

# Актуалізація технологічного базису ремонту складових частин із полімерних композиційних матеріалів планера літака

Р. В. Качмар<sup>1</sup> • Г. О. Кривов<sup>2</sup> • Д. М. Єрмолін<sup>1</sup> • В. А. Матвієнко<sup>2</sup> • В. В. Баклан<sup>2</sup> • А. М. Рудько<sup>2</sup>

Received: 11 September 2020 / Accepted: 24 November 2020

**Анотація.** У статті наведено основні результати реалізованого комплексу робіт з метою актуалізації технологічного нормативного базису, що регламентує технології ремонту типових експлуатаційних дефектів складових частин (СЧ) із полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) планера літака МіГ-29. Виконано перегляд, внесені доповнення, уточнення відповідних положень діючої на Державному підприємстві “Львівський державний авіаційно-ремонтний завод” (ДП “ЛДАРЗ”) технологічної документації та задокументовано технології ремонту у форматі типових технологічних процесів (ТПП).

Розроблені ТПП передбачають використання для ремонту сучасних матеріалів із відповідними характеристиками міцності та технологічності, а також широкої номенклатури засобів технологічного оснащення.

Впровадження результатів роботи сприятиме забезпеченню стабільності показників якості ремонту, зменшення впливу на них суб’єктивних чинників.

**Ключові слова:** технологічний нормативний базис; льотна придатність; полімерний композиційний матеріал; складова частина літака; експлуатаційний дефект; типовий технологічний процес ремонту; маршрутний технологічний процес ремонту.

## Вступ

На теперішній час ремонт та модернізація продовжують залишатися одними з найбільш ефективних напрямів підтримання льотної придатності вітчизняного парку як цивільних, так і військових літаків різних поколінь.

Обсяг використання ПКМ в масі планера військових літаків, які були введені в експлуатацію у 1970 – 1980-х рр., становить  $\approx 2\text{--}5\%$  [1, 2]. Використання в конструкціях авіаційної техніки (АТ) замість металевих сплавів ПКМ обумовлено перевагами останніх.

Практика свідчить, що значна частина проблем з підтримання льотної придатності та забезпечення заданого рівня безпеки польотів літаків, які експлуатуються достатньо тривалий час, вирішується авіаре-

монтними підприємствами в умовах імпортозаміщення та диверсифікації імпорту матеріалів, напівфабрикатів, комплектуючих виробів.

Проведений авторами аналіз стану галузевого нормативно-технічного базису, який регламентує, у тому числі, технологію ремонту дефектів СЧ із ПКМ планера літака, свідчить про таке:

- 80–90 % документів, які складають цей базис, розроблено та введено в дію у 1970 – 1990 р.р. Значна їх частина не є актуалізованими і не відображають науково-технічний рівень сучасного авіабудування та авіаремонту;

- нормативно-технічна документація (НТД) ремонту дефектів конструкцій планера літака із ПКМ є частиною галузевого нормативно-технічного базису і представлена в його структурі невеликою кількістю документів, які не супроводжуються їх розробниками протягом тривалого часу;

- внаслідок викладених вище обставин, переважна частина положень вказаних НТД потребує системного перегляду, актуалізації, а також трансформації в корпоративні стандарти (КОСТ) або технологічні регламенти відповідних авіапідприємств.

✉ Р. В. Качмар  
krv1958ua@gmail.com

<sup>1</sup> ДП “Львівський державний авіаційно-ремонтний завод”, м. Львів, Україна;

<sup>2</sup> АТ “Український науково-дослідний інститут авіаційної технології”, м. Київ, Україна

Наведені нижче матеріали містять інформацію щодо основних результатів робіт виконаних спільно ДП “ЛДАРЗ” та УкрНДІАТ з метою актуалізації технологічного базису ремонту СЧ із ПКМ планера літака МіГ-29.

### Типові експлуатаційні дефекти СЧ із ПКМ планера літака МіГ-29

На сьогодні частка ПКМ у загальній масі планера літака МіГ-29 (вуглепластик КМУ-4л /ТУ 6-06-И81-8/; склопластик – склотекстоліт ВФТ-С /ТУ-35-ХП-814-65/) складає близько 3% [2]. Із КМУ-4л виготовлені такі деталі літака: панелі кіля; обшивки закінцівок крила; кришки лючків. Із ВФТ-С виготовлені деталі конструкційного і радіотехнічного призначення, зокрема, антенні обтічники, кришки лючків радіоелектронного обладнання та інші [1–3] (рис. 1).

За результатами аналізу виявлених типових дефектів СЧ із ПКМ, які виникають в результаті інтенсивного механічного впливу в процесі експлуатації літака типу МіГ-29, а також з урахуванням дефектів загальноприйнятої класифікації згідно з [4] (рис. 2), найбільш характерними механічними дефектами є такі:

- подряпина;
- скол;

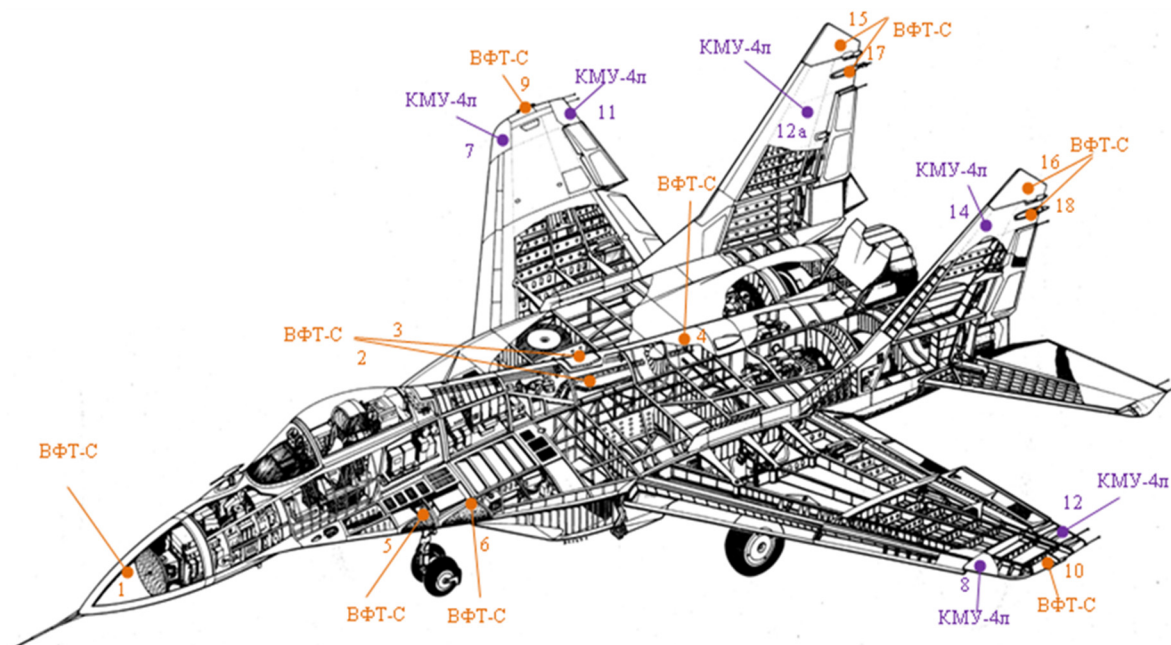
- забоїна;
- розшарування;
- вм’ятина;
- наскрізний прокол та пробоїна;
- тріщина;
- відшарування.

Крім механічних, до переліку дефектів СЧ із ПКМ слід додати дефекти, обумовлені негативною дією на ПКМ кліматичних факторів в процесі довготривалої експлуатації [5]. Насамперед, це стосується такого дефекту СЧ із склотекстоліту як – збідніння поверхневого шару сполучником, що все частіше виявляється під час передремонтної дефектації літака.

### Актуалізація нормативно-технологічного базису ДП “ЛДАРЗ” щодо ремонту дефектів СЧ із ПКМ планера літака МіГ-29

Технології ремонту дефектів СЧ із ПКМ літака на ДП “ЛДАРЗ” регламентується такими документами [6, 7]:

- Технологічні процеси ремонту агрегатів планера літака МіГ-29 із вуглепластику;
- Технологічні процеси ремонту агрегатів планера літака МіГ-29 із склопластику.



**Рис. 1.** Використання ПКМ в конструкції планера літака МіГ-29 [1-3]: 1 – обтічник антени РЛС Н-019ЭА; 2 – кришка лючка верхнього гроту; 3 – кришка лючка; 4 – кришка лючка верхнього гроту; 5 – обтічник (прав/лів); 6 – обтічник (прав/лів); 7, 8 – закінцівки плоскостей крила; 9, 10 – закінцівки плоскостей крила; 11, 12 – закінцівки плоскостей крила; 12а (прав/лів), 14 (прав/лів) – панель кіля; 15 – обтічник антени радіостанції Р-862М; 16 – обтічник антени системи передачі даних БРЛ; 17, 18 – кок

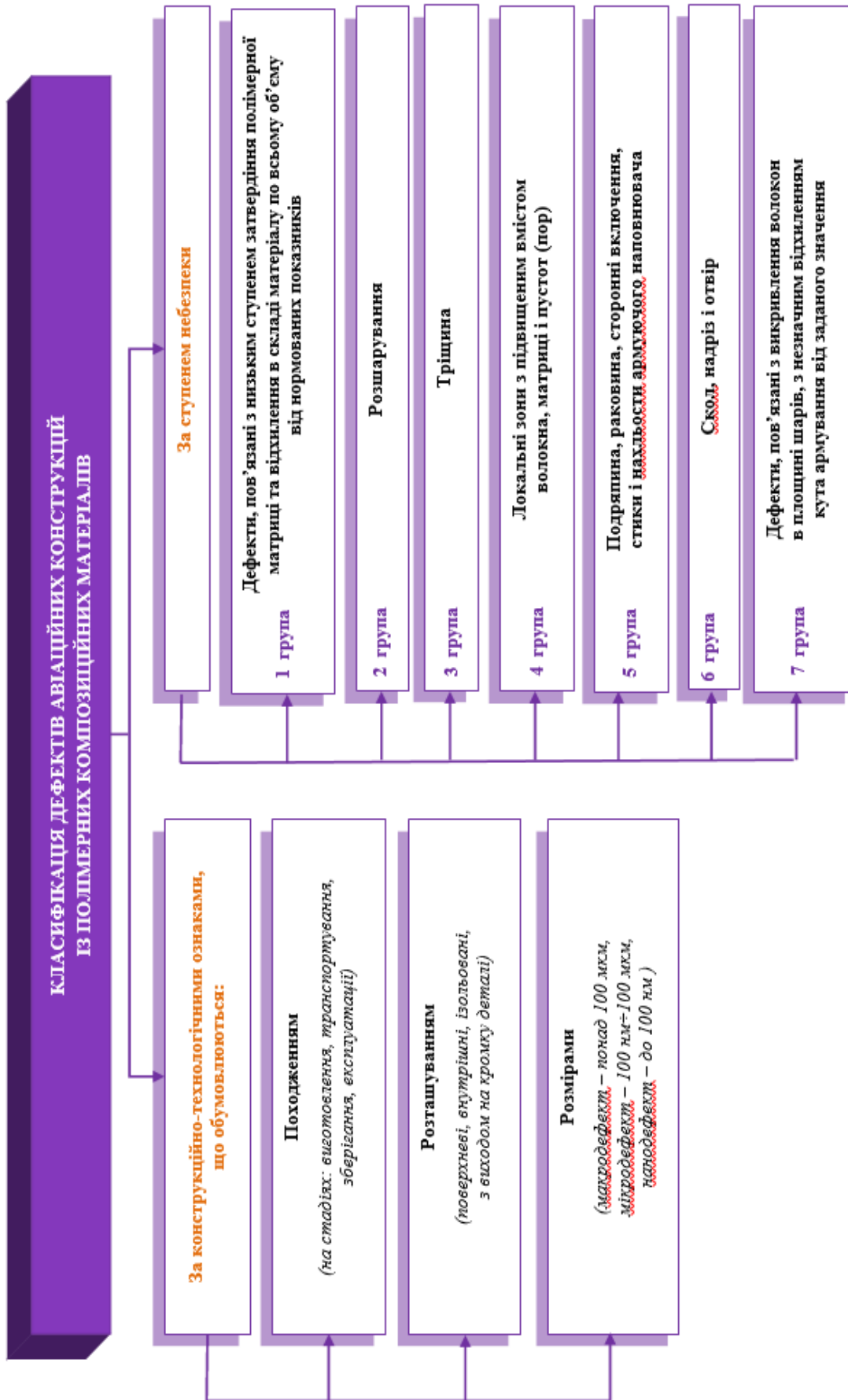


Рис. 2. Класифікація дефектів авіаційних конструкцій із ПКМ [4]

Аналіз зазначених вище НТД, які на сьогодні складають нормативно-технологічний базис ремонту дефектів СЧ із ПКМ літака засвідчує, що вона розроблена на початку 1980-х років. У зв'язку з цим, основними напрямками актуалізації зазначених вище нормативно-технологічних документів ДП “ЛДАРЗ” стало:

– перегляд, доповнення, уточнення відповідних положень;

– передбачення, для ремонту дефектів СЧ із ПКМ планера літака, можливості використання сучасних матеріалів із відповідними характеристиками міцності та технологічності;

– представлення всіх технологій ремонту дефектів СЧ із ПКМ планера літака у форматі ТТП.

За результати аналізу зазначених вище типів дефектів СЧ із ПКМ, що виникають в процесі експлуатації літака МіГ-29 і виявляються на ДП “ЛДАРЗ”, визначено перелік ТТП ремонту типових експлуатаційних дефектів СЧ із ПКМ – вуглепластика та склопластика, які підлягають актуалізації. Розроблені, з урахуванням накопиченого на ДП “ЛДАРЗ” та у галузі досвіду в технології ремонту дефектів СЧ із ПКМ літака, а також досліджень у цій сфері УкрНДІАТ [6, 7], актуалізовані ТТП за обсягом та формою відповідають вимогами відповідної НТД [8, 9]:

- для СЧ із вуглепластика:
  - “Ремонт сколу вуглепластика по торцю обшивки”;
  - “Ремонт розшарування вуглепластика по кутам та кромкам обшивки”;
  - “Ремонт внутрішніх розшарувань обшивки із вуглепластика”;
  - “Ремонт забоїни та вм'ятини на обшивках із вуглепластика”;
  - “Ремонт подряпини обшивки без пошкодження поверхневого шару вуглепластика”;
  - “Ремонт подряпини з пошкодженням першого шару обшивки із вуглепластика”;
  - “Ремонт подряпини з пошкодженням глибше першого шару обшивки із вуглепластика”;
  - “Ремонт тріщини на обшивках із вуглепластика”;
  - “Ремонт наскрізних проколу та пробоїни обшивки із вуглепластика”;
  - “Ремонт відшарування склотканини з виходом на торець обшивки”;
- для СЧ із склопластика:
  - “Ремонт відшарування, зриву зовнішнього шару, механічних пошкоджень у вигляді лінійних подряпин з порушенням цілісності одного-двох шарів обшивки із склопластика”;
  - “Ремонт розшарування по кромкам обшивки із склопластика”;
  - “Ремонт розшарування двох і більше шарів обшивки із склопластика”;

- “Ремонт розшарування обшивки із склопластика у зоні заклепкового шва”;
- “Ремонт забоїни та вм'ятини на обшивках із склопластика”;
- “Ремонт подряпини та тріщини обшивки із склопластика”;
- “Ремонт наскрізного проколу та пробоїни обшивки із склопластика”;
- “Ремонт збідніння поверхневого шару обшивки із склопластика сполучником”;
- “Видалення вологи із деталей (вузлів) із склопластика та вуглепластика”.

### **Актуалізація нормативно-технологічного базису ДП “ЛДАРЗ” щодо ремонту стикових накладок кіля літака МіГ-29**

Одна з особливо-важливих технологій ремонту літака МіГ-29 пов'язана із ремонтом та заміною стикових накладок кріплення кіля літака МіГ-29 до підкільової надбудови (рис. 3). Стабільність якості ремонту цього агрегату планера літака істотно впливає на льотну придатності та забезпечення заданого рівня безпеки польотів літака.

Раніше, в результаті виконання спеціалістами ДП “ЛДАРЗ” комплексу чисельних та експериментальних досліджень [10-12] з урахуванням [13], було встановлено:

- стоншення стикових накладок кріплення кіля літака МіГ-29 внаслідок корозії є найбільш небезпечним дефектом, що знижує статичну і динамічну міцність кіля літака;
- корозія має електрохімічний характер і виникає в місцях контакту накладок із алюмінієвого сплаву Д-19 із панелями кіля, виготовлених з вуглепластика КМУ-4л;
- ступінь впливу умов експлуатації літака (температура навколишнього середовища, відносна вологість повітря, опади тощо) на інтенсивність розвитку процесу електрохімічної корозії;
- ступінь впливу корозійних уражень стикових накладок кіля літака на міцність силової конструкції кіля в цілому;
- умови, за якими необхідно виконувати заміну стикових накладок та конструктивні параметри ремонту.

З урахуванням, у тому числі, зазначених вище результатів, а також положень діючої на ДП “ЛДАРЗ” НТД, яка регламентує виконання ремонту стикових накладок панелей кіля літака, розроблено комплексний маршрутний технологічний процес (МТП) ремонту кіля. МТП охоплює роботи, які використовуються у відповідних виробничих підрозділах на всіх етапах ремонту, пов'язаних із заміною стикових накладок. МТП передбачає виконання ремонту із використанням, у тому числі, окремих ТТП, згаданих вище.

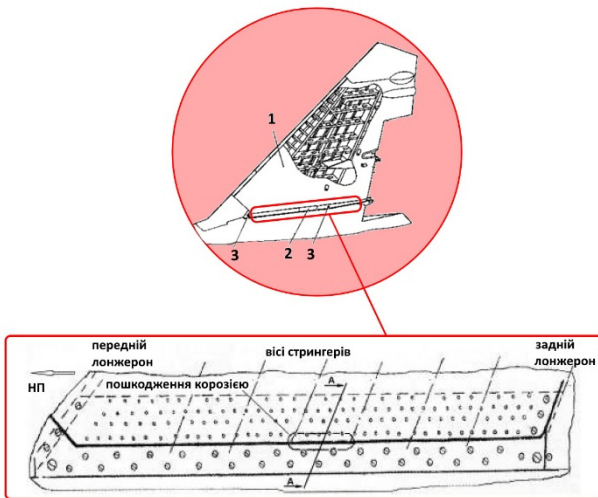


Рис. 3. Кіль літака МіГ-29: 1 – панель кіля; 2 – стикова накладка; 3 – заклепки з'єднання стикової накладки з панеллю [12]

### Сучасні матеріали та засоби технологічного оснащення (ЗТО) ремонту, використання яких передбачено актуалізованими ТТП і МТП

Значна кількість діючих на ДП “ЛДАРЗ” технологічних регламентів передбачає використання, для виконання ремонту дефектів СЧ із ПКМ, в якості основного сполучного матеріалу клей холодного отвердіння ВК-9.

З огляду на необхідність вирішення актуальних проблем диверсифікації імпорту матеріалів, які використовуються для ремонту АТ, проведено аналіз світового ринку аналогічних ВК-9 клеїв. Встановлено, що найбільш близьким аналогом ВК-9, за характеристиками міцності та часу полімеризації, є двокомпонентний клей холодного отвердіння на основі епоксидної смоли 3M Scotch-Weld 7260 виробництва компанії 3M (США). Порівняльний аналіз основних властивостей

клеїв 3M Scotch-Weld 7260 та ВК-9 представлений у табл. [14-17].

Клей 3M Scotch-Weld 7260 є, у порівнянні з клеєм ВК-9, більш технологічним. Це обумовлено тим, що товщина клейового шару по всій площині з'єднання формується завдяки спеціальним скляним кулькам діаметром 0,3 мм, які містяться у клеї [15]. Товщина шару полімеризованого клею у межах 0,1–0,3 мм є оптимальною з точки зору забезпечення найбільш високих значень статичної та втомної міцності клейового з'єднання [18, 19].

Компоненти клею 3M Scotch-Weld 7260 знаходяться у спеціальному подвійному пластиковому картриджі, а його нанесення здійснюється ручним аплікатором-пістолетом 3M EPX із змішувальною насадкою 3M EPX QUADRO (рис. 4).

З метою забезпечення стабільності та зменшення впливу суб'єктивних чинників на якість виконання операцій технологічних процесів ремонту ТТП та МТП передбачають використання гами сучасного механізованого інструменту та приладів неруйнівного контролю відремонтованих СЧ (рис. 5).



Рис. 4. Розміщення картриджу клею 3M Scotch-Weld 7260 в аплікаторі-пістолеті 3M EPX [16]

Таблиця. Порівняльний аналіз основних фізичних властивостей клеїв 3M Scotch-Weld 7260 та ВК-9 [14–17]

№ з/п	Клей, марка			
	Основні фізичні властивості			
1.	Склад	Наповнювач: - колір; - щільність, г/см <sup>3</sup>	Епоксидна смола, чорний / жовтий; 1,35	Епоксидна смола, сірий / білий; -
		Отверджувач: - колір; - щільність, г/см <sup>3</sup>	Модифіковані аміни, білий / червоний; 1,04	Поліамідна смола, продукти АГМ-3 та АДЭ-3, азбест подрібнений; -
2.	В'язкість		В'язко-текуча паста	В'язко-текуча паста
3.	Час життєздатності при 23°C		60 – 90 хв	120 хв
4.	Час досягнення максимальної міцності при: температурі 60°C (в печі) / кімнатній температурі 18–30°C та відносній вологості 75%		1 год / 24 год	1 год / 24 год





Рис. 5. Сучасні ЗТО для ремонту дефектів СЧ із ПКМ планера літака

## Висновки

Впровадження представлених вище результатів в практику ремонту СЧ із ПКМ планера літака МіГ-29 дозволить:

- задокументувати актуалізовані ТТП і МТП та ввести їх в дію у відповідності до вимог Авіаційних правил України Part-145;
- підвищити рівень технологічної дисципліни в процесі виконання відповідних етапів ремонту літака;
- спланувати та реалізувати заходи з технічного переоснащення виробництва в частині, що стосується ремонту дефектів конструкцій із ПКМ;
- використовувати розроблені ТТП і МТП для навчання та атестації виробничого персоналу, задіяного у ремонті дефектів конструкцій із ПКМ;
- знизити вплив суб’єктивних факторів на якість ремонту дефектів СЧ літака;
- значно скоротити строки та обсяги робіт з технологічної підготовки виробництва, у разі розширення номенклатури конструкцій із ПКМ, що підлягають ремонту.

## References

- [1] G.M. Gunyaev *et al.*, “Polymer composite materials in aircraft structures”, *Conversion in mechanical engineering*, no. 4, pp. 65–69, 2004. [https://doi.org/10.11619/africa1964.2004.65\\_69](https://doi.org/10.11619/africa1964.2004.65_69)
- [2] O.M. Dobrydenko *et al.*, “Analysis of existing composite materials and evaluation their application in the designs of airframe military aircraft of Ukraine”, *Digest of scientific works of the State Research Institute of Aviation*, vol. 8, no. 15, pp. 146–152, 2012.
- [3] S.V. Ivanov (2005). *MiG-29*. Available: <https://avidreaders.ru/book/mig-29.html>
- [4] V.V. Murashov and A.F. Rummyantsev, “Defects of monolithic parts and multilayer structures made of polymer composite materials and methods of their detection Part I: Defects of monolithic parts and multilayer structures made of polymer composite materials”, 2006 [Online]. Available: <https://viam.ru/public/files/2008/2006-204706.pdf> [Accessed June 15, 2020].
- [5] E.N. Kablov and V.O. Startsev, “A systematic analysis of the influence of climate on the mechanical properties of polymer composite materials according to the data of domestic and foreign sources (review)”, *Aviation materials and technologies*, vol. 2, no. 51, pp. 47–58, 2018. <https://doi.org/10.18577/2071-9140-2018-0-2-47-58>
- [6] V.A. Matvienko, “Information and methodological base of technological design of aviation aeronautical equipment in the CAD/CAM/CAE system”, *Information sciences technology in knowledge-based engineering*, Kyiv, Ukraine: Tekhnika, 2001, pp. 398–405.
- [7] V.A. Matvienko *et al.*, “Formation of the domestic normative base of helicopter technology”, *Technological Systems*, vol. 1, no. 67, pp. 33–40, 2014.
- [8] *Technological documentation system. Terms and definitions*. State Standards of Ukraine. DSTU 2391-2010.
- [9] *Especially technological process. Development and execution of documentation for technological processes of manufacturing products from polymer composite materials in preparation for production, manufacturing and repair of aviation equipment. Methodological Instructive Regulations. MU 1.4.2132-2003*, National Institute of Aviation Technologies, JSC [NIAT], 2003, Moscow, RU.
- [10] A.P. Bojko, O.M. Dobrydenko and R.V. Kachmar, “Research of the influence of corrosion lesions on the strength of the power structure of the tail fin MiG-29”, *Digest of scientific works of the State Research Institute of Aviation*, vol. 5, no. 12, pp. 162–167, 2009.
- [11] O.M. Dobrydenko, R.V. Kachmar and O.I. Kremeshnyj, “Determination of the reasons for the development of corrosion lesions of the fish-plate of the tail fin MiG-29 aircraft”, *Digest of scientific works of the Kharkiv Air Force University named after Ivan Kozhedub*, vol. 2, no. 28, pp. 52–54, 2011.
- [12] V.A. Bazhenov *et al.*, “Calculation of the residual strength of the fish-plate affected by corrosion of the tail fin MiG-29”, *Digest of scientific works of the State Research Institute of Aviation*, vol. 16, no. 13, pp. 129–135, 2010.

- [13] E.N. Kablov, S.A. Karimova and L.V. Semenova, "Corrosion activity of carbon fibre reinforced plastic (CFRP) and protection of metal power structures in contact with CFRP", *Corrosion: materials, protection*, vol. 12, pp. 1–7, 2011.
- [14] A.V. Andreev and V.S. Nitka, "Research of pasty aircraft adhesives from the 3M company for bonding and repairing composite panels", *The questions of design and produced of the aircraft structures: Digest of scientific works of the National aerospace university "Kharkiv Aviation Institute"*, vol. 1, pp. 38–50, 2017.
- [15] 3M Company. 3M™ "Scotch-Weld™ 7260 – two-pack epoxy adhesive, gray, 400 ml", 2019. [Online]. Available: [https://www.3mrussia.ru/3M/ru\\_RU/company-ru/all-3m-products/~3M-Scotch-Weld-7260?N=5002385+3294236861&pre-select=3293786499&rt=rud](https://www.3mrussia.ru/3M/ru_RU/company-ru/all-3m-products/~3M-Scotch-Weld-7260?N=5002385+3294236861&pre-select=3293786499&rt=rud). Last accessed 28th Jul 2020.
- [16] L.Kh. Airapetyan *et al.*, *Aircraft Adhesives Handbook*, Leningrad, Russia: Khimiya, 1980.
- [17] *Federal State Unitary Enterprise All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials*, "Catalog of materials. Aircraft adhesive VK-9", 2009. [Online]. Available: [https://catalog.viam.ru/catalog/vk\\_9/kley-vk-9/](https://catalog.viam.ru/catalog/vk_9/kley-vk-9/) [Accessed Jul. 28, 2020].
- [18] V.A. Matvienko, "The mechanism of the formation of the adhesive bead of adhesive and adhesivemechanical joints", *Journal of Mechanical Engineering*, vol. 18, 1983.
- [19] V.A. Matvienko, V.V. Baranovskii and A.A. Bradulov, "Using the method of multicriteria optimization to determine the parameters of the adhesive bead formation process", *Aviation Industry*, vol. 5, 1992.

## Актуализация технологического базиса ремонта составных частей из полимерных композиционных материалов планера самолета

Р. В. Качмар, Г. А. Кривов, Д. Н. Ермолин, В. А. Матвиенко, В. В. Баклан, А. Н. Рудько

**Аннотация.** В статье приведены основные результаты реализованного комплекса работ с целью актуализации технологического нормативного базиса, регламентирующего технологии ремонта типовых эксплуатационных дефектов составных частей (СЧ) из полимерных композиционных материалов (ПКМ) планера самолета МиГ-29. Выполнен просмотр, внесены дополнения, уточнения соответствующих положений действующей на Государственном предприятии "Львовский государственный авиационно-ремонтный завод" (ГП "ЛГАРЗ") технологической документации и задокументированы технологии ремонта в формате типовых технологических процессов (ТПП).

Разработанные ТПП предусматривают использование для ремонта современных материалов с соответствующими характеристиками прочности и технологичности, а также широкой номенклатуры средств технологического оснащения.

Внедрение результатов работы будет способствовать обеспечению стабильности показателей качества ремонта, уменьшению влияния на них субъективных факторов.

**Ключевые слова:** технологический нормативный базис; летная годность; полимерный композиционный материал; составная часть самолета; эксплуатационный дефект; типовой технологический процесс ремонта; маршрутный технологический процесс ремонта.

## Updating of Technological Base of Repair of Components from Polymer Composite Materials of Airframe

R. Kachmar, D. Jermolin, G. Kryvov, V. Matvijenko, V. Baklan, A. Rudjko

**Abstract.** The article describes and demonstrates the main results of the implemented work package in order to update the technological normative base regulates repair technologies of typical in-use defects of component parts from polymer composite materials (PCM) of airframe MiG-29. It was performed review, addition, clarification of the relevant provisions of the technological documentation of the State Enterprise "Lviv State Aircraft Repair Plant" and it was documented repair technologies in the format of typical technological process (TTP).

The TTP made provision for the use of modern materials for repair with appropriate characteristics of strength and technological effectiveness, and also the wide range of means of technological equipment.

The implementation of the results of the work will contribute to the stability of the quality indicants of repair, reclosing the impact subjective factors on them.

**Keywords:** technological normative basis; airworthiness; polymer composite material; an integral part of the aircraft; operational defect; typical technological process of repair; route technological repair process.