання, що є достатньо складним завданням.

Висновки.

На основі аналізу експлуатаційних пошкоджень в елементах конструкцій літальних апаратів із полімерних композиційних матеріалів і технологій їх ремонту розроблено універсальний ремонтний комплекс, який включає комп'ютерні програми, експертну систему із базами даних та комплект інструментальних засобів. Даний комплекс дозволить швидко вибрати оптимальний метод ремонту та необхідний комплект інструментів для його реалізації.

Запропоновано новий метод ремонту пошкоджень типу пробоїв в елементах із ПКМ, головною особливістю якого є додаткове пришивання країв ремонтних латок. Даний метод забезпечує підвищення міцність відремонтованого елемента конструкції і подовження термін його експлуатації.

Для реалізації запропонованого методу ремонту та методів, які закладені у ремонтний комплекс, розроблено комплект інструментальних засобів на основі універсального пневмоприводу з набором змінних технологічних насадок і комп'ютеризований комплекс для свердління отворів і пришивання країв латок.

Список літератури

1. Астанін В.В., Хоменко А.В., Шевченко О.А. Композиційні матеріали у конструкціях сучасних літальних апаратів. – К.-Вісник НАУ, №3, 2004. – С. 46-52.
 2. Глоба А.В., Шевченко О.А. Комплексная система поддержки жизненного цикла элементов из композиционных материалов – К.-Вісник НТУУ (КПІ), № 44, 2003, С. 182-187.
 3. Серенсен С.В., Зайцев Г.П. Несущая способность тонкостенных конструкций из армированных пластиков с дефектами. – Киев: Наук. Думка, 1982. – 296 с.
 4. Панин В.Ф., Гладков Ю.А. Конструкции с наполнителем: Справочник. – М.: Машиностроение, 1991. – 272с.
 5. Карпусенко Б.Ф. Ремонт конструкций из композиционных материалов. Обзор.– В сб.: Техника, экономика, информация. Сер. «Техника и технология», 1985, вып.2. С. 28–33.
- Глоба А.В. Ремонт виробів з листового композиційного матеріалу. Наука, техніка, виробництво. Експрес-новини.–К.: № 5-6.1999. С.17-19.