

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій

Кафедра «Прикладне матеріалознавство та технології конструкційних матеріалів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ О.П. Гапонова

«__» _____ 2021 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

зі спеціальності 132 «Матеріалознавство»

Тема: «Дослідження впливу технології виготовлення, фізико-механічних властивостей, складу ламінату, термічної обробки на фізико-механічні властивості полімерних листових композитних заготовок лонжирону БПЛА»

Студент МТ.м-01 _____

Колодченко П.М.

Керівник _____

Дегула А.І.

Консультант
з економічної частини _____

Берладір Х. В.

Консультант
з охорони праці _____

Говорун Т. П.

Нормоконтроль _____

Дегула А. І.

Суми
2021

Сумський державний університет
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра «Прикладне матеріалознавство та технології конструкційних матеріалів»
Спеціальність 132 «Матеріалознавство»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ О.П. Гапонова
«__» _____ 2021 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Колодченку Павлу Миколайовичу

1. Тема проекту (роботи) «Дослідження впливу технології виготовлення, фізико-механічних властивостей, складу ламінату, термічної обробки на фізико-механічні властивості полімерних листових композитних заготовок лонжирону БПЛА», затверджена наказом по університету від «24» листопада 2021 р. № 0917-VI

2. Термін здавання студентом закінченого проекту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи) _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їй належить розробити)

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти по проекту (роботі), із значенням розділів проекту, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці			
Економічна частина			

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка

7. Дата видачі завдання _____

Студент _____
(підпис)

Керівник проекту _____
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Колодченко Павло Миколайович. Дослідження впливу технології виготовлення, фізико-механічних властивостей, складу ламінату, термічної обробки на фізико-механічні властивості полімерних листових композитних заготовок лонжирону БПЛА.

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня магістр за спеціальністю 132.00.02 – Прикладне матеріалознавство. – Сумський державний університет, 2021р.

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню впливу технології виготовлення, фізико-механічних властивостей, складу ламінату, термічної обробки на фізико-механічні властивості полімерних листових композитних заготовок лонжирону БПЛА.

За результатами досліджень системно досліджено існуючі технології виготовлення, фізико-механічні властивості, склад ламінату, та фізико-механічні властивості полімерних листових композитів.

Проведені механічні випробування зразків ПКМ з визначенням міцності при розтягуванні, міцності при стисканні . Визначена щільність зразків з полімерного композитного матеріалу.

Ключові слова: ПКМ, ВУГЛЕЦЕВЕ ВОЛОКНА, ВУГЛЕТКАНИНА, ЕПОКСИДНА СМОЛА, МІЦНІСТЬ, ЛОНЖИРОН БПЛА.

SUMMARY

Kolodchenko Pavlo Mykolayovych. Study of the influence of manufacturing technology, physical and mechanical properties, composition of the laminate, heat treatment on the physical and mechanical properties of polymer composite sheet blanks of the UAV spar.

Qualification work for a master's degree in specialty 132.00.02 - Applied Materials Science. - Sumy State University, 2021.

Qualification work is devoted to the study of the influence of manufacturing technology, physical and mechanical properties, laminate composition, heat treatment on the physical and mechanical properties of polymer sheet composite blanks of UAV spars.

According to the research results, the existing manufacturing technologies, physical and mechanical properties, laminate composition, and physical and mechanical properties of polymer sheet composites have been systematically studied.

Mechanical tests of PKM samples with determination of tensile strength, compressive strength were carried out. The density of samples of polymeric composite material was determined.

Key words: PKM, CARBON FIBERS, CARBON FABRIC, EPOXY RESIN, STRENGTH, UAV LONGIRON.

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

ПКМ – полімерні композиційні матеріали;

ВВ – вуглецеві волокна;

БПЛА – безпілотний літальний апарат;

σ_b , МПа – поріг міцності;

σ_t , МПа – поріг текучості;

ψ , % – відносне подовження;

δ , % – відносне звуження;

τ год. – час;

H_μ , ГПа – мікротвердість;

ТЕО – техніко-економічне обґрунтування.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра включає в себе 91 сторінки (1 книга), у тому числі 19 таблиць, 20 рисунків, бібліографії із 35 літературних джерел.

Мета роботи – створення полімерного композитного матеріала – вуглепластика з заданими фізико-механічними властивостями для виготовлення лонжерону БПЛА.

Завдання дослідження – провести аналіз сучасних технологій отримання вуглепластиків, дослідження впливу складу вуглепластика на фізико-механічні властивості деталі лонжерон БПЛА. Проаналізувати вплив термічної обробки на властивості деталі. На основі отриманих результатів зробити висновки та рекомендації.

Об'єкт дослідження – полімерний композитний матеріал вуглепластик.

Предмет дослідження – фізико-механічні властивості, структура полімерного композитного матеріала - вуглепластика.

Методи досліджень – визначення щільності, міцності при розриві, міцності при стисканні, макроструктурний аналіз; при вирішенні поставленого завдання використовувалися стандартні методи дослідження.

Наукова новизна: встановлено вплив зміни складу вуглепластика та його термообробки на фізико-механічні властивості.

Ключові слова: ПКМ, ВУГЛЕЦЕВЕ ВОЛОКНА, ВУГЛЕТКАНИНА, ЕПОКСИДНА СМОЛА, МІЦНІСТЬ, ЛОНЖИРОН БПЛА.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	6
Реферат.....	7
Вступ.....	10
РОЗДІЛ 1.....	12
ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	12
1.1 Пристрій та робота силових елементів крила БПЛА	12
1.2 Навантаження, що діють на крило.....	17
1.3 Силові елементи крил літаків	18
1.4 Застосування композиційних матеріалів у конструкції БПЛА.....	22
1.5 Технології виготовлення лонжерону крила БПЛА.....	28
1.6 Властивості вуглецевих конструкційних матеріалів – вуглепластики....	42
Висновки до розділу 1.....	48
РОЗДІЛ 2.....	49
МЕТОДИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ, МАТЕРІАЛИ ТА ОБЛАДНАННЯ	49
2.1 Проведення механічних випробувань зразків вуглепластика.....	49
2.2 Визначення щільності зразків вуглепластика.....	49
2.3 Вуглецеві волокна.....	49
2.4 Об'єднання зміцнювальних елементів.....	51
2.5 Матеріали дослідження.....	53
2.5.1 Вуглетканина односпрямована біоксальна	53
2.5.2 Вуглетканина plain ЗК.....	54
2.5.3 Епоксидна смола LH 289.....	54
2.6 Макро- і мікроаналіз ПКМ.....	57
Висновки до розділу 2.....	60
РОЗДІЛ 3.....	61
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	61

3.1	Виготовлення дослідних зразків матеріалу	61
3.2	Проведення механічних випробувань дослідних зразків	64
3.2.1	Випробування зразків на розтяг	65
3.2.2	Випробування зразків на стиснення.....	67
3.3	Визначення щільності зразків.....	68
3.4	Термічна обробка зразків.....	69
3.5	Макро аналіз зламу зразка вуглепластику.....	70
	Висновки до розділу 3.....	71
	РОЗДІЛ 4.....	72
	ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	72
4.1	Загальні теоретичні відомості.....	72
4.2	Методика розрахунку витрат.....	73
	Висновки до розділу 4.....	76
	РОЗДІЛ 5.....	77
	ОХОРОНА ПРАЦІ, НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ.....	77
5.1	Основні правила техніки безпеки при роботі з епоксидними смолами....	77
5.2	Правила забезпечення робітників засобами захисту.....	78
5.3	Заходи проти отруєння.....	80
5.4	Заходи проти вдихання пилу і шкідливих газів.....	80
5.5	Заходи проти пошкодження очей.....	81
5.6	Правила громадської безпеки.....	83
5.7	Надання першої допомоги при нещасних випадках.....	83
5.8	Протипожежні заходи.....	84
5.9	Зберігання отруйних речовин.....	86
5.10	Заходи з охорони навколишнього середовища.....	86
	Висновки до розділу 5.....	87
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	88
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	90

ВСТУП

У літакобудуванні триває постійна боротьба за зменшення ваги та підвищення паливної ефективності. Сьогодні це досягається не лише вибором силових схем, а й використанням нових матеріалів, до яких насамперед відносять композиційні (композити), у тому числі вуглепластик (карбон). Саме вони, завдяки високій питомій міцності (міцність на одиницю маси), а також можливості легко змінювати структуру та форму при відносній простоті комбінування з іншими матеріалами, заслужено стали предметом пильної уваги, вивчення та застосування [1].

Але базовою особливістю конструкції з вуглепластика є не просто факт його використання в ній, а дуже тісний союз цього матеріалу, технології що застосовується до нього та особливостей конструкції [3]. Усі спроби недотримання цього принципу, згідно з практикою, закінчуються невдачею.

Актуальність теми – створення полімерних композитних ламінатів з заданими фізико-механічними властивостями є актуальним сучасним завданням при проектуванні і виробництві деталей кузова автомобілів, літакобудування, суднобудування, космонавтики, вітроенергетики і т.д.

Мета роботи – створення полімерного композитного матеріала – вуглепластика з заданими фізико-механічними властивостями для виготовлення лонжерону БПЛА.

Завдання дослідження – провести літературний аналіз матеріалів, що застосовуються для виготовлення деталі лонжерон БПЛА, та сучасних технологій отримання вуглепластика. Дослідити вплив зміни складу вуглепластика на фізико-механічні властивості деталі. Проаналізувати вплив термічної обробки на властивості ламінату. На основі отриманих результатів зробити висновки та рекомендації.

Об'єкт дослідження – полімерний композитний матеріал вуглепластик.

Предмет дослідження – фізико-механічні властивості, структура полімерного композитного матеріала - вуглепластика.

Методи досліджень – визначення щільності, міцності при розриві, міцності при стисканні, макроструктурний аналіз; при вирішенні поставленого завдання використовувалися стандартні методи дослідження.

Обладнання: обладнання для вакуумної формовки матеріалів, розривна машина, аналітичні ваги, металографічний мікроскоп.

Наукова новизна: встановлено вплив зміни складу вуглепластика та його термообробки на фізико-механічні властивості.

Практичне значення отриманих результатів. Досліджено вплив зміни складу вуглепластика на його фізико-механічні властивості, що дозволяє розробляти і виробляти матеріали із заданими властивостями.

Особистий внесок. Автору належить аналіз літературних даних, визначення мети та постановки завдання дослідження, виготовлення зразків, проведення випробувань та оформлення роботи.

Дипломна робота магістра включає в себе 91 сторінки (1 книга), у тому числі 19 таблиць, 20 рисунків, бібліографії із 35 літературних джерел.

РОЗДІЛ 1

1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Пристрій та робота силових елементів крила БПЛА

Літальні апарати (ЛА), відрізняються один від одного за конструкцією та призначенням [1]. Вони можуть бути легшими і важчими за повітря. Апарати, які легше повітря мають герметичну оболонку, наповнювану газом легше повітря, наприклад, гелієм. Як відомо з закону Архімеда, така оболонка з легким газом стає здатною плавати у повітрі : на неї діє підйомна сила, за величиною рівна обсягу повітря, витісненого цієї оболонкою.

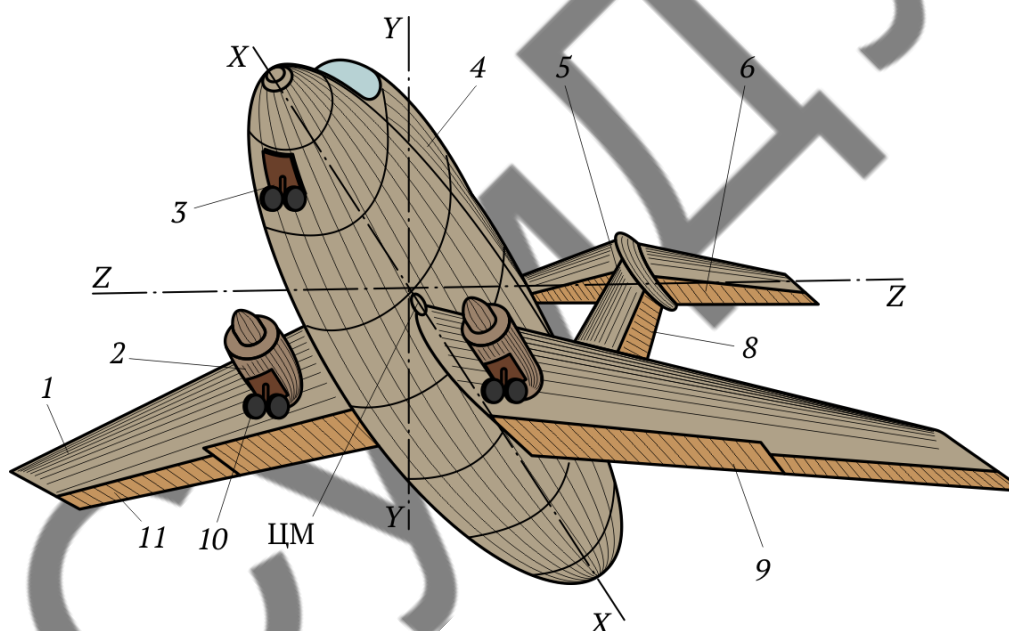


Рисунок 1.1 – Основні частини літака: 1 - крило; 2 - силові установки; 3 - передня опора літака; 4 - фюзеляж; 5 - киль; 6 - стабілізатор; 7 - кермо висоти; 8 - кермо напрямку; 9 - закрилки; 10 - основна опора літака; 11 - елерон; ЦМ - центр мас.

Літальними апаратами, які легше за повітря є аеростати і дирижаблі.

Основну групу апаратів, що одержала велике практичне застосування, становлять ЛА важче повітря, до яких в першу чергу відносяться літак і гелікоптер. На рис. 1.1 показані основні частини сучасного літака [4].

Крило створює підйомну силу, на більшості літаків несе на собі двигуни, шасі, паливні ємності (баки), частину обладнання та ін.

Фюзеляж — корпус для розміщення пасажирів, екіпажу, вантажів, а в конструктивно-технологічному відношенні основна частина літака, з якою з'єднуються крило, частини хвостового оперення, шасі і двигуни.

Хвостове оперення забезпечує стійкість і керуваність літака.

Шасі - злітно-посадкове приладдя, призначене для зльоту, посадки і переміщення літака.

Силові установки — двигуни з системами їх обслуговування, забезпечують рух літака. Літак може мати один двигун і більше, розміщуються вони в залежності від конструкції на крилі, всередині нього, на фюзеляжі і всередині фюзеляжу [3].

Конструкція літака має сувору симетрію, яку на кресленні вдається відтворити порівняно легко, а в виробничому процесі така задача вирішується набагато важче. Досить нагадати, що збірні одиниці літака не володіють високою жорсткістю конструкції і можуть деформуватись.

Крім того, геометричні розміри, як і лінії симетричних контурів літака, мають порівняно великі габаритні розміри, які навіть у межах, допустимих на виготовлення відхилень, дають сумарні похибки, що порушують симетричну форму літального апарату [7].

Фюзеляж літака в польоті знаходиться під дією не тільки аеродинамічних сил, власної маси і розміщених на ньому вантажів, але також під складним навантаженням від крил, оперення і шасі. У загальному випадку фюзеляж знаходиться під дією згину, скручування і зсуву.

Конструкція і робота крила. Крило, створюючи підйомну силу, бере участь у забезпеченні стійкості ЛА, а також несе на собі окремі складові частини системи управління літака — елерони, елевони, засоби механізації — щитки, закрилки, передкрилки і т. п., що впливають на величину створюваної підйомної сили. На крилі в залежності від конструктивної схеми літака можуть бути розміщені силові установки, шасі, різне обладнання, паливні баки.

За формою крила можуть бути: прямокутними, еліптичними, трапецієвидними та ін.

Прямокутні крила (рис. 1.2, а) прості у виробництві.

Еліптичні крила (рис. 1.2, б) відрізняються хорошими аеродинамічними властивостями, але технологічно складні і застосовуються вони рідко.

Трапецієвидні крила (рис. 1.2, в) знайшли широке застосування в літакобудуванні. Вони поряд з добрими аеродинамічними характеристиками більш зручні у виробництві [3-5].

Для літаків, що літають зі швидкостями, що наближаються до швидкості звуку, як правило, застосовують *стрілоподібні крила* (рис. 1.2, г), тому що їх аеродинамічні властивості відповідають умовам польоту з великими швидкостями. На багатьох надзвукових літаках використовуються *трикутні крила* (рис. 1.2, д).

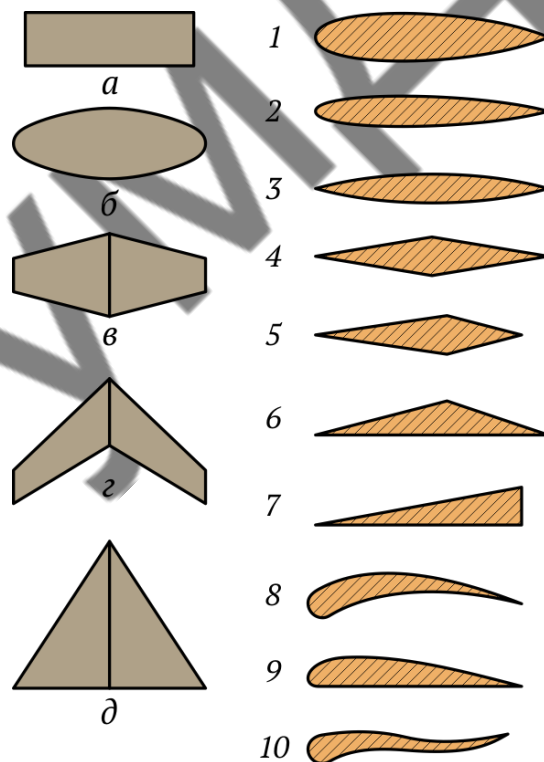


Рисунок 1.2 – Форми крил у плані (а ... д) та їх профілів (перетинів) (1 ... 10): а - прямокутне; б - еліптичне; в - трапецієподібне; г - стрілоподібне; д - трикутне: 1 - опуклий; 2 - опуклий симетричний; 3 - чечевицеподібний; 4 і 5 - ромбоподібні; 6 і 7 - клиноподібні; 8 - опукло-увігнутий; 9 - плоско-опуклий; 10 - S-подібний.

Крило складається з каркасу з різними з'єднувальними деталями і стикувальними вузлами і обшивки (рис.1.3). У технологічному відношенні збирання крил подібне з процесом збирання фюзеляжу, тобто воно утворюється шляхом послідовного з'єднання між собою каркасу з обшивкою або панеллю, що стикуються між собою в єдине ціле [7].

Така технологічна наступність, типовість процесів складання основних елементів конструкції є показником високого ступеня технологічності. У кожному принципово новому літаку розробники прагнуть максимально зберегти конструктивні форми панелей, сполучних деталей, стикувальних вузлів з раніше створених літаків.

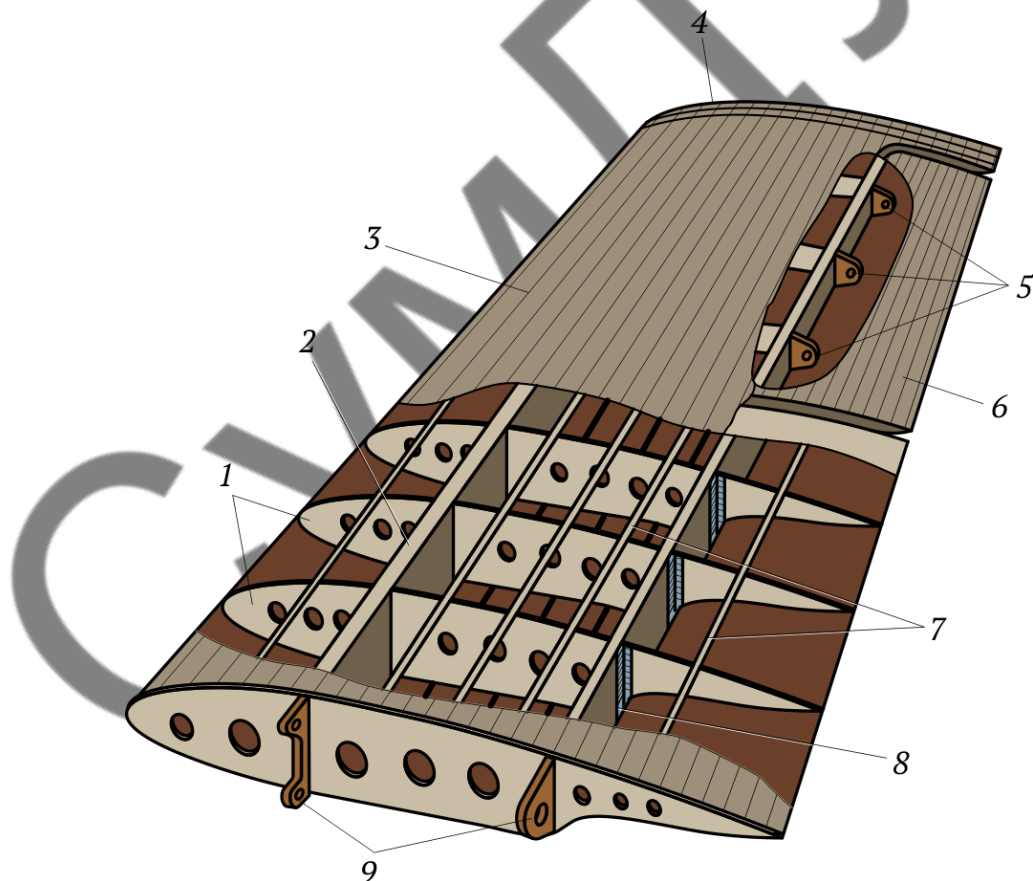


Рисунок 1.3 – Загальний вигляд конструкції відокремленої частини крила (ВЧК): 1 - нервюри; 2 - лонжерон; 3 - обшивка; 4 - кінцевий обтічник; 5 - вузли навішування елерону; 6 - елерон; 7 - стрінгери; 8 - лонжерон; 9 - вузли стикування

Лонжерони крила сприймають основне навантаження від зовнішніх аеродинамічних сил, що діють на крило, і від вантажів, що знаходяться в крилі, стрінгери сприймають осьові навантаження, підкріплюють обшивку від можливих прогинів та інших деформацій, а також пов'язують між собою нервюри [6].

При виготовленні крил застосовують стільникові або пінопластові заповнювачі, що розміщуються у внутрішній сфері порожнини крила, елеронів, елевонів, щитків, закрилків та ін.

Щоб привести в дію будь-який вид механізму крила (щитки, закрилки та ін.), на літаку є відповідні засоби та системи управління.

Оперення літака представляє собою несучі поверхні, призначені для забезпечення подовжнього (відносно осі OZ) і шляхового (відносно осі OY) балансування, стійкості і керованості літака [8].

Горизонтальне оперення забезпечує подовжнє балансування, стійкість і керованість (відносно осі OZ); вертикальне оперення забезпечує літаку шляхове балансування, стійкість і керованість (відносно осі OF).

Оперення, як і крило, навантажується розподіленими і зосередженими силами.

Стабілізатор і киль мають подовжній набір (лонжерони, стінки, стрінгери), поперечний набір (нервюри) і обшивку.

Кермо і елерони по конструкції однотипні і виготовляються із шарових структурних елементів.

Додатковими рульовими поверхнями на кермах і елеронах служать тримери. Вони мають малу площу і тонкий поперечний перетин [11].

1.2 Навантаження, що діють на крило

Крило, забезпечуючи створення практично всієї підйомної сили, є високонавантаженою частиною літака [2-5]. До основних навантажень крила відносяться аеродинамічні та масові сили. Аеродинамічне навантаження виникає в результаті взаємодії крила з повітряним потоком і є розподіленим.

Величина розрахункового (руйнівного) аеродинамічного навантаження визначається за формулою:

$$P_{\text{аер}} = Y_p = G \times n \times f \quad (1.1)$$

де G – сила тяжіння літака; n – коефіцієнт експлуатаційного навантаження; f – коефіцієнт безпеки.

Рівнодіючі погонні аеродинамічні навантаження прикладені по лінії центрів тиску крила (рис. 1.4).

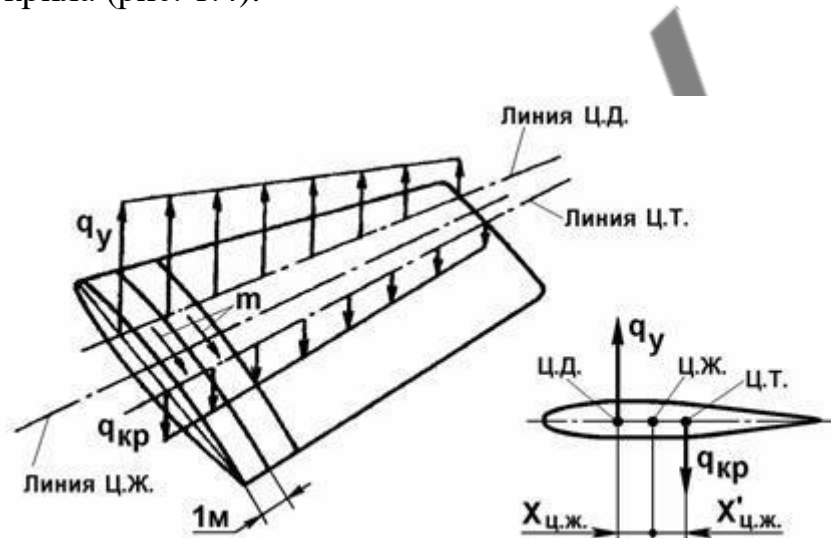


Рисунок 1.4 – Навантаження, що діють на крило.

Масові навантаження – це сили тяжіння та інерції мас конструкції самого крила, палива, вантажів та агрегатів, розташованих усередині або прикріплених до нього зовні. Інерційні сили виникають з появою прискорень у криволінійних польотах, при польоті в болтанку чи ударі об землю під час посадки [4].

Погонні масові навантаження конструкції крила розподіляються за розмахом так само, як і його маса. Рівнодіючі погонні масові сили прикладені по лінії центрів тяжіння крила, які можна вважати проходять через точки, що лежать на 42-45% хорд від носка крила.

1.3 Силкові елементи крил літаків

Крила літаків відрізняються великою різноманітністю не лише зовнішніх форм, а й особливостей конструкції. У всіх випадках крило має бути досить

міцним та жорстким за мінімальної маси. Передаючи підйомну силу на фюзеляж, крило піддається деформаціям вигину, кручення та зсуву (рис 1.5), які мають сприйматися відповідними силовими елементами [9].

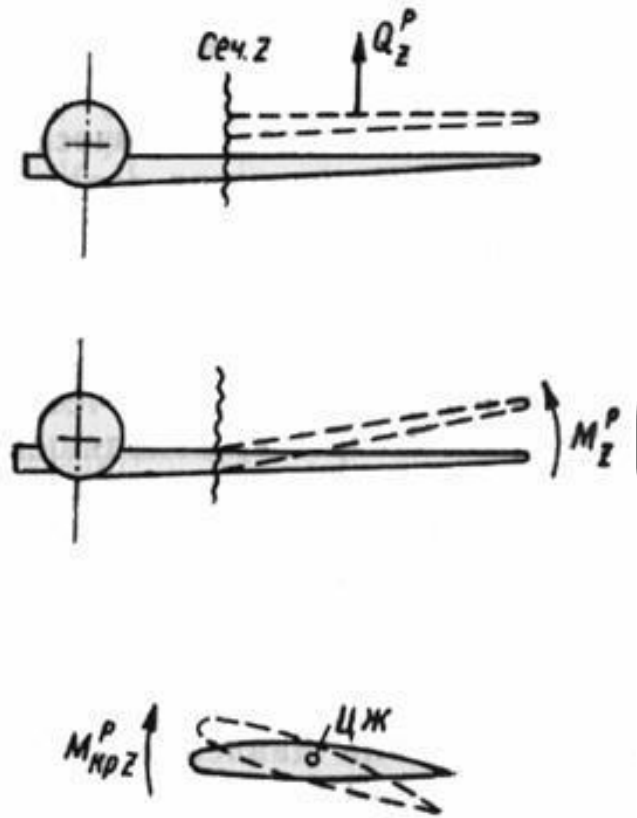


Рисунок 1.5 – Зсув, вигин та крутіння крила.

Крила різних типів зазвичай являють собою набори однотипних елементів, що приймають участь у сприйнятті зовнішніх навантажень і складають його конструктивно-силову схему. До поздовжнього набору відносяться лонжерони та стрінгери.

Лонжерони сприймають згинальний момент та поперечну силу. Лонжерони є поздовжніми балками, що складаються з поясів і стінок (рис. 1.6).

Більшість маси лонжерона припадає на його пояси, у яких при згині з'являються максимальні нормальні напружки, так як їхній матеріал найбільш віддалений від нейтральної осі [9].

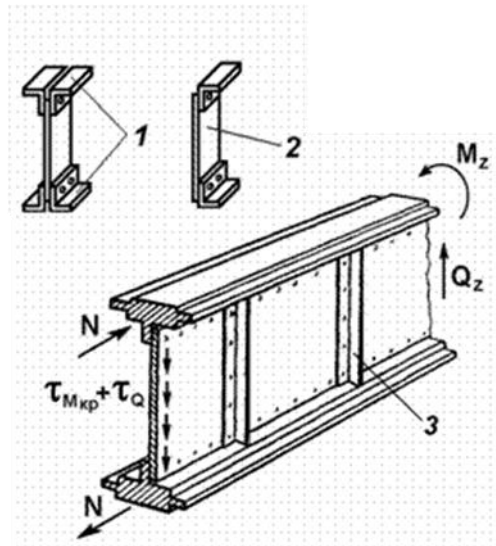


Рисунок 1.6 – Конструкція лонжеронів: 1 - пояса лонжеронів; 2 - стінка лонжерона; 3 - ребра жорсткості.

При такій простій конструкції лонжерону досягається найефективніше використання матеріалу, а отже, і мінімальна маса. Згинальний момент сприймають пояси лонжеронів, у яких виникають великі осьові зусилля. Стінки лонжеронів, сприймаючи майже всю поперечну силу, працюють на зсув [10].

Крім того, стіни разом з обшивкою утворюють замкнуті контури, що сприймають крутний момент. Стрінгери – поздовжні елементи, що приймають участь у сприйнятті згинального моменту.

При цьому діють осьові сили стиснення або розтягування. Стрінгери підкріплюють обшивку, збільшуючи її стійкість, сприймають місцеве повітряне навантаження і передають її на нервюри. Поперечний набір крила зазвичай складається з нервюр, які за призначенням поділяються на нормальні та силові (або посилені) [12].

Нервюри надають форму профілю, підкріплюють поздовжні елементи та обшивку, збільшуючи їхню стійкість. Обшивка утворює гладку, зручнообтічну поверхню, герметизує крило. Вона не тільки сприймає аеродинамічні навантаження, але і працює на кручення, а часто і на вигин.

Ступінь участі обшивки у сприйнятті згинального моменту залежить від її товщини. Товщина обшивки залежить від конструкції крила і навантажень, що діють в даному перерізі.

У напрямку до кінця крила навантаження та товщина обшивки зазвичай зменшуються, тому при її виготовленні необхідно застосовувати листи різної або змінної товщини.

Крім листової застосовують обшивку, що виконана як одне ціле з підкріпленнями у вигляді ребер, що виконують функції стрінгерів. Така конструкція отримала назву моноблочних панелей. Їх ставлять у найбільш навантажених зонах крила [12].

Силові схеми всіх крил прийнято підрозділяти в залежності від способу сприйняття згинального моменту, основного силового фактору, на лонжеронні, стрінгерні та моноблочні.

Лонжеронним називається крило, у якого згинальний момент сприймається потужними поясами лонжеронів, а відносно слабкі стрінгери служать для підкріплення тонкої обшивки.

У стрінгерному крилі основну частку згинального навантаження крила беруть на себе стрінгери .

Моноблочним називається крило, у якого у всіх перерізах згинальний момент сприймається верхньою та нижньою панелями, що складаються з товстої обшивки, підкріпленої набором потужних стрінгерів [13].

У польоті верхня панель працює на стиск, нижня – на розтяг. Крутний момент у моноблочному крилі сприймається верхньою та нижньою панелями, а також стінками лонжеронів, у яких виникають дотичні напруження, спрямовані проти годинникової стрілки.

Зусилля від зсуву у вертикальній площині в моноблочному крилі сприймаються стінками лонжеронів, у яких виникають дотичні напруги, спрямовані в польоті вниз.

1.4 Застосування композиційних матеріалів у конструкції БПЛА

Зі зростанням попиту до нових моделей безпілотної техніки зростає потреба у створенні нових матеріалів для її виготовлення. З 1960-х років завдяки своїм характеристикам композиційні матеріали успішно впроваджуються в авіаційну та космічну техніку [14].

Композитні матеріали являють собою металеві та неметалічні матриці (основи) із заданим розподілом у них зміцнювачів (волокон, дисперсних частинок та ін.); при цьому композитні матеріали дозволяють ефективно використовувати індивідуальні властивості складових композиції.

Комбінуючи об'ємний вміст компонентів, можна, залежно від призначення, отримувати композитні матеріали з необхідними значеннями міцності, жароміцності, пружності модуля, абразивної стійкості.

Композити мають комплекс конструкційних і спеціальних властивостей, практично недосяжних у традиційних матеріалах на металевій, полімерній, керамічній, вуглецевій та інших основах [11].

Порівняльні властивості різних конструкційних матеріалів представлені в таблиці 1.1

Таблиця 1.1

Порівняльні властивості різних конструкційних матеріалів

Матеріал	Густина, ρ , кг/м ³	Міцність, σ , МПа	Модуль пружності, Е, ГПа
Вуглепластик	1500	1200	170
Боропластик	2000	1200	270
Органопластик	1300	2000	95
Склопластик	2000	2000	70
Алюмінієві сплави	2700	600	70
Титанові сплави	4500	1100	110
Сталі	7800	2100	200

Розрахункові дані, підтвержені результатами експериментальних досліджень та льотних випробувань, показують, що використання композиційних матеріалів дозволяє знизити вагу планера літального апарату на 30-40% порівняно з вагою планера традиційних металевих матеріалів [13].

Все це забезпечує отримання резерву ваги, який може бути використаний для збільшення дальності польоту або корисного навантаження. Використання композиційних матеріалів в авіаційній промисловості значно знижує матеріаломісткість конструкцій, збільшує до 90% коефіцієнт використання матеріалу, зменшує кількість оснастки та різко знижує трудомісткість виготовлення конструкцій за рахунок зменшення у кілька разів кількості деталей, що входять до них [14].

В якості наповнювачів для композитів можуть використовуватися тканини, цільноткані чохла, стрічки, джгути, нитки на основі багатофазних і полікристалічних безперервних волокон і ниткоподібних монокристалів скла, вуглецю, бору, берилію, органічних волокон, що мають високі міцність і модуль пружності.

В якості сполучників при виготовленні деталей та виробів з керамічних матеріалів найбільшого поширення набули епоксидні, фенолформальдегідні, кремнійорганічні та поліамідні смоли [16].

Матеріал матриці визначає, як правило, рівень робочих температур нагрівання композиційних матеріалів, характер зміни їх властивостей при впливі температури, атмосферних газів та інших факторів, а також режими одержання та переробки матеріалів.

Полімерні вуглепластики (карбоволокніти) характеризуються низькою щільністю, високим модулем пружності, низьким коефіцієнтом термічного розширення, малою тепло- та електропровідністю, стабільністю коефіцієнтів тертя та малим зносом при терті.

Наповнювач у вигляді тканини більш технологічний при переробці, проте наявність слабких ниток зменшує ступінь наповнення вуглепластиків до 45-50 об. % у порівнянні з 55-62 об.% характерними для матеріалів на основі

джгутів. В результаті деякі міцнісні та пружні характеристики вуглепластиків зменшуються [16].

Використання стрічки та джгута, що складаються з більш міцних моноволокон, забезпечує підвищення міцності вуглепластиків при розтягуванні та згині. Особливістю вуглепластиків є їх висока міцність втомі, більша, ніж у боро- і скловолоконітів, і знаходиться на рівні втомної міцності титану і легованих конструкційних сталей.

Вуглепластики істотно перевершують метали і сплави по віброміцності, так як мають високу демпфуючу здатність. Орієнтуючи волокна під кутом один до одного, можна у великих межах змінювати демпфуючу здатність вуглепластиків і проводити відбудову деталей від резонансного режиму без зміни їх геометричних форм.

Вуглепластики характеризуються високою радіаційною, водо-, аеро- та бензостійкістю. і можуть застосовуватися як для зовнішніх, так і для внутрішніх деталей літального апарату. Своєрідність геометричних, механічних та фізико-хімічних характеристик борного волокна визначає низку специфічних особливостей бороволоконітів [14].

Характерна пориста мікроструктура забезпечує досягнення високої міцності при зрушенні по межі розділу зміцнюючої та сполучної компонент. Поряд із зазначеними особливостями, механічні властивості бороволоконітів підпорядковуються загальним для армованих систем закономірностей. Регулювання властивостей бороволоконітів досягається варіюванням схем орієнтації наповнювача. Бороволоконіти стійки до дії проникаючої радіації.

Тривалий вплив води, органічних розчинників і паливних матеріалів не впливає на їх механічні властивості. Вироби з бороволоконітів для літальних апаратів дуже різноманітні: профілі, панелі, ротори та лопатки компресорів, лопаті гвинтів та трансмісійні вали гелікоптерів тощо.

Полімерні скловолоконіти відрізняються від інших композиційних матеріалів конструкційного призначення поєднанням високої міцності,

порівняно низької щільності, теплопровідності, хороших електроізоляційних властивостей, доступності та низької вартості зміцнюючого наповнювача.

Вперше конструкційні органоластики було впроваджено у КБ ім. Н.І. Камова. З цих матеріалів було виготовлено цілі агрегати планера. Також органоластики застосовують як ізоляційний і конструкційний матеріал в електричній промисловості, автобудуванні; з них виготовляють труби та ємності для реактивів, покриття корпусів суден тощо [16].

Металеві композиційні матеріали мають унікальну серед усіх інших композиційних матеріалів властивість - властивість зварюваності. Хоча і для них при зварюванні є дві основні проблеми.

Перша - виняткова складність розплавлення алюмінієвої матриці, яка утворює зварне з'єднання без пошкодження волокон та зниження їх міцності внаслідок теплового впливу зварювального нагріву та хімічної взаємодії волокон з розплавленим алюмінієм.

Друга проблема - складність якісного формування зварних швів внаслідок поганого змочування алюмінієвих волокон на поверхнях, що зварюються.

Високий модуль пружності та висока питома міцність забезпечують композитним матеріалам переваги при експлуатації ЛА в умовах складного навантаження. Однак ці переваги повною мірою можуть бути використані за умови їхнього оптимального поєднання з елементами металевої конструкції (інтегральні конструкції) [17].

Під цим мається на увазі конструкція, що збирається з окремих елементів (не затверджених, частково або повністю затверділих), виготовлена різними технологічними способами, а потім формується в єдине ціле за один технологічний цикл.

Методологія виготовлення таких конструкцій дозволяє отримати складну високонавантажену композитну конструкцію з великою кількістю елементів, що входять до неї, без механічного підганяння деталей, свердління отворів та установки механічного кріплення.

Природно, має бути виготовлене і налагоджене необхідне технологічне оснащення. Такий прогресивний підхід дає можливість повною мірою використовувати переваги не пошкодженого механічною обробкою конструкційного полімерного композиційного матеріалу [18].

Інтегральні конструкції можуть забезпечити суттєве зниження маси з одночасним підвищенням жорсткості, міцності та технологічності. При використанні композиційних матеріалів для підкріплення основних силових елементів маса фюзеляжу може бути знижена на 20%, маса крила – на 15-20%, маса оперення – на 10-15%.

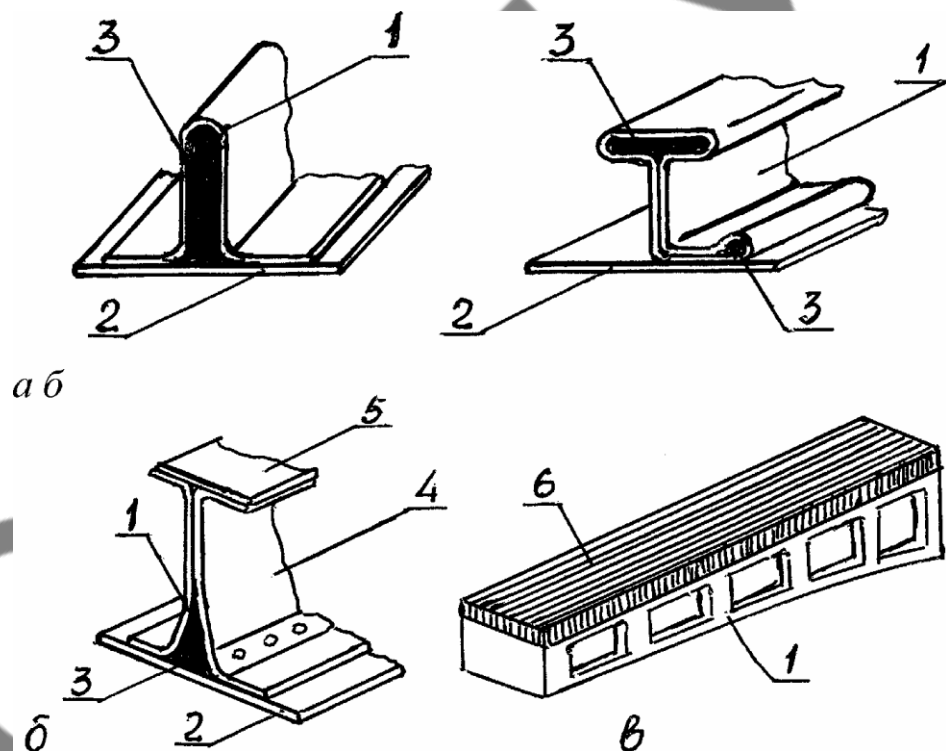


Рисунок 1.7 – Інтегральні конструкції, виконані за різними технологіями [2]: а - зміцнені протягуванням композиційного матеріалу; б - склеєні смолами; в - склеєні клеями. 1 – металевий профіль; 2 – обшивка; 3 – заповнювач з композиційного матеріалу; 4 – стінка лонжерону; 5 – накладка; б - силова накладка з композиційного матеріалу.

Основними ознаками інтегральної конструкції як складової одиниці, є інтегральне (нероз'ємне) з'єднання її до конструктивних елементів; блокова структура виготовлення, що передбачає використання при формуванні та

полімеризації конструкцій пов'язаних з нею елементів розчленованого технологічного оснащення (формуючих елементів та формотворчих), кожен з яких містить заготовлі елементів конструкції (блоки) [19].

При проектуванні інтегральних конструкцій із композиційних матеріалів намагаються реалізувати такі основні принципи [20]:

- принцип сполученого формування. Цей принцип передбачає виготовлення інтегральної конструкції за один цикл формування, причому його складові блоки або окремі елементи можуть бути попередньо частково або повністю затверділі.

- принцип синтезу. Цей принцип передбачає побудову конструкцій більшого ступеня інтегральності з конструкцій нижчого ступеня інтегральності.

- принцип конструктивної організації. Дотримання цього принципу передбачає врахування наступних факторів: вибір матеріалів та схем армування з урахуванням величини та характеру діючих навантажень; поєднання полів діючих напруг з напрямком переважної орієнтації силових елементів інтегральної конструкції; використання відповідних конструктивних заходів для зниження концентрації напруг, обумовлених перепадом жорсткостей проектованої конструкції; збільшення міжшарової міцності в зоні співполімеризації елементів інтегральної конструкції за допомогою введення адгезивів, спеціальних конструктивних елементів, поздовжніх та поперечних зв'язків; конструктивне резервування, що забезпечує додаткову міцність інтегральних конструкцій за рахунок підвищення коефіцієнта безпеки тих конструктивних елементів, доступ до яких для проведення контролю якості при експлуатації неможливий або утруднений [21].

З проведеного огляду видно широкий діапазон можливостей композитних матеріалів у галузі виготовлення планерів та повітряних гвинтів для безпілотних літальних апаратів.

1.5 Технології виготовлення лонжерону крила БПЛА

Метод отримання багатшарових виробів із препрегів

Такий метод аналогічний формуванню склопластиків з ручним викладенням скловолокнистих напівфабрикатів [23]. Шаровий пластик у цьому випадку отримують ручною викладкою шарів препрега на основі вуглецевих волокон, а затвердіння проводять методами гарячого пресування, автоклавного формування, методом формування на поворотному столі і т.д.



Рисунок 1.8 – Формування препрег з використанням металевих штамів.

Цим методом пресують укладені вручну в металеву форму пакети односпрямованих або тканинних препрегів на основі вуглецевих волокон. Формування під тиском серед інших методів переробки пластмас має найдавнішу історію та широко застосовується при переробці термореактивних смол (рис. 1.8).

Для отримання виробів із композиційних матеріалів на основі таких смол та вуглецевих волокон цей метод використовується практично без змін. Можна відзначити його такі характерні риси [19]:

1. На відміну від методів лиття виробів з термопластів, що розглядаються далі, цей метод через відсутність необхідності перерозподілу компонентів в обсязі матеріалу не вимагає високих тисків при формуванні виробів і, отже,

дозволяє використовувати порівняно недорогі металеві форми та обладнання для пресування.

2. Завдяки використанню армуючих матеріалів з безперервних волокон виробу мають дуже високу міцність та жорсткість. Крім того, усувається можливість порушення орієнтації волокон внаслідок перетікання сполучного, як це має місце при переробці листових формувальних матеріалів, лиття під тиском та використання деяких інших методів.

3. Можна отримати вироби з високою точністю розмірів.

4. Як полімерні матриці у вуглепластиках аналізованого типу зазвичай застосовуються сполучні на основі епоксидних смол, а також ненасичених поліефірних смол, полівінілових ефірів, полііміди та інші типи полімерів.

Розглянутий метод має багато переваг, а його недолік – низька продуктивність, обумовлена багатостадійністю процесу. Вкажемо послідовність операцій для отримання виробів із препрегів з використанням металевих штамів [20]:

1. Залежно від заданих властивостей виробу вибирають схему орієнтації волокон і відповідно роблять розкрій препрега (ножицями або ножом) при кімнатній температурі.

2. Нарізані листи препрега певної форми складають у пакет; при пресуванні виробів з односпрямованих препрегів для запобігання порушення розташування волокон пакет загортають в спеціальну тетронову тканину.

3. Підготовлений пакет укладають у металеву форму.

4. При використанні сполучних на основі епоксидних смол пакет прогрівають протягом 1-2 хв і лише після цього починають пресування. При відхиленні від оптимального часу попередньої витримки всередині виробу, що формується, в процесі пресування виникають пори.

Величина тиску залежить від форми виробу: для плоских листів воно становить приблизно 1 МПа, а виробів складної конфігурації – до 5 – 10 МПа. Температура і час термообробки в кожному окремому випадку залежать від типу полімерної системи, що використовується, і тому тут не розглядаються.

5. Форму розкривають, витягують із неї готовий виріб і обробляють його (зачищують).

Після вилучення готового виробу з форми, за необхідності, можна провести додаткове затвердіння виробу в термокамері.

Автоклавне формування

Препрег або багат шаровий пакет з препрега на основі вуглецевих волокон викладають на форму, разом з нею розміщують у вакуумний мішок і знижують у ньому тиск.

Метод, у якому затвердіння проводять, створюючи градієнт тиску відносно атмосферному, називають формуванням за допомогою вакуумного мішка. Так як нерідко надлишковий зовнішній тиск створюють за допомогою автоклава, цей метод також називають автоклавним формуванням. Спочатку він використовувався для склеювання деталей літаків [23].

Процес власне автоклавного формування складається з наступних основних етапів: 1) на форму накладають необхідну кількість шарів препрега; 2) при підвищених тиску та температурі в автоклаві проводять затвердіння; 3) здійснюють обробку (зачистку) затверджених виробів.

Найчастіше при затвердінні в автоклаві використовують вакуумний мішок. Розглянутий метод формування є періодичним; на властивості виробів вирішальний вплив мають технологія викладки препрега на форму, тип і властивості вакуумного мішка тощо.



Рисунок 1.9 – Установа для проведення автоклавного формування.

Можна відзначити такі характерні риси методу автоклавного формування: 1) можливість отримання виробів рівномірної товщини; 2) можливість формування великогабаритних виробів; 3) висока якість поверхні виробів; 4) при використанні вакуумного мішка виходять високоякісні вироби із низькою пористістю [20].

Недолік методу автоклавного формування полягає в тому, що він досить дорогий, вимагає витрат ручної праці і тому малопридатний для виробництва виробів. Проте він дуже ефективний при виготовленні виробів з таких високоякісних і легких матеріалів, як вуглепластики.

Перспектива зниження вартості процесу (відповідно і виробів) пов'язана з механізацією та автоматизацією низки операцій, скороченням завдяки цьому трудових витрат та підбором кращих матеріалів для вакуумних мішків [22].

Досліджується можливість застосування для цього методу термостійких та довговічних мішків із силіконового каучуку, які можна використовувати багаторазово. Зокрема, важливо вибирати температуру і тиск з урахуванням характеристик процесу затвердіння, так як ці параметри значно впливають на властивості виробу, що формується [21].

Потрібно відзначити пожежну небезпеку використання вакуумних мішків у методі автоклавного формування. Деякі приклади спалаху та вибухів при використанні цього методу наведені в роботі. Тому необхідно застосовувати інертне газове середовище (наприклад, азот) та вживати інших заходів безпеки при автоклавному формуванні.

Метод намотування трубчастих виробів

Метод намотування трубчастих виробів. Цей метод називають методом поворотних столів. Він використовується для формування удилиць, рукояток ключок для гри в гольф та інших виробів у вигляді трубок [18].

Однонаправлений тканинний препрег намотують на циліндричну оправку, що знаходиться між двома столами, що нагріваються. Намотування на оправку здійснюють шляхом відносного зміщення столів.

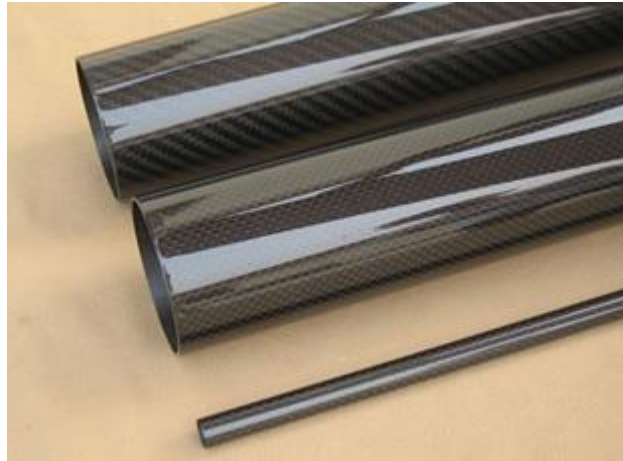


Рисунок 1.10 – Тканинний препрег.

Даний метод у порівнянні з аналізованим нижче методом намотування нитками має такі переваги:

1. Обладнання дуже просте та недороге.
2. Метод дозволяє нескладними прийомами намотувати з препрег трубчасті вироби, що мають конусність; при намотуванні нитками виготовлення таких виробів утруднене.
3. Завдяки застосуванню препрегів відносний вміст компонентів у виробі дуже стабільний.
4. Виробництво не пов'язане з використанням рідких смол, що покращує умови праці.
5. Технологічний процес простий і досить продуктивний.

Недолік методу в тому, що він не дозволяє формувати великогабаритні труби великого діаметра.

Виготовлення трубчастих виробів цим методом з використанням епоксидних в'язучих, що затверджуються при температурі близько 400 К, і односпрямованих препрег на основі вуглецевих волокон включає наступні етапи [24]:

- 1) препрег на основі вуглецевих волокон розкроюють на заготовки потрібної форми;
- 2) встановлюють на стіл циліндричну оправку;

- 3) розміщують препрег на основі вуглецевих волокон на стіл;
- 4) розміщують препрег у зазор між столом та оправкою і, використовуючи відносний рух столів, намотують прег на оправку;
- 5) намотаний препрег отверждают в термошафі;
- 6) на спеціальній машині витягують оправку з готової трубки.

Метод намотування нитками

Метод намотування нитками. Серед усіляких методів формування вуглепластиків метод намотування дозволяє отримувати вироби з найбільш високими деформаційно-міцнісними характеристиками [20]. Методи намотування поділяються на так звані “сухі” та “мокрі”. У першому випадку для намотування використовуються препреги у вигляді ниток, джгутів або стрічок. У другому – просочування армуючих матеріалів смолами ведеться безпосередньо у процесі намотування. Найбільшого поширення набув другий метод.



Рисунок 1.11 – Установа для намотування армуючих матеріалів.

Останнім часом розробляється устаткування, у якому замість механічних засобів керування схемою орієнтації волокон використовуються комп'ютерні системи. Це дозволяє отримувати трубчасті вироби, що мають вигини та неправильну форму, а також вироби зі складною геометрією. Розробляється обладнання для намотування із застосуванням гнучкої технології, коли

армуючі волокнисті матеріали можна укласти на оправці у будь-якому напрямку [17].

Метод намотування з вуглеволокнистих матеріалів загалом аналогічний методам намотування виробів зі склопластиків, яким присвячено значну кількість робіт. Метод намотування виробів складається з наступних основних етапів:

1. Підготовка вихідних матеріалів: вибір відповідного типу вуглецевих армуючих матеріалів (ниток, джгутів) та встановлення їх на шпулярник; вибір сполучного з затверджувачем та іншими компонентами полімерної матриці та заповнення ними просочуваної ванни.

2. Підготовка оправки: встановлення її на намотувальний верстат, очищення поверхні оправки від забруднень, пилу, частинок полімеру, що залишилися від намотування попереднього виробу, та покриття оправки складом на основі фторполімерів або кремнійвмісних сполук для поліпшення подальшого відділення виробу.

3. Намотування. Залежно від заданої схеми армування підбирають співвідношення швидкості обертання оправки та швидкості переміщення траверси, що несе шпулярник з нитками або джгутами; швидкість намотування (руху ниток) зазвичай становить 10-30 м/хв.

4. Затвердіння. Його здійснюють у термокамері при відповідній температурі (у разі епоксидних смол при 395 або 450 К); час затвердіння зазвичай становить 1-2 год; у процесі затвердіння бажано продовжувати обертання оправки.

5. Вилучення оправки з виробу, яке виконується за допомогою спеціальної машини (кабестану).

6. Остаточне оздоблення виробу: зачистка та обробка його торців тощо.

При використанні методу намотування перед стадією затвердіння іноді обмотують вироби усадковою плівкою тетроною, яка сприяє видавлюванню надлишку сполучного з матеріалу в процесі затвердіння виробів, що призводить до підвищення відносного вмісту волокон та монолітності виробів.

При заданій схемі армування коефіцієнт теплового розширення вуглепластика залежить від кута намотування [26]. Тому для полегшення зняття виробів з оправки необхідно при розрахунку схеми армування (орієнтації волокон) у виробках, одержуваних методом намотування, враховуватиме і цей фактор.

Для намотування виробів із вуглецевих волокон частіше застосовуються епоксидні смоли, тоді як для намотування виробів із склопластиків – ненасичені поліефірні смоли. Для отримання теплостійких виробів застосовуються поліімідні смоли [27].

Основні особливості методів намотування:

1. Можливість максимальної реалізації високої міцності та модуля пружності вуглецевих волокон та отримання вуглепластиків з хорошими характеристиками.

2. Можливість автоматизації процесу намотування та, як наслідок, отримання виробів зі стабільними властивостями.

3. Різноманітність схем орієнтації волокон при намотуванні дозволяє вибрати оптимальну структуру матеріалу залежно від потрібних властивостей кінцевого виробу.

Метод намотування – один із найбільш прогресивних та ефективних методів отримання виробів із вуглепластиків [22].

Пултрузія

Процес отримання односпрямованих профільних виробів. Основні стадії цього процесу, який також називають методом протяжки (або пултрузії) [21]:

- 1) просочування сполучним матеріалом пучків волокон;
- 2) віджимання надлишку сполучного матеріалу;
- 3) надання матеріалу заданого перерізу шляхом протягування його через фільтру безперервним або періодичним способом;
- 4) розрізання профільних виробів елементами заданої довжини.



Рисунок 1.11 – Вироби отримані методом пултрузії.

Такий процес дуже простий, повністю автоматизований і дуже перспективний для промислового виробництва профільних виробів з армованих пластиків. Однак він має і недоліки, що особливо позначалися в початковому періоді його розробки та освоєння в промисловому виробництві:

1. Швидкість процесу залежить від температури та швидкості затвердіння смоли та зазвичай невелика для низькотеплостійких поліефірних смол.
2. Важко забезпечити сувору сталість перерізу виробів по довжині, крім виробів з порівняно простою формою перерізу – круглої, квадратної, двутапорової і інших.
3. Для отримання виробів необхідно використовувати тільки нитки або джгути. Останнім часом перераховані вище недоліки процесу одержання профільних виробів поступово усуваються та застосування його помітно розширюється. В якості полімерних матриць використовуються композиції на основі полівінілових ефірів і епоксидних смол.

В даний час фірмою Goldsworthy Eng розробляється технологія формування профільних виробів із застосуванням полісульфону, поліефірсульфону, пластифікованого поліімиду тощо. Використання таких полімерних матриць дозволяє досягати швидкості формування круглих стрижнів діаметром близько 5 мм близько 102 м/хв [24].

Для отримання профільних виробів зі складними схемами армування почали використовувати методи протягування шаруватих матеріалів з

урахуванням волокнистих матів чи тканин. В даний час розробляються методи отримання трубчастих виробів, що поєднують намотування спірального шару та протяжку.

Як приклад застосування матеріалів зі складною схемою армування, отриманих методом протяжки, можна назвати лопаті вітряних двигунів, що мають складний профіль поперечного перерізу. Фірмою Goldsworthy Eng. В розробляється обладнання для формування напівфабрикатів для листових автомобільних ресор, що мають криволінійну поверхню і змінний поперечний переріз [25].

Інжекційний метод

Інжекційний метод отримання виробів із вуглепластиків. Цей метод відомий давно: уперше патенти на нього з'явилися близько 30 років тому. Вироби отримують, попередньо розімішуючі у форму армуючий матеріал і потім впорскуючи в неї смолу [18].

Переваги методу: 1) порівняно низька вартість прес-форми, інжекційних пристроїв та допоміжного обладнання; 2) знижені енерговитрати; 3) можливість автоматизації процесу; 4) екологічна чистота, зумовлена тим, що сполучний матеріал на всіх етапах процесу знаходиться в закритому від навколишнього середовища обсязі; 5) можливість дрібно- та середньосерійного виробництва великогабаритних виробів.

Приклади виробів зі склопластиків, одержуваних інжекційним методом, маломірні судна, деталі кузовів легкових автомобілів, крила вентиляторів, баки для сміття, сантехнічні та інші вироби із вуглепластиків.

Найчастіше цим методом отримують вироби із гібридних пластиків на основі поєднання скло- та вуглецевих волокон, рідше – з вуглепластиків.

Зазвичай як сполучні використовуються композиції на основі ненасичених полієфірів, хоча з успіхом можуть застосовуватися і епоксидні смоли, а також інші сполучні з досить низькою в'язкістю та високою швидкістю затвердіння [24].

В якості живильників інжекційних пристроїв можуть бути резервуари, що знаходяться під тиском, або насоси. Незалежно від типу обладнання для інжекції сполучне, що містить затверджувач, змішується з смолами, що містить прискорювач затвердіння, безпосередньо перед операцією упорскування.

Так як тиск упорскування порівняно невеликий (порядку 10 МПа), то конструкція прес-форм досить проста. Важливо вибрати правильне розташування отвору для впорскування полімеру прес-форму. Зокрема, якщо армуючий матеріал розподілений рівномірно в обсязі порівняно простої форми, отвір для впорскування поміщають майже завжди в центральній частині виробу [21].

Вкажемо послідовність операцій при формуванні виробів інжекційним методом з використанням смол на основі ненасичених полієфірних смол, що затверджуються при кімнатній температурі:

1. Очищення прес-форми та нанесення тонкого шару антиадгезійної речовини, що полегшує відокремлення виробу від форми (суміш кремнійорганічного воску та полівінілового спирту; нерухому частину прес-форми покривають тільки кремнійорганічним воском).
2. Нанесення на поверхню прес-форми шару смоли для формування зовнішнього покриття виробу.
3. Введення в прес-форму вуглецевих або скляних волокон або інших армуючих матеріалів, закладних елементів тощо.
4. Змикання прес-форми з фіксацією її частин щодо один одного.
5. Впорскування всередину зімкнутої прес-форми смоли під тиском.
6. Затвердіння виробів приблизно 15-30 хв.
7. Розкриття прес-форми.
8. Відділення виробу від прес-форми за допомогою стисненого повітря.
9. Остаточна обробка виробу (обрізання кромки та литника, зачистка тощо).

Метод формування на матриці листових формувальних матеріалів

Пресування листових формувальних матеріалів (ЗМС) на основі вуглецевих волокон проводять переважно так само, як пресування аналогічних матеріалів на основі скловолокон [24].

Під час пресування необхідно застосовувати високий тиск. З урахуванням площі проекції виробів, що формуються, воно повинно становити для виробів простої форми 3-5 МПа, а складної - 15 МПа. Відповідно до цих вимог необхідно конструювати прес-форму та вибирати пресове обладнання.

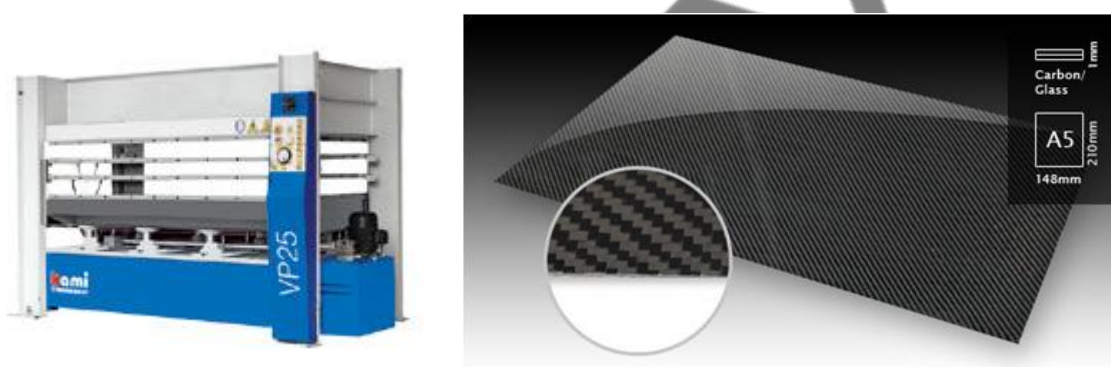


Рисунок 1.12 – Метод формування на матриці листових формувальних матеріалів.

Преси для листових формувальних матеріалів повинні задовольняти такі умови [27]:

1. Залежно від площі проекції виробів, що формуються, і їх конфігурації необхідно мати можливість створити тиск до 15 -20 МПа.
2. Потрібна достатня жорсткість і висока точність самого преса, беручи до уваги обсяг, у якому створюється тиск. Необхідно, щоб пресове обладнання відповідало першому розділу японського промислового стандарту JIS 6403.
3. Оператор повинен мати можливість регулювати швидкість руху пуансона в інтервалі від одного до кількох міліметрів за секунду.
4. Необхідно враховувати деформації, які виникають у елементах преса при нагріванні.

Металеві форми для переробки листових формувальних матеріалів повинні відповідати таким вимогам [22]:

1. Для виготовлення форм не можна використовувати чавун, а необхідно застосовувати ковану або леговану сталь. Поверхню форм слід хромувати.

2. Зазор між двома половинами форми повинен бути мінімальним і в середньому по всьому периметру форми не перевищувати 0,05 – 0,2 мм, щоб зберігався заданий тиск формування. Переміщення пуансону має становити 7-20 мм.

3. Жорсткі напрямні втулки повинні забезпечувати точність змикання форми та не допускати порушення співвісності при додатку тиску та зминання торців прес-форми.

При переробці листових формувальних матеріалів у виробі важливим етапом є операція завантаження пакета в прес-форму. Вона дуже впливає на міцність і зовнішній вигляд виробів. Послідовність основних стадій формування наступна [27]:

1. Розкрій (розрізання) листового формувального матеріалу (при серійному виробництві використовують автоматичну ріжучу машину).

2. Пакетування нарізаного листового формувального матеріалу відповідно до схеми його розміщення у формі.

3. Завантаження матеріалу у прес-форму.

4. Змикання верхньої та нижньої частин прес-форми.

5. Підвищення тиску і температури (для сполучних на основі ненасичених поліефірних смол і полівінілових ефірів температура зазвичай становить 403 - 413 К; для поліпшення зовнішнього вигляду виробів температура прес-форми повинна бути на 5 - 10 К вище). Час витримки під тиском визначається конфігурацією виробу (переважно його товщиною) і становить кілька хвилин.

6. Рознімання форми та вилучення з неї виробу.

7. Остаточне оздоблення готового виробу.

Метод не виключає можливості появи таких дефектів: 1) складок або місцевих потовщень; 2) нерівномірності розподілу армуючих волокон (при

товщині виробу менше 1 мм утруднюється перерозподіл сполучного в наповненій волокнами композиції, внаслідок чого може виникати локальна неоднорідність у структурі матеріалу, що призводить до погіршення зовнішнього вигляду виробу); 3) тріщин, пір, здуття та інших дефектів. Методи усунення перелічених дефектів не розглядаються [11].

Для підвищення міцності та жорсткості виробів прагнуть застосовувати листові формувальні матеріали з високим вмістом армуючих волокон. Однак у цьому випадку погіршуються реологічні властивості композиції, на поверхні виробів можуть з'явитися не захищені сполучною армуючі волокна і виникнути інші ускладнення [23].

Рецептура листових формувальних матеріалів дозволяє отримувати вироби складної форми за короткий цикл формування (3-5 хв).

Тому ці матеріали та метод їх формування набули поширення у промисловому виробництві серійних виробів. Міцність та жорсткість виробів з листових формувальних матеріалів дещо нижчі, ніж у виробів з інших препрегів; для поліпшення властивостей виробів іноді використовують поєднання листових формувальних матеріалів та однонаправлених або тканинних препрег.

1.6 Властивості вуглецевих конструкційних матеріалів – вуглепластики

Введення в полімерні матеріали вуглецевих волокон дозволило розробити принципово новий клас конструкційних матеріалів - вуглепластиків. Вони є КМ на основі полімерної матриці, армованої безперервними або дискретними вуглецевими волокнами.

Залежно від виду армуючого вуглецевого матеріалу вуглепластики поділяються на вуглеволокніти, вуглетекстоліти та вуглепресволокніти.

Вуглеволокніти виготовляються із застосуванням безперервних вуглецевих ниток та джгутів. Мають низьку теплопровідність і електричну провідність, але все ж таки їх теплопровідність в 1,5-2 рази вище, ніж у

скловолокнітів. Вони мають малий і стабільний коефіцієнт тертя і мають гарну зносостійкість [21].

Температурний коефіцієнт лінійного розширення вуглеволоконів в інтервалі 20-120°C близький до нуля.

До недоліків вуглеволоконів відносять низьку міцність при стисканні та міжшаровому зсуві. Спеціальна обробка поверхні волокон (окислення, травлення, віскеризація) збільшує ці характеристики [1].

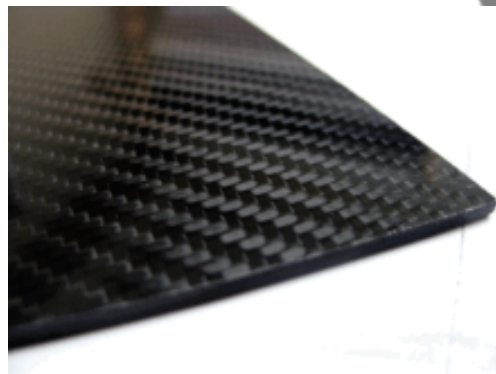


Рисунок 1.13 – Лист вуглепластику.

Вуглетекстоліти виготовляють з використанням тканин або тканих стрічок різного переплетення. *Вуглепресволоконіти* виробляють на основі дискретних волокон.

Властивості вуглепластиків залежать від характеристик армуючих матеріалів, виду та текстури волокна, ступеня наповнення, властивостей полімерної матриці тощо.

Оптимальний вміст вуглецевих армуючих матеріалів у вуглепластику становить 52-60% за масою залежно від його виду.

Відмінні риси вуглепластиків, якими вони володіють завдяки вуглецевим волокнам – висока міцність при надзвичайно високому модулі пружності та низьких щільності та повзучості [26].

Крім того, у них дуже висока теплостійкість та стійкість до термічного старіння. Вони довго (500-1000 год) витримують механічні напруження при одночасному впливі температур до 200°C. Ці матеріали мають у 2-3 рази більш високу втомну міцність, ніж склопластики.

Характерною особливістю вуглепластиків є висока анізотропія всіх механічних та електрофізичних властивостей, яка в 2-3 рази вища за анізотропію властивостей склопластиків (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

Анізотропія властивостей вуглепластиків [2]

Найменування показника	Одиниця виміру	Напрямок навантаження	Значення показника
Міцність при розтягуванні	Мпа	Уздовж волокон Поперек волокон	1500 32
Міцність при стисканні	Мпа	Уздовж волокон Поперек волокон	1200 140
Модуль пружності при розтягуванні	ГПа	Уздовж волокон Поперек волокон	140 9

Тому при проектуванні структури вуглепластиків та виробів з них необхідно враховувати напрямок (вектор) дії навантажень під час експлуатації.

Серед недоліків вуглепластиків – менша, порівняно з іншими армованими пластиками, питома ударна в'язкість, недостатня тріщиностійкість та більш висока чутливість до концентрації напруги. Чергування у структурі матеріалу армуючих наповнювачів різної хімічної природи дозволяє усунути ці недоліки. З цією метою виробляють комбіновані тканини на основі сумішей скляних та вуглецевих волокон [28].

Конструкційні вуглепластики містять в якості наповнювача високомодульні ($E = 342 - 540$ ГПа) та високоміцні ($\sigma_{\text{вз}} = 2,5$ ГПа) вуглецеві волокна. Для конструкційних вуглепластиків характерні низькі щільність та коефіцієнт лінійного розширення та високі модуль пружності, міцність, термостійкість, тепло- та електропровідність.

Властивості вуглепластиків визначаються матеріалом сполучного, властивостями, концентрацією та орієнтацією волокон. Вуглепластики на

основі епоксидних смол мають високі характеристики міцності за температури нижче 200°C (табл. 1.3).

Таблиця 1.3

Властивості високомодульних та високоміцних епоксидних вуглепластиків [3]

Показники	Епоксидні вуглепластики	
	високомодульні	високоміцні
Густина, кг/м ³	1500	1500
Міцність, Мпа, при стисканні розтягуванні та згині міжшаровому зсуві	1000 80 5	1500 90 8
Модуль пружності при розтягуванні та згині, ГПа	180	110
Втомна міцність при вигині на базі 10 ⁷ циклів, ГПа	-	0,8

Вуглепластики відрізняє високий опір втомним навантаженням. За величиною межі витривалості на одиницю маси вуглепластики значно перевершують склопластики та метали. Одна з причин цього – менша (ніж, наприклад, у склопластиків) деформація при однаковому рівні напруг, що знижує розтріскування полімерної матриці. Крім того, висока теплопровідність вуглецевих волокон сприяє розсіюванню енергії коливань, що знижує саморозігрів матеріалу за рахунок сил внутрішнього тертя.

Цінна властивість вуглепластиків – їх висока демпфуюча здатність та віброміцність. За цими показниками вуглепластики перевершують метали та деякі інші конструкційні матеріали. Регулювати демпфуючу здатність можна, змінюючи кут між напрямками армування та застосування навантаження [24].

Коефіцієнт лінійного розширення високомодульних односпрямованих вуглепластиків у поздовжньому напрямку близький до нуля, а в інтервалі 120 – 200°C навіть негативний ($-0,5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$). Тому розміри виробів із вуглепластиків при нагріванні та охолодженні змінюються дуже мало.

Вуглепластики мають досить високу електропровідність, що дозволяє застосовувати їх як антистатичні та електрообігрівачі матеріали.

Хімічна стійкість вуглепластиків дозволяє використовувати їх у виробництві кислотостійких насосів, ущільнень. Вуглецеві волокна мають низький коефіцієнт тертя. Це дає можливість використовувати їх як наповнювач для різних смол, з яких роблять підшипники, прокладки, втулки, шестірні [26].

У табл. 1.4 представлені для порівняння характеристики деяких металевих, полімерних матеріалів конструкційного призначення та вуглепластиків.

Таблиця 1.4

Властивості деяких конструкційних матеріалів [4]

Матеріал	Щільність, кг/м ³	Міцність при розтягуванні, МПа	Модуль Юнга, ГПа	Питома міцність, $e \cdot 10^3$, км	Питомий модуль, $E \cdot 10^6$, км
Вуглепластик	1450–1600	780–1800	120–130	53–112	9–20
Склопластик	2120	1920	69	91	3,2
Високоміцна сталь	7800	1400	210	18	2,7
Алюмінієвий сплав	2700	500	75	18	2,7
Титановий метал	4400	1000	110	28	2,5
Поліамід 6,6	1140	82,6	28	7,24	0,24
Поліамід 6,6+40 мас. % стекловолокна	1460	217	112	8,87	0,77
Поліамід 6,6+40 мас. % вуглецевого волокна	1340	280	238	21,0	1,92

Як очевидно з таблиці 1.4, за показниками питомої міцності та жорсткості вуглепластики перевершують практично всі найбільш широко використовувані конструкційні полімерні та металеві матеріали. Цікаво відзначити, що такий порівняно неміцний полімерний конструкційний матеріал, як поліамід, при введенні в нього вуглецевих волокон за показниками питомої міцності і жорсткості наближається до металевих конструкційних матеріалів [19].

Економічна доцільність використання вуглепластиків замість металів визначається також порівняно низькими питомими витратами енергії (в кВт•год) на виробництво конструкційних матеріалів та виробів з них:

Таблиця 1.5

Питомі витратами енергії на виробництво конструкційних матеріалів

Матеріал	На 1 кг матеріалу, кВт•год	На 1 кг готового виробу, в кВт•год
Епоксидний вуглепластик	33,0	72,7
Сталь	35,2	220,4
Алюміній	48,5	392,4
Титан	189,5	1543,2

Таким чином, у перерахунку на 1 кг готових виробів з епоксидвуглепластика енергії витрачається у 3 рази менше, ніж на вироби зі сталі, у 5,5 рази менше, ніж на вироби з алюмінію та його сплавів та у 20 разів менше, ніж на вироби з сталі титану (табл. 1.5).

Вуглецеві волокна мають високу хімічну стійкість до всіх агресивних середовищ за винятком сильних окислювачів. Висока хімічна стійкість вуглецевих волокон визначила розробку хімістійких вуглепластиків замість нержавіючих сталей, сплавів та кольорових металів для виготовлення різної апаратури та вузлів машин, що працюють в умовах впливу агресивних середовищ: корозійностійких насосів, ємностей та трубопроводів [13].

Поряд з високими механічними властивостями і хімічною стійкістю вуглепластики мають хороші антифрикційні характеристики, порівняно низький коефіцієнт тертя і підвищену зносостійкість. Коефіцієнт тертя вуглепластиків коливається від 0,1 до 0,17 в залежності від умов випробування, а за зносостійкістю вони в 5-10 разів перевершують антифрикційні марки бронзи, що використовуються для виготовлення підшипників ковзання [14].

Висновки до розділу 1

У першому розділі нами було проведено літературний огляд у якому були розглянуті питання: пристрої конструкції крила літака БПЛА; навантаження, що діють на деталі крила у процесі польоту, використання сучасних матеріалів виготовлення деталей крила; технологій, що застосовуються для виготовлення деталей крила з ПКМ; аналіз фізико-механічних властивостей сучасних матеріалів, що застосовуються в авіабудуванні.

Зроблено висновок: ланжерон крила є відповідальною деталлю БПЛА, яка в процесі експлуатації переносить високі навантаження; найбільш раціонально використовувати як матеріал для виготовлення ланжерону - ПКМ вуглепластик; для виготовлення зразків ПКМ вуглепластика буде використано технологію вакуумного формування.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ, МАТЕРІАЛИ ТА ОБЛАДНАННЯ

2.1 Проведення механічних випробувань зразків вуглепластика

Методика дослідження властивостей композиту та його складових складалась з визначення міцності при розтягуванні згідно з ГОСТ 32656-2014, міцності при стисканні згідно ГОСТ 25.602-80.

Спосіб виготовлення зразків для всіх випробувань згідно з ГОСТ 26277-84 Пластмаси. Загальні вимоги щодо виготовлення зразків способом механічної обробки.

2.2 Визначення щільності зразків вуглепластика

Визначення щільності зразків проводили гідростатичним зважуванням згідно ГОСТ 15139-69.

2.3 Вуглецеві волокна

Унікальним видом зміцнювальних волокон є вуглецеві (ВВ) [23]. Обсяг застосування вуглецевих волокон при виготовленні композиційних матеріалів постійно зростає, що пояснюється високим рівнем їх властивостей:

- за питомими показниками вуглецеві волокна перевершують усі жаростійкі волокна;
- межа міцності високомодульних ВВ становить 2,5-3,5 ГПа;
- модуль пружності дорівнює 200-700 гПа;
- щільність вуглецевих волокон (1600-1800) кг/м нижче щільності графіту (2260 кг/м), що пов'язано з великою пористістю волокон та їх менш досконалою структурою;
- висока хімічна стійкість до дії більшості агресивних середовищ притаманна ВВ.
- за питомими показниками вуглецеві волокна перевершують усі

жаростійкі волокна;

- межа міцності високомодульних ВВ становить 2,5-3,5 ГПа;
- модуль пружності дорівнює 200-700 ГПа;
- щільність вуглецевих волокон (1600-1800) кг/м нижче щільності графіту (2260 кг/м), що пов'язано з великою пористістю волокон та їх менш досконалою структурою;
- висока хімічна стійкість до дії більшості агресивних середовищ притаманна ВВ.

В залежності від умов обробки вуглецеві волокна поділяються на карбонізовані та графітізовані.

Температура термічної обробки карбонізованих волокон становить 900-2000°C, вміст вуглецю в них - 80-99%.

При отриманні графітізованих волокон температура термообробки досягає 3000°C. Вуглецю в них міститься понад 99%. Для проведення графітізації, як правило, використовують карбонізовані волокна [25].

Виробництво вуглецевих волокон засноване на нагріванні полімерів в інертному середовищі та їх термічній деструкції.

Карбонізація та графітізація проводяться у вакуумі, у різних контрольованих середовищах (метан, азот, аргон та ін), а також у вугільному, коксовому та графітовому засипках. Під час розкладання полімерів утворюються леткі продукти і залишається твердий коксовий залишок. Перетворення органічних волокон на вуглецеві волокна пов'язане з перебігом складних реакцій, кардинальною зміною структури за збереження елементів первинного полімерного скелета [19].

Для отримання ВВ використовують тільки волокнисті полімери, що не плавляться при термічній обробці і забезпечують високий кінцевий продукт по вуглецю та високі механічні властивості. До таких полімерів відносять поліакрилонітрильні волокна (ПАН-В), гідратцелюлозні волокна (віскозні, ГЦ-В), багаті на вуглець пеки (звичайні та мезофазні) та органічні волокна, отримані з фенольних смол. Серед них основними видами сировини при

отриманні вуглецевих волокон є ПАН-В та ГЦ-В.

З поліакрилонітрильних волокон отримують високоміцні високомодульні ВВ. Достоїнствами цього виду сировини є великий вихід по вуглецю і простіша технологія (нижча температура нагрівання матеріалу). Недолік їх використання полягає у виділенні отруйної речовини – синильної кислоти. Гідратцелюлозні волокна позбавлені цього недоліку, крім того вони дешевші за ПАН-В, тому широко використовуються для виробництва вуглецевих волокон.

Технологічний процес отримання волокон із гідратцелюлозних ниток включає стадії текстильної підготовки матеріалу, окиснення, карбонізації, графітизації [16].

Текстильна підготовка розчинниками чи поверхнево-активними речовинами необхідна видалення вологи, неорганічних домішок і органічних речовин, зокрема і замасливачей. Після сушіння целюлози на стадії окиснення при температурі 350-400 °С спостерігаються великі втрати маси матеріалу і в результаті в залишку міститься не більше 60-70% вуглецю. Далі при температурі 900-1500 °С здійснюється карбонізація волокон. Матеріал ще більшою мірою збагачується вуглецем.

Остаточна стадія термічної обробки волокон - графітизація - реалізується серед аргону і триває лише кілька хвилин. Початкова температура цієї стадії визначається кінцевою температурою карбонізації, а кінцева температура становить ~ 2600-2800 °С. Вміст вуглецю у волокні після закінчення графітизації перевищує 99%. При суміщенні процесу перетворення ГЦ-В вуглецеві з операцією їх витягування отримують волокна з покращеними міцнісними та пружними властивостями [21].

2.4 Об'єднання зміцнювальних елементів

Моноволокна, отримані різними методами, можуть бути безпосередньо використані для зміцнення композиційних матеріалів. Однак часто волокна об'єднуються у пряжу [14].

Пряжа називається нитка з волокон, з'єднаних за допомогою кручення. Пряжа буває однорідної, тобто отриманої з однакових волокон, і змішаної (з суміші різних волокон). Для оцінки лінійної щільності волокон або ниток часто використовують позаштатну одиницю – текс (мг/м) – відношення маси нитки (волокна) до довжини.

Пряжа може бути використана для армування композитів у вигляді ниток, а також у вигляді тканин [21].

Тканини, отримані при ткацькій переробці ниток і волокон, є результатом закономірного переплетення поздовжньо розташованих елементів (основа) і елементів поперечного розташування (качка). За конструктивною ознакою розрізняють матеріали з полотняним, ситцевим, сатиновим, саржевим та трикотажним типом переплетення (рис.2.1).

Основними технічними характеристиками тканин є склад волокна, вид переплетення, спосіб обробки, ширина, товщина, маса квадратного метра, щільність тканини, розривне навантаження, подовження при розриві.

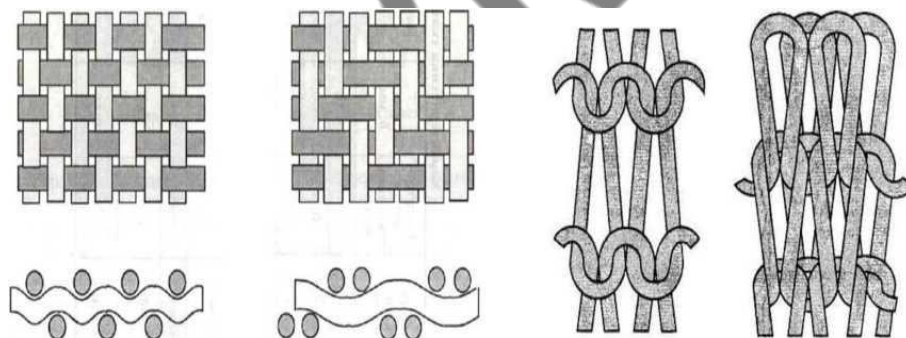


Рисунок 2.1 – Схеми плетіння: полотняне (а), саржеве (б), трикотажне (в).

Недоліком матеріалів (тканин і сіток), одержуваних способом ткацької переробки, є необхідність застосування лише пластичних волокон і пряжі. У місцях контакту елементів основи відбувається деформація матеріалу, утворюються дефекти, що знижує механічні властивості композиційних матеріалів. Більш широкі можливості використання волокон та пряжі реалізуються при отриманні в'язаних трикотажних сіток [17].

Зміцнюючі волокна можуть бути об'єднані також і в неткані матеріали (типу повсті), в яких відсутня їх закономірна орієнтація. Розроблено методи рідинного, повітряного, гравітаційного, вакуумного повстяного. Наприклад, основою для отримання повсті методом рідинного войлокування служить суспензія коротких волокон, залита в бак, з якого вона надходить на сітку, покриту фільтрувальним папером. Далі з об'єму матеріалу видаляється рідина, лист обжимається валками і при необхідності спікається в печі.

2.5 Матеріали дослідження

2.5.1 Вуглетканина односпрямована біоксальна

Це біоаксіальна вуглеткань NCF має 2 однонаправлені шари, укладені під кутом $\pm 45^\circ$ і з'єднані рядком один з одним.

Щільність: 200 г на метр квадратний

Волокно: TORAYCA® T700SC 800 tex (12k)

Ширина: 127 см

Конструкція: $\pm 45^\circ$

Поверхнева щільність (г/м): 100/100

Структура: $\pm 45^\circ$

Прошивка: Текстурований поліестер, 76 дтекс

Застосування: мотоспорт, суднобудування, спортивне спорядження та модельне будівництво.

Драпірованість покращена в порівнянні зі звичайними NCF тканинами з пластиковим напиленням. Укладання без переплетення дозволяє краще реалізувати армуючі властивості вуглецевих волокон. Особлива перевага: шари, що працюють на кручення (торсіонні), можуть бути укладені без зайвих відходів [22].

Розрахункові дані для ручних ламінатів з 35 загальними обсягами волокон. Споживання смоли: 251 г/м², товщина ламінату: 0,350 мм, маса ламінату: 451 г/м².

2.5.2 Вуглетканина plain 3K

Вуглецева тканина (карбон) Plain 3K, виробник Україна, волокно Toho Tenax.

Ширина: 127 см

Конструкція: $\pm 90^\circ$

Поверхнева густина: 200 г/м²

Прошивка: Текстуrowаний поліестер, 76 дтекс

Товщина карбонової тканини 0,22-0,25 мм.

Застосування: мотоспорт, суднобудування, спортивне спорядження та модельне будівництво.

2.5.3 Епоксидна смола LN 289

LN 289 епоксидна резія з дуже низькою в'язкістю. Підходить для виробництва композитів, а також верхнього шару штучного каменю. При нормальних температурах зберігання кристалізація не відбувається.

Перевагою сумішей ресину і закріпителя є її прозорість. Особливості: смола при 0-10 °С ясна, без помутніння, наприклад, як деякі епоксидні смоли. В'язка з затявою перед ламінатом створює систему низької в'язкості, яка дозволяє добре змочувати, поточні бульбашки зміщуються з поверхні ламінату. Технологія від 15 хвилин до близько 5 годин в залежності від затвердіння агента [13]. Термостійкість продукту без істотних змін їх параметрів: від 50 до 100 °С. Обробка: при температурах від 10 °С до 50 °С.

Для затвердіння при кімнатній температурі 10-30 °С можна наносити на різні комбінації ламінування і затвердіння. Термостійкість 40-60 °С може бути досягнута шляхом затвердіння при температурі навколишнього середовища температура затвердіння близько 30 °С, максимальна термостійкість. Термостійкість цих систем може бути підвищена приблизно до 90 °С поступове спалювання тепла при 50 - 70 °С.

Таблиця 2.5

Фізико-механічні властивості смоли LH 289

Показник	Епоксидна смола LH 289
Зовнішній вигляд	Медоподібна жовтувата рідина, легко забарвлюється
Щільність при 20 °С, кг / м ³	1,16-1,25
Міцність при розтягуванні, МПа	40-90
Міцність при згині, МПа	80-140
Міцність при стисканні, МПа	100-200
Температура полімеризації, °С	від 20
Середнє рекомендований співвідношення затверджувач-смола	7: 1
Час полімеризації	1,5 години
Час повної полімеризації 24 години	24 години
Водопоглинання за 24 год, %	0,01-0,1
Ударна в'язкість, кДж / м ²	5-25
Теплостійкість, °С	55-170
В'язкість при 20 °С, МПа, °С	4000
Ударна в'язкість, кДж / м ² 19	19
Гарантійний термін зберігання епоксидної смоли , року затверджувача, року	1,5-2
Призначення	Епоксидна смола LH 289 призначена для: виготовлення та ремонту деталей корпусів човнів, яхт, літаків, автомобілів і т. д. в меблевій, електротехнічній та радіотехнічній промисловості; як компонент заливальних і просочувальних компаундів, клеїв, герметиків, зв'язуючих для армованих склопластиків.
Умови зберігання епоксидної смоли LH 289	Слід зберігати в щільно закритій тарі при температурі навколишнього середовища від 15 до 40 °С.

Використання: обмерзання каменю, кам'яні доріжки, композитні запчастини до човнів, спортивні товари, тощо. Рекомендованою системою для ЛН 289 є затверджувач Н 536 (коефіцієнт суміші: 35 за вагою, життєздатність 50-70min) [14].

При відсутності ознак желатинизації і загустіння можливе використання технакріла і епоксидної смоли ЛН 289 після закінчення гарантійного терміну.

Забороняється змішувати відразу велику кількість епоксидної смоли ЛН 289 з затверджувачем без використання спеціальних апаратів для змішування з метою уникнення закипання. Акрилову смолу технакріл можна змішувати з затверджувачем без спеціальних апаратів за умови дотримання точної пропорції, зазначеної в інструкції по застосуванню.

Застосування епоксидно-діанова смол, основні замітники використовуються епоксидні смоли в електротехнічній, радіоелектронній промисловості, авіа-, судо- і машинобудуванні, в будівництві як компонент заливальних і просочувальних компаундів, клеїв, герметиків, зв'язуючих для армованих пластиків, в лакофарбових матеріалах, склопластику, для виготовлення наливних підлог [17].

Також використовуються епоксидно-діанові смоли у виробництві епоксидного клею, пропиточного матеріалу разом зі склотканиною для виготовлення та ремонту різних корпусів («вугле-» і «склопластикові», «карбонові» корпусу і деталі кузова автомобіля), при виготовленні гідроізоляції приміщень (підлога і стіни підвальних приміщень, басейни). А також використовується для виготовлення емалей, лаків, шпаклівок і як напівфабрикат для виробництва інших епоксидних смол і добавок до них.

Те, якими властивостями буде володіти кінцевий виріб на основі епоксидної смоли залежить від того, якими отвердителями, добавками і пластифікаторами вони модифікуються. Епоксидно-діанові смоли ЛН 289 забезпечують найбільші технологічні зручності при переробці в вироби і дозволяють створити на основі цих смол найрізноманітніші матеріали [16].

2.6 Макро- і мікроаналіз ПКМ

При макроаналізі вивчають структуру матеріала, видиму без збільшення або при невеликому збільшенні, за допомогою лупи. При мікроаналізі вивчають будову матеріалу за допомогою мікроскопа, тобто при відносно великих збільшеннях. Обидва методи дослідження спрямовані на те, щоб встановити зв'язок між структурою матеріалу і його властивостями.

За даними макро- і мікроаналізу можна не тільки вказати в якому напрямку будуть змінюватися механічні, фізичні та інші властивості матеріалу в залежності від його складу і структури, а й пояснити причини цих змін. Це дозволяє вказувати шляхи найбільш ефективного поліпшення структури і властивостей матеріалів, в даному випадку пластмас, і на цій основі прогнозувати експлуатаційні якості і надійність роботи виробів в приладах, пристроях і машинах [22].

Технологія виготовлення мікрошліфа пластмаси.

Перша операція - відрізка зразка - виконується з використанням звичайного устаткування і ріжучого інструменту для механічного різання. Інструмент вибирається залежно від фізико-механічних властивостей пластмаси і вимог, що пред'являються до якості зони різання.

З метою виключення механічних руйнувань (освіти розшарувань, сколів, разломачіванню наповнювача і т.п.) і впливу температурного чинника (припикання матеріалу) не рекомендується застосовувати швидкісне різання. Вірізку зразків рекомендується робити вручну за допомогою пиляльного полотна [24].

Пластмаси товщиною менше 1,5 мм розрізають полотнами з нерозведеними зубами. Хороша якість поверхні розрізу шаруватих армованих реактопластов виходить і при використанні пил, призначених для різання деревіни. Для тонких шліфів при механічній обробці з метою зручності та безпеки в роботі, а також для запобігання країв від руйнування і завалювання слід застосовувати оправлення з механічним затисненням, які виготовляються з двох прямокутних пластин, з'єднаних між собою шурупами

або болтами. Між пластинами оправлення поміщають пластину з пластмаси для вирізки з неї зразка [22].

Друга операція - шліфування - є найбільш відповідальною операцією при виготовленні мікрошліфів. Труднощі шліфування (мікрорезанія) армованих пластиків пов'язана з різко вираженою структурною неоднорідністю шліфа (різна твердість полімерної основи-матриці і наповнювача).

Відрізаний зразок шліфується на шліфувальному папері до повного видалення рисок з поступовим переходом від паперу з абразивом більшого розміру, наприклад, з шліфзерно 25, до паперу з меншим розміром абразивних частинок - 16, 10, 6 (числа вказують найбільший розмір зерен в сотих частках міліметра). Шліфування виконують вручну, поклавши шліфувальний папір на рівну поверхню (наприклад, на скляну пластину). З метою видалення рисок від попередньої ступені шліфування зразок повинен бути повернений на 90° при переході до абразивного матеріалу з більш дрібним розміром частинок.

Закінчують шліфування на папері M28, M20 або M14 (числа показують найбільший розмір в мікрометрів зерен основної фракції). Зразок промивають водою і піддають поліруванню [24].

Заключна операція - полірування, здійснюється на швидкообертаючомуся диску полірувального верстата (400- 600 оборотів в хвилину) діаметром 200-250 мм, Обтягнутому високоякісним сукном або м'яким фетром. Поверхня диска зволожується водяний суспензією порошку окису хрому. Мікрошліф притискається до диска з зусиллям, достатньому для його утримання в контакті з поверхнею фетру. Слід уникати великих тисків на зразок, так як це може привести до сильного нагрівання зразка і зниження якості його поверхні.

Особливістю пластмас є те, що при дуже тривалому поліруванні може проявитися особливий рельєф, який ускладнює вивчення структури при великих збільшеннях. Тому під час полірування пластмас необхідно вибирати оптимальний момент її закінчення. Якщо за проміжок часу 6-10 хвилин не вдалося усунути сліди попереднього шліфування, але почав з'являтися рельєф, полірування слід припинити і знову повторити процес шліфування. При

визначенні розподілі кінця полірування зразка орієнтуються на момент зникнення рисок від шліфування. У деяких випадках полірування зразків пластмас проводять за допомогою спеціальних паст [21].

Для тонких досліджень операції шліфування та полірування пластмас проводять в затискачах з прокладками, як було зазначено вище. Стійкість матеріалу прокладки проти стирання повинна бути рівною або близькою до матеріалу зразка.

В іншому випадку неминуче завалювання зразка. Можна прокладки виготовити з тієї ж пластмаси, яка досліджується. У тих випадках, коли необхідно досліджувати край шлифа під мікроскопом при великих збільшеннях, тобто коли необхідно уникнути навіть незначного заовалівання, рекомендується застосовувати оправлення з в'язкими речовинами. В цьому випадку можна рекомендувати для заливки оправок клей холодного затвердіння на основі епоксидних смол.

Мікроструктурний аналіз ПКМ

Мікроструктурний аналіз пластмас здійснюють оптичними металографічними мікроскопами, які дозволяють проводити вивчення будови матеріалів у відбитому світлі при корисних збільшеннях 325 - 650 (при об'єктиві 40x0,65) або 200 - 400 (при об'єктиві 21x0,40).

При роботі з композиційними пластмасами слід враховувати необхідність забезпечення високої контрастності зображення. Для цього застосовують косе освітлення, яке досягається зміщенням апертурними діафрагми або джерела світла щодо оптичної осі. Іншим методом посилення контрастності є темнопольного освітлення [27].

У цьому випадку застосовують спеціальні об'єктиви, які мають навколо оправки з лінзами параболічне дзеркало, на яку падають тільки крайові промені від джерела світла. Таким чином, освітлення тут буде здійснюватися не через об'єктив, а за допомогою параболічного дзеркала. У цьому випадку від поверхні шлифа в об'єктив відіб'ється тільки частина променів від деяких фаз,

зазвичай виступають над рештою поверхні об'єкта, і тому їх можна детально вивчити, то гда як інші фази будуть більш темними.

Таким чином, дослідження в темному полі зазвичай не дає повної характеристики структури і його слід розглядати як доповнює основне вивчення в світлому полі, тобто при вертикальному освітленні, коли світлові промені потрапляють на мікрошліф через об'єктив, який збирає їх на поверхності шлифа [25].

При вивченні забарвлених структур важливе значення мають світлофільтри. Для отримання найбільшої контрастності будь-якої структурної складової необхідно застосовувати світлофільтр того ж кольору, що і колір складової. Вибрав фільтр додаткового кольору, отримаємо мінімальну контрастність даної фази. Додатковими називають ті кольори, які при змішуванні дають білий колір, наприклад, помаранчевий і блакитний, зеленувато-жовтий і фіолетовий, червоний і зеленувато-блакитний і т. д. Це дозволяє за допомогою світлофільтрів здійснювати роздільне вивчення окремих забарвлених фаз.

Висновки до розділу 2

У розділі розглянуто методику випробувань заготовок з ПКМ, які застосовувалися при проведенні експериментів: механічні випробування зразків вуглепластика, визначення щільності зразків вуглепластика, макро- та мікроаналіз ПКМ.

Наведено дані, склад, фізико-механічні властивості матеріалів і технології їх отримання.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Виготовлення дослідних зразків матеріалу

Для виготовлення зразків динамічних елементів корсету нами, було застосовано метод вакуумного формування, оскільки він оптимальний для одиничного виробництва і порівняно не дорогий, забезпечуючи при цьому високі механічні властивості одержуваних деталей.

Метод вакуумного формування полімерного композитного матеріалу складається з наступних етапів:

1. Розкрій тканого наповнювача та його попереднє (сухе) укладання відповідно до структури організації шарів, що враховує тип тканини або ровінгу, напрямок ниток у кожному шарі (табл. 3.1))

Таблиця 3.1

Маркування та склад зразків для механічних випробувань

Маркування зразка для випробувань		Склад зразків			
№ серії зразків	№ зразка	№ шару	Тип тканини або ровінгу	Напрямок волокон у шарі	Марка епоксидної смоли і отверджувача
1.	2.	3.	4.	5.	6.
1.	1.	1.	Углеродная ткань plain 3К 200г/м ²	↔↕	Епоксидна смола MGS LR 285, отверджувач LH 287
		2.	Углеродная однонаправленная биаксальная плотность 200г/м ²	↖↗	
		3.	Углеродная ткань plain 3К 200г/м ²	↔↕	
	2.	1.	Углеродная ткань plain 3К 200г/м ²	↔↕	Епоксидна смола MGS LR 285, отверджувач LH 287
		2.	Углеродная однонаправленная биаксальная плотность 200г/м	↖↗	

		3.	Углеродная однонаправленная биаксальная плотность 200г/м	↖ ↗	
		4.	Углеродная ткань plain 3К 200г/м ²	↔ ↕	
	3.	1.	Углеродная ткань plain 3К 200г/м ²	↔ ↕	Эпоксидна смола MGS LR 285, отвердживач LH 287
		2.	Углеродная однонаправленная биаксальная плотность 200г/м	↖ ↗	
		3.	Углеродная однонаправленная биаксальная плотность 200г/м	↖ ↗	
		4.	Углеродная однонаправленная биаксальная плотность 200г/м	↖ ↗	
		5.	Углеродная ткань plain 3К 200г/м ²	↔ ↕	
	4.	1.	Углеродная ткань plain 3К 200г/м ²	↔ ↕	Эпоксидна смола MGS LR 285, отвердживач LH 287
		2.	Углеродная однонаправленная биаксальная плотность 200г/м	↖ ↗	
		3.	Углеродная однонаправленная биаксальная плотность 200г/м	↖ ↗	
		4.	Углеродная однонаправленная биаксальная плотность 200г/м	↖ ↗	
		5.	Углеродная однонаправленная биаксальная плотность 200г/м	↖ ↗	
		6.	Углеродная ткань plain 3К 200г/м ²	↔ ↕	

Попереднє укладання розкрою тканого матеріалу по шарах для виготовлення зразків першої серії (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Попереднє укладання розкрою тканого матеріалу по шарах.

2. Шари тканини по черзі укладаються згідно з структурою зразків і просочуються за допомогою валика епоксидною смолою.

3. Формування вакуумного пакета включає в себе:

- укладання шару «жертвовної» тканини, необхідної для одержання рівної, без напливів поверхні зразків, та видалення надлишку епоксидної смоли.

- укладання шару захисної перфорованої плівки (рис 20), що запобігає надмірному виходу епоксидної смоли у вакуумпровідний шар (рис 21), який забезпечує рівномірне вакуумування зразків.

Після укладання всіх шарів, по периметру скла, на якому знаходяться заготовки зразків, укладається стрічка ізобутилового скотчу, вакуумпровід, вакуумна плівка (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Процес вакуумування зразків.

Пакет із зразками вакуумується протягом 5 годин, при $t = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Остаточна полімеризація проводилася в сушильній шафі 24 години, при $t = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рекомендовано виробником епоксидної смоли для отримання високих фізико-механічних властивостей).

3.2 Проведення механічних випробувань дослідних зразків

Визначення та дослідження фізико-механічних властивостей зразків полімерного композитного матеріалу необхідне для подальшого проектування деталі лонжерон БПЛА.

Методика дослідження властивостей композиту та його складових включала визначення міцності при розтягуванні згідно з ГОСТ 32656-2014, міцності при стисканні згідно ГОСТ 25.602-80.

Спосіб виготовлення зразків для всіх випробувань згідно з ГОСТ 26277-84 Пластмаси. Загальні вимоги щодо виготовлення зразків способом

механічної обробки. Загальний вид зразків для випробувань на етапі їхнього маркування (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – Вигляд зразків для випробувань на визначення межі міцності при розриві (на етапі маркування).

3.2.1 Випробування зразків на розтяг

Випробування на розтягування зразків були проведені згідно з ГОСТ 32656-2014. Випробування проводились на розривній машині Р-20 (рис. 3.4) у сертифікованій лабораторії кафедри опору матеріалів СумДУ.



Рисунок 3.4 – Машина Р20

Перед випробуваннями зразки пройшли кондиціювання при температурі $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ і вологості $(50 \pm 10)\%$ протягом 16 год.

Випробуванням піддавалися зразки у формі типу 1В згідно з ГОСТ 32656-2014, довжина зразка 200 мм, ширина $20 \pm 0,2$ мм.

Швидкість переміщення захватів – 5 мм/хв.

Результати випробувань зразків на розтягування наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Визначення межі міцності при розриві σ_p

№ зразка	b мм	h мм	Fmax, кН	Межа міцності при розриві σ_p , МПа (середнє для трьох зразків)
1.1	10	0,8	2,50	312,5
1.2	10	1.0	3,72	372,0
1.3	10	1.2	4,39	365,8
1.4	10	1.4	6,64	474,2

3.2.2 Випробування зразків на стиснення

Випробування на стиснення зразків було проведено згідно з ГОСТ 25.602-80. Випробування проводились на розривній машині Р-20 у сертифікованій лабораторії кафедри опору матеріалів СумДУ.

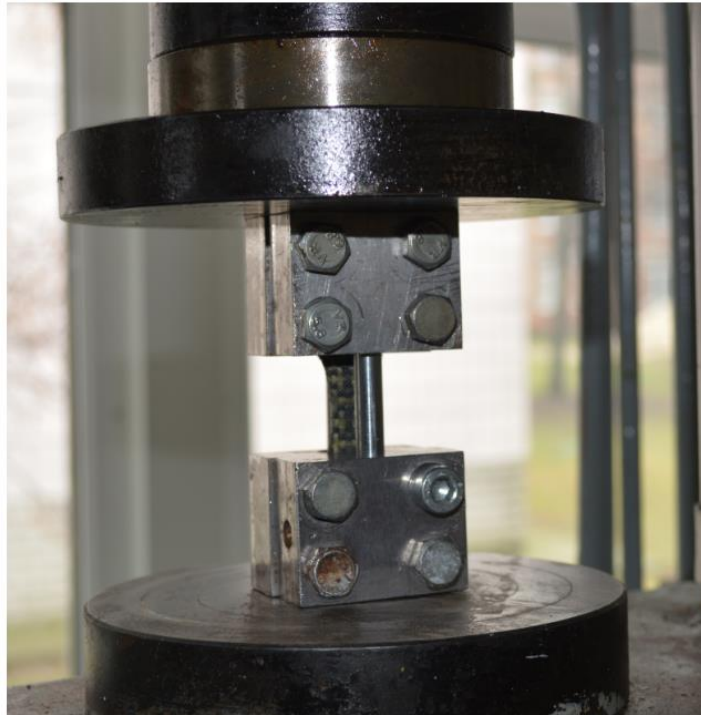


Рисунок 3.5 – Випробування зразків на стиснення

Перед випробуваннями зразки пройшли кондиціонування при температурі (23 ± 2) °С і вологості (50 ± 10) % протягом 16 год.

Випробуванням піддавалися зразки у формі двосторонньої лопатки згідно з ГОСТ 25.602-80, довжина зразка 100 мм, ширина $18\pm 0,5$ мм, ширина утоншення $15\pm 0,5$ мм.

При випробуванні було використане спеціальне пристосування, що запобігає крутінню зразка (рис. 3.5).

Швидкість переміщення захватів – 5мм/хв.

Результати випробувань зразків на стиснення наведено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Визначення межі міцності при стисканні σ_c

№ зразка	b мм	h мм	Fmax, кН	Межа міцності при стисканні σ_c , МПа (середнє для трьох зразків)
1.1	15	0,8	0,56	46,6
1.2	15	1,0	1,04	69,3
1.3	15	1,2	1,92	106,6
1.4	15	1,4	1,84	87,6

3.3 Визначення щільності зразків

Щільність отриманих образцов ρ (г / м³) визначали згідно ГОСТ 19440-74. Зважування проводили на аналітичних вагах ВЛА-200 точністю 0,0002 г. Щільність розраховували за формулою:

$$\rho = m/V \quad (3.1)$$

де m - маса образца (кг);

V - образца (м³).

Значення щільності зразків ламінату наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Значення щільності зразків ламінату

№	Довжина і ширина зразка,, м	Товщина зразка, м	Об`єм зразка V, м ³	Маса зразка m , кг	Щільність ρ , кг/м ³
1.	0,20×0,20	0,00080	0,0000118	0,013	913
2.	0,20×0,20	0,00010	0,0000139	0,016	935
3.	0,20×0,20	0,00012	0,0000195	0,018	1000
4.	0,20×0,20	0,00014	0,0000204	0,022	1078

3.4 Термічна обробка зразків

Термічна обробка вуглекомпозиту полягала у витримці зразків у сушильній шафі - стерилізатор (сухожар) ГП-20 УХЛ 4,2 50 Гц 220 В 1,5 кВт ТУ 64-1-3180-80 (рис. 3.6) протягом 12 годин при температурі 60°C.



Рисунок 3.5 – Стерилізатор (сухожар) ГП-20 УХЛ.

Термічна обробка зразків вуглепластика збільшує механічні властивості матеріалу за рахунок більш повної полімеризації епоксидної матриці.

Значення межі міцності при розриві термооброблених зразків вуглепластику наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5

Визначення межі міцності при розриві σ_p зразків вуглепластика після термообробки

№ зразка	b мм	h мм	Fmax, кН	Межа міцності при розриві σ_p , МПа (середнє для трьох зразків)
1.1	10	0,8	2,75	343,75
1.2	10	1.0	4,09	409,20
1.3	10	1.2	4,83	438,96
1.4	10	1.4	7,30	521,62

3.5 Макро аналіз зламу зразка вуглепластику

Макроаналіз зразків вуглепластика проводили за допомогою біологічного мікроскопа МБУ-4 при прямому освітленні зразка. Досліджували поверхню зразка без додаткового полірування. Збільшення 20 крат. Фотографія поверхні зразка ПКМ представлена на рис. 3.6.

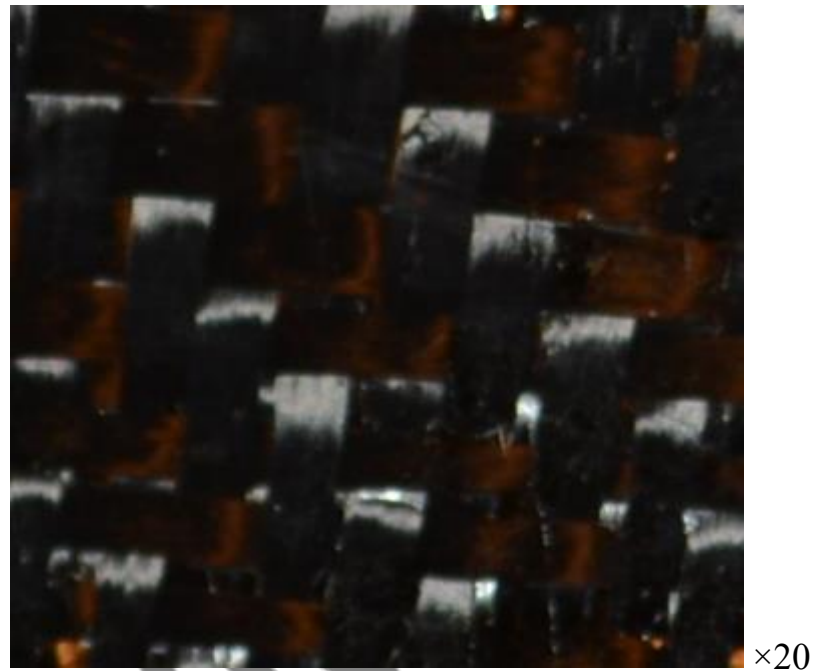


Рисунок 3.6 – Поверхня зразка ПКМ.

Макроаналіз зразків показав наявність пор (у вигляді виходу газових міхурів) на поверхні зразків. Наявність пор говорить про недостатній час вакуумування матеріалу зразків, неоптимальне значення руху в вакуумному мішку, або дуже швидко полімеризацію епоксидної смоли.

Висновки до розділу 3

Для проведення фізико-механічних випробувань були виготовлені зразки ПКМ матеріалу (вуглепластика) у вигляді пластин 200×200мм різної товщини. Товщина пластин змінювалася залежно від типу ПВ тканини, кількості шарів. Кожен шар отриманого зразка має певний напрямок волокон. Технологія отримання зразків - вакуумне формування.

Спосіб виготовлення зразків для всіх випробувань згідно з ГОСТ 26277-84 Пластмаси. Загальні вимоги щодо виготовлення зразків способом механічної обробки.

Проведені механічні випробування зразків ПКМ: з визначення міцності при розтягуванні згідно з ГОСТ 32656-2014, міцності при стисканні згідно ГОСТ 25.602-80.

Визначення щільності зразків ПКМ гідростатичним зважуванням згідно ГОСТ 15139-69.

Визначено: механічна міцність зразків ПВ ПКМ залежить від кількості шарів ПВ тканини у зразку, типу тканини, напрямку волокон у шарі. Максимальне значення межі міцності при розриві має зразок №1.4 (σ_r – 474,2МПа), при стисканні зразок №1.3 (σ_c – 106,6МПа).

Міцність зразків залежить від напрямку навантаження, що прилягає до зразків (матеріал зразків анізотропний) і збільшується зі збільшенням кількості шарів з напрямком волокон, що збігається з напрямком навантаження, що додається до зразка при механічних випробуваннях.

Щільність одержаних зразків зростає зі збільшенням кількості шарів, максимальне значення густини ρ -1078 кг/м³, зразок №4.

Термічна обробка зразків (12 год, 60°C) збільшує межу міцності зразків - 10% за рахунок більш повної полімеризації епоксидної матриці.

Макро аналіз зразків показав наявність пор (у вигляді виходу газових міхурів) на поверхні зразків. Наявність пор свідчить про недостатній час вакуумування матеріалу зразків, неоптимальне значення руху у вакуумному мішку, або дуже швидко полімеризацію епоксидної смоли.

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Загальні теоретичні відомості

У сучасному літакобудуванні триває постійна боротьба за зменшення ваги та підвищення паливної ефективності. Сьогодні це досягається не лише вибором силових схем, а й використанням нових матеріалів, до яких насамперед відносять композиційні (композити), у тому числі вуглепластик (карбон). Саме вони, завдяки високій питомій міцності (міцність на одиницю маси), а також можливості легко змінювати структуру та форму при відносній простоті комбінування з іншими матеріалами, заслужено стали предметом пильної уваги, вивчення та застосування.

Але базовою особливістю конструкції з вуглепластика є не просто факт його використання в ній, а дуже тісний союз цього матеріалу, технології що застосовується до нього та особливостей конструкції. Усі спроби недотримання цього принципу, згідно з практикою, закінчуються невдачею.

Для проведення розрахунків для економічної частини необхідно розкрити головні питання даної науково-дослідної роботи:

- актуальність проблеми – створення полімерних композитних ламінатів з заданими фізико-механічними властивостями є актуальним сучасним завданням при проектуванні і виробництві деталей кузова автомобілів, літакобудування, суднобудування, космонавтики, вітроенергетики і т.д.;
- мета дослідження – створення полімерного композитного матеріала – вуглепластика з заданими фізико-механічними властивостями для виготовлення лонжерону БПЛА;
- завдання дослідження – провести літературний аналіз матеріалів, що застосовуються для виготовлення деталі лонжерон БПЛА, та сучасних технологій отримання вуглепластика. Дослідити вплив зміни складу вуглепластика на фізико-механічні властивості деталі. Проаналізувати вплив

термічної обробки на властивості ламінату. На основі отриманих результатів зробити висновки та рекомендації;

- майбутнє застосування результатів НДР в народноу господарстві з виділенням ефекту у виробника, і у споживача має місце результати дослідження впливу зміни складу вуглепластика на його фізико-механічні властивості, що дозволяє розробляти і виробляти матеріали із заданими властивостями.

- тип НДР відповідно до класифікації відповідає пошуковим дослідженням. Пошукові – це дослідження, спрямовані на аналіз і розвиток фундаментальних досліджень для встановлення можливості і необхідності їх практичного застосування в певних областях техніки і технології. Результатом пошукових досліджень повинні бути рекомендації по створенню нових продуктів і нових технологічних процесів.

- взаємозв'язок даної НДР з попередніми роботами подібного спрямування – немає.

4.2 Методика розрахунку витрат

1. Склад витрат на проведення НДР.

Витрати на проведення дослідних і експериментальних робіт є підготовчими і складаються з наступних складових:

- витрати на постановку задачі дослідження (літературний огляд, вивчення патентів тощо);
- витрати на лабораторні дослідження;
- витрати на дослідне виробництво (проекування і спорудження дослідної установки), отримання і випробування дослідної партії продукту, вивчення відходів виробництва і техніко-економічна оцінка процесу;
- витрати на промислове проектування.

2. Матеріальні витрати.

Вартість витрачених в процесі дослідження основних і допоміжних матеріалів та реактивів розраховується, виходячи з їх фактичної витрати та цін за формулою:

$$V_m = V \cdot C, \text{ грн} \quad (4.1)$$

де, V – витрата даного виду матеріальних ресурсів, одиниць вимірювання;

C – ціна за одиницю вимірювання даного виду матеріальних ресурсів, грн.

Розрахунок представлений в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Вартість матеріалів

Найменування матеріалу	Одиниця вимірювання	Ціна, грн. За одиницю виміру	Фактична кількість	Сума, грн.
Вуглеволокно	м ²	2740,00	1	2 740,00
Епоксидна смола	кг	800,00	0,3	240,00
Разом				2 980,00

Вартість палива та електроенергії, витрачених в процесі дослідження, розраховується аналогічно витратам на матеріали. Витрати на електроенергію визначаються, виходячи з потужності обладнання, часу його роботи і ціни 1 кВт·год, за формулою:

$$V_e = M \cdot n \cdot T \cdot C, \text{ грн}, \quad (4.2)$$

де, M – потужність обладнання або електроприладу (за паспортом), кВт;

n – кількість застосованого обладнання, шт.;

T – час роботи обладнання, год.;

C – ціна 1 кВт·год електроенергії, грн.

Розрахунок представлений в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Вартість електроенергії

Найменування матеріалу	Потужність, кВт	Час роботи обладнання, год.	Ціна 1 кВт·год електроенергії, грн.	Сума, грн.
вакуумний насос	0,5	5	1,68	4,2
сушильна шафа	1	24	1,68	40,32
Разом				44,52

3. Оплата праці.

Витрати на заробітну плату складаються з заробітної плати виконавця, керівника, залучених осіб (лаборанта та терміста).

Витрати на заробітну плату виконавця (Зв) роботи визначаються множенням розміру місячної стипендії на число місяців, що були витрачені на виконання науково-дослідної практики та кваліфікаційної магістерської роботи.

Для керівника і консультантів, а також науково-технічного персоналу (інженери, лаборанти) – виходячи з посадових окладів з усіма надбавками і нормативів часу.

Заробітна плата керівника роботи (Зкер) визначена, виходячи зі ставок погодинної оплати праці науково-педагогічного персоналу за проведення навчальних занять і норми витрат його робочого часу на одну випускную роботу студента рівня підготовки «магістр» для денної форми навчання (12 год/чол.). Заробітна плата залучених осіб (терміста і лаборанта) визначається, виходячи з розміру мінімальної заробітної плати у погодинному вираженні і витрат їх робочого часу при проведенні досліджень.

Таблиця 4.3

Витрати на заробітну плату

Посада	Ставка погодинної оплати праці, грн.	Відпрацьований час, год.	Сума, грн.
Доцент	864,32	12	172,86
Разом			172,86

4. Інші витрати

Інші витрати визначаються в розмірі 25% від суми прямих витрат. До них відносяться загальноуніверситетські витрати на амортизацію і ремонт будівель та обладнання, опалення, освітлення, воду, витрати на утримання

навчальнодопоміжного та адміністративно-управлінського персоналу, закупівлю канцелярського приладдя тощо.

Витрати на спеціальне обладнання, придбане для даної НДР, послуги сторонніх організацій (проведення аналізів і випробувань, комп'ютерне моделювання тощо), витрати на відрядження враховуються на фактичному рівні.

Підсумковий кошторис витрат на НДР являє собою суму результатів розрахунків суми витрат по всіх статтях витрат за період її виконання та поданий у вигляді таблиці 4.4.

Таблиця 4.4

Кошторис витрат на науково-дослідницьку розробку

Найменування статті витрат	Сума, грн.	Частка даної статті у загальній сумі витрат, %
Вартість матеріалів	2 980,00	93
Вартість електроенергії	44,52	1,5
Витрати на заробітну плату	172,86	5,5
Разом	3 197,38	

Висновки до розділу 4

Підсумковий кошторис витрат на НДР складається з суми результатів розрахунків суми витрат по всіх статтях витрат за період її виконання і складає для виконаної нами роботи 3 197,38 грн.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ, НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

5.1 Основні правила техніки безпеки при роботі з епоксидними смолами

Матеріал епоксидна смола ЕД-20 не вибухонебезпечна, але горить при внесенні в джерело вогню. Летючі компоненти (толуол і епіхлоргідрин) містяться в смолі в кількостях, що визначаються виключно аналітичними методами, і відносяться до речовин 2-го класу небезпеки за ступенем впливу на організм людини. При роботі з епоксидними смолами повинні бути забезпечені спецодягом та індивідуальними засобами захисту. Всі операції при роботі з епоксидними смолами повинні проводитися в приміщеннях обладнаних припливно-витяжною вентиляцією [33].

Слід зазначити, що при безпосередньому контакті незатверділої смоли зі шкірою можливе виникнення дерматиту, в деяких випадках алергічного характеру.

Працівники при роботі з епоксидними смолами повинні дотримуватися затверджені вимоги санітарних правил організації технологічних процесів і гігієнічних вимог до виробничого обладнання та правил безпеки з виробництва пластичних мас.

Порядок відбору проб, промивка і обробка апаратури і тари, аналіз смол повинні проводитися відповідно до правил з безпечного ведення робіт, затвердженими в установленому порядку [30].

Важливо, щоб виробничі приміщення повинні бути оснащені припливно-витяжною вентиляцією, що забезпечує восьмикратний обмін повітря. Працюючі з епоксидними смолами повинні бути забезпечені спеціальним одягом та засобами індивідуального захисту, згідно ДСТУ 3042-2005 «Устаткування технологічне для переробки полімерних матеріалів».

Також, у робочих приміщеннях повинні бути умивальники з гарячою і холодною водою [30].

Під заборону миття рук розчинниками, так як це сприяє виникненню шкірних поразок. Бризки смол повинні бути негайно вилучені сухими марлевими тампонами. Потім уражене місце слід обробити етиловим спиртом, ретельно промити водою з милом, осушити паперовим рушником одноразового користування і змастити м'якою маззю насамперед, смоли не вибухонебезпечні, але горять при внесенні в джерело вогню. Температура спалаху більше 270°C.

Отже, засоби пожежогасіння – вуглекислотні і порошкові вогнегасники, вода, пар, інертний газ, азбестове полотно, пісок – повинні вибиратися відповідно до правил з безпечного ведення робіт, затвердженими в установленому порядку [32].

5.2 Правила забезпечення робітників засобами захисту

Отже, роботодавець зобов'язаний придбати за рахунок організації та за встановленими нормами безкоштовно видавати працівникам, зайнятості на роботах із шкідливими або небезпечна умови праці, в особливо температурних умовах и на роботах із забрудненням сертифіковані засоби індивідуального захисту, а також змиваючи та знешкоджують засоби. Він зобов'язаний також за свій рахунок забезпечити зберігання (у спеціальних гардеробних), прання, сушіння, дезінфекцію, дегазацію, дезактивацію та ремонт виданих [32].

Головне, що працівник зобов'язаний використовувати видані йому ЗІЗ і правильно застосовувати їх. У разі незабезпечення належної за нормами ЗІЗ роботодавець не має права вимагати від працівника виконання трудових обов'язків и зобов'язаний сплатити йому в разі виникнення з цієї причини застій в роботі у розмірі не менше двох третіх тарифної ставки або окладу [33].

Зазначимо, що деякі види ЗІЗ (респіратори, захисні окуляри, протигази тощо) видають не в одиницях на рік, а «до зносу», інші, звані «черговими», видають тільки на час виконання тих робіт, для яких вони передбачені. Вони

можуть бути також закріплені за певними робочими місцями (це, наприклад, кожухи – на зовнішніх постах, рукавиці діелектричні – при електроустановках тощо) [34].

Таким чином, відповідно до правил забезпечення працівників спецодягом, спецвзуттям та іншими ЗІЗ видавати працівникам ЗІЗ слід відповідно до їх зростанням і розмірами, а при видачі респіраторів, протигазів, саморятівників, запобіжних поясів, касок, накомарників та інших подібних ЗІЗ роботодавець зобов'язаний забезпечити інструктажі працівників щодо правил користування і найпростіших способів перевірки їх справності. Він зобов'язаний також у відповідні терміни проводити випробування даного типу ЗІЗ, повинен вживати заходів до того, щоб працівники дійсно користувалися виданими ЗІЗ і не допускати їх до роботи без них або в несправній, брудній, що не відремонтованої спецодязі і спецвзуття [31].

Слід пам'ятати, що видані працівникам ЗІЗ – власність підприємства, і вони підлягають поверненню при звільненні, переведенні на іншу роботу, де вони не передбачені. Виносити ЗІЗ за межі організації забороняється, крім випадків, де це зробити не надається можливим (наприклад, на лісозаготівлях, на ряді сільськогосподарських робіт). Тоді видані ЗІЗ залишаються у працівників. Такий порядок може бути обумовлений у колективному договорі або правилах внутрішнього трудового розпорядку.

Слід зазначити, що видачу працівникам і прийом від них ЗІЗ реєструють в особистій картці встановленого зразка.

Отже, норми безплатної видачі працівникам змиваючих і знешкоджуючих засобів встановлені на підприємствах. На роботах, пов'язаних із забрудненням, кожному працівникові покладається видавати по 400 г мила на місяць, по 100 мл захисного і по 100 мл відновлюючого крему для рук, а також по 200 мл всеочисній пасти для рук [35].

Наголошуємо, що роботодавець зобов'язаний купувати та видавати спецодяг та інші ЗІЗ тільки ті, що мають сертифікат відповідності. Треба зауважити, що цей порядок часто порушується. У 2005 р. в ході перевірок

держінспектори праці заборонили використання на підприємствах понад 44 тис. одиниць ЗІЗ, придбаних роботодавцями без сертифікатів відповідності і, отже, не повною мірою забезпечують захист працівників [33].

5.3 Заходи проти отруєння

Отже, кодексом законів про працю передбачається видача робітникам, робота яких пов'язана з небезпекою професійного отруєння, жирів, або нейтралізують коштів в якості протиотрути. В окремих, де проводиться робота з отруйними речовинами, забороняється приймати їжу і палити. Необхідно наявність аптечки першої допомоги. Робота в умовах забрудненого середовища проводиться у відповідних міських, респіраторних, окулярах [30].

Таким чином, у відділеннях, відведених для робіт із шкідливими виділеннями (відділення цементної, ціанування, окислення та ін.), Перед початком роботи обов'язково включення припливно-витяжної вентиляції. Перед прийняттям їжі слід ретельно вимити руки і вичистити зуби. Не можна допускати миття рук у воді гартівних баків [31].

5.4 Заходи проти вдихання пилу і шкідливих газів

Головною причиною забрудненості повітря в робочій зоні може стати пил, який виникає головним чином при обробці поверхні (виготовленні та поліруванні металографічних шліфів), а також транспортуванні подрібнених матеріалів та виготовленні робочих сумішей призначених для процесу насичення. Шкідливі речовини проникають до організму людини через дихальні шляхи і викликають переважно фіброгенну дію, що призводить до подразнення слизових оболонок дихальних шляхів і осідають в легенях, практично не попадаючи в коло кровообігу внаслідок поганого розщеплення в біологічних середовищах (крові, лімфи). В результаті тривалого впливу шкідливих речовин можуть виникати професійні захворювання [35].

Отже, з матеріалів, які використовуються в твердому стані, шкідливих речовин немає. Проте при обрізці та шліфуванні можливе утворення

металевого та наждачного пилю в результаті використання алмазних паст та при поліруванні, вміст якого становить 3 мг/м^3 .

Таким чином, щоб уникнути професійних отруєнь газами і пилом працюючий повинен добре знати і дотримуватися правил техніки безпеки: працювати при включеній припливно-витяжної вентиляції, а також за відсутності витoku газу в газопроводі, вентилях, змішувачах або просочуванні пилю з очисного пристрою і т.п. У місцях, що вимагають роботи в масках, користування останніми обов'язково. При роботі з абразивними кругами, що виділяють пил, необхідно стежити за справністю дії місцевого або загального вентиляційного пристрою [32].

Також, щоб уникнути зараження газом повітря в приміщенні слід прагнути до встановлення такого режиму горіння газу в печах, при якому не було б надлишку незгорілого газу.

5.5 Заходи проти пошкодження очей

На термічних ділянках пошкодження очей може відбуватися внаслідок опіків бризками розплавлених солей і металів, піском, абразивними частинками від абразивних кругів і металевими іскрами, пилом карбюратора та ін.

Головним надійним заходом попередження пошкоджень очей є носіння окулярів, що відповідають умовам роботи, а також виконання вимог норм техніки безпеки. Конструкція окулярів залежить від видів робіт, для яких вони призначені, наприклад: сітчасті – від часток і бризок металу, лускаті зі склом – від іскор і стружки і почасти від пилю, окуляри – лійки від пилю і бризок, окуляри типу лійки з гумовою оправою без отворів – при роботі з їдкими хімічними речовинами. У всіх випадках пошкодження очей треба звертатися до лікаря [33].

Живлення всього обладнання в лабораторії здійснюється від мережі з напругою 220В, окрім електропечі, яка живиться трифазною напругою 380В.

Також, обладнання, що використовується, відноситься до I та II класів електротехнічних виробів за способом захисту людини від враження електричним струмом [31]. Мікроскоп має підсилену ізоляцію і не має елементів для заземлення (II клас), піч для нанесення покриттів мають робочу ізоляцію і елемент для заземлення (I клас).

Процес охолодження рубашки реторти здійснюється за допомогою циркуляції проточною водою, яка підводиться до рубашки по гнучким резиновим шлангам. Строк служби цих шлангів теж необхідно суворо контролювати, оскільки під дією температури та часу в них може виникнути тіч, що в свою чергу може призвести до попадання води на струмонесучі частини установки і тим самим викликати появу короткого замикання [34].

Під час роботи з електрообладнанням може виникнути небезпека враження електричним струмом. З точки зору небезпеки ураження людини електричним струмом лабораторію, в якій здійснювалося виконання НДР, у відповідності з [32], можна віднести до приміщень без підвищеної небезпеки (I-го класу) оскільки в лабораторії відсутні такі чинники підвищеної або особливої небезпеки електротравм:

- температура в приміщенні, що впродовж доби перевищує 35°C ;
- струмопровідна підлога – металева, цегляна, бетонна, земляна тощо;
- струмопровідний вплив;
- можливість одночасного доторкання людини до неструмовидимих частин електроустановки і до металоконструкцій, що мають контакт із землею.

Отже, струм, який проходить через організм людини є сильним вражаючим фактором, викликає непереборне судомне скорочення м'язів людини, гострі болі в області серця, опіки. Безпека експлуатації роботи електроустаткування забезпечується наступними захисними заходами: періодичною перевіркою стану ізоляції, недоступністю струмоведучих частин, блокуванням безпеки і методами орієнтації [31].

5.6 Правила громадської безпеки

До основних правил громадської безпеки в термічних цехах слід віднести:

- пристрій огорожень печей і токопідводящих проводів;
- збереження приміщення в чистоті;
- зберігання робочих інструментів у спеціальних приладах – пірамідах;
- ізоляцію від загального приміщення термічного цеху таких процесів, як ціанування, травлення, піскоструминне очищення і т.п.;
- справність припливно-витяжної вентиляції;
- огорожа електродвигунів та іншого електрообладнання і його заземлення;
- установку ресивера, поза приміщенням цеху;
- огорожа місць, відведених для вивантаження та охолодження нагрітих виробів (наприклад: при нормалізації);
- справність транспортних шляхів, так само як і самих транспортних засобів;
- більш широке застосування механізації при транспортуванні виробів;
- обмеження входу в термічні цехи і особливо в спеціальні відділення для осіб, які не мають прямого відношення до роботи в цих відділеннях;
- вивішування плакатів безпеки, наприклад про високу напругу [32].

5.7 Надання першої допомоги при нещасних випадках

При наданні першої допомоги потерпілому від електричного струму необхідно ще до прибуття лікаря негайно звільнити потерпілого від дії електроструму і тут же почати штучне дихання, пам'ятаючи, що уражений електрострумом часто ще живий, незважаючи на відсутність серцебиття, дихання і пульсу. Штучне дихання виробляють безперервно протягом іноді 10-12 годину. Ні в якому разі не можна закопувати потерпілого в землю. Поруч із штучним диханням в якості міри першої допомоги розтирають тіло м'якою матерією в області грудей і живота. Якщо потерпілий не втратив створення,

його необхідно перенести в чисте провітрене приміщення, укласти в ліжку і викликати медичну допомогу. В цех повинні бути вивішені плакати та інструменти з надання першої допомоги [31].

Потерпілому від термічного опіку першого ступеня слід накладати содовий компрес, або присипати місце опіку очищеної содою, або застосувати спиртову примочку або примочку з 4% -го розчину марганцевокислого калію, застосовувати не слід.

При отруєнні окисом вуглецю винести потерпілого на свіже повітря і напоїти міцним чаєм, кафе і т.п. У разі припинення дихання виробляти штучне дихання [33].

5.8 Протипожежні заходи

Отже, протилежні заходи в термічних цехах зводяться в основному до профілактичних заходів:

- регулярної очищення трубопроводів від сажі, підтримування в справності газопроводів і газорегуляторів, підтримці в справності маслоохладітельной системи, особливо відведення циркулюючого гартувального масла, щоб уникнути його переливу через борти боки і розтікання по підлозі цеху [30];

- у цехах повинен знаходитися пожежний інструмент, пінні вогнегасники, кошма або листовий азбест для накриття гартувального бака з палаючим маслом, сухий пісок в разі пожежі в термічному цеху, особливо з утворенням вогнища загоряння, пов'язаного з надходженням (подачею) палива – нафти або газу, слід негайно перекрити кран біля печі і загальний кран на магістралі, не можна допускати установки баків з мазутом в приміщенні, де розташовані печі [35].

При загорянні мазуту ефективним для гасіння засобом виявляється пінний вогнегасник, пісок, розпорошена вода, застосування якої базується переважно на освіту водяної пари, при 30% якого в повітрі горіння не підтримується.

Проходи і проїзди в цеху повинні бути вільними, доступними для дій при гасінні вогнищ загоряння.

Дана лабораторія знаходиться в будівлі, що відноситься до першого ступеня пожежної безпеки. Лабораторія будована з вогнетривкого будівельного матеріалу згідно вимогам.

Отже, згідно ДСТУ 2272:2006 «Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять», за ступенем пожежної безпеки приміщення лабораторії відносяться до категорії В, оскільки в лабораторії знаходяться і використовуються горючі та важкогорючі рідини, тверді горючі та важкогорючі речовини та матеріали, але при цьому приміщення не належать до категорій А і Б. Клас по вибухонебезпеці відсутній [31].

Таким чином, виникнення пожежі в лабораторії може бути викликано коротким замиканням електропроводки або перевантаженням електропроводів. Пожежі, які можуть виникати в лабораторіях з пічним обладнанням, представляють велику небезпеку, так як температура технологічних процесів становить 1000°C і більше.

Важливо, що при таких температурах відбувається миттєве займання багатьох органічних матеріалів. В таких лабораторіях для гасіння пожеж використовуються вуглекислотні вогнегасники типу ОУ-2.

В кожній лабораторії для локалізації наслідків короткого замикання встановлені спеціальні вимикачі і плавкі запобіжники [33].

Отже, на випадок пожежі в лабораторії розроблений план евакуації. Приміщення обладнане пожежною сигналізацією автоматичної дії (теплові або димові повідомлювачі), а також встановлений ящик з піском.

Таким чином, основними заходами по пожежній безпеці є регулярна перевірка працездатності засобів гасіння пожежі і систем пожежної сигналізації; перевірка виправності електричної проводки; обережне відношення з легкоплавкими речовинами. Виконувати роботи необхідно лише на робочому місці.

5.9 Зберігання отруйних речовин

Важливо, щоб зберігання отруйних і легкозаймистих речовин на головному складі та в цехових приміщеннях проводилося за правила, встановленим відповідними інструкціями, так само як і їх відпуск і транспортування. Дотримання інструкцій є строго обов'язковим. Селітру дозволяється зберігати тільки в металевій тарі [35].

Таким чином, для зберігання кислот краща металева тара з кислототривкої футеровкою. Кислоти також не допускаються роботи, пов'язані з утворенням іскор. Ціанисті солі, упаковані в жерстяні або залізні банки або барабани, зберігаються на особливому складі, ізольованому від загального складу, з вентиляцією, що включається поза складу.

Важливо, на тарі повинен бути напис «ОТРУТА». До роботи з ціанистими солями допускаються спеціально виділені особи. У приміщеннях складів куріння суворо заборонено. Обов'язковим є бездоганна чистота і порядок, відсутність захаращеності, наявність вентиляції, проходів шириною не менше 1 м в складі та 5 м зовні.

За правилами горючі речовини зберігаються в забарвлених бочках з написами про вміст. Тара повинна бути ретельно промитої. Між рядами бочок слід залишати достатні проходи. Для зберігання масел відводяться окремі комори, зберігання в яких бензину, газу та інших горючих матеріалів забороняється [32].

5.10 Заходи з охорони навколишнього середовища

Отже, згідно ДСТУ 3831-98 «Охорона навколишнього природного середовища», найбільшу шкоду атмосферному повітрю можуть нанести пари металу в процесі плавки та металічний пил, який утворюється при шліфуванні зразків, пари ацетону і плавикової кислоти при знежирюванні та травленні зразків. В нашому випадку приготування металографічних шліфів та наступне їх знежирення та травлення відбувалося декілька разів, процес був короткочасним та відбувався в іншій лабораторії [31].

Таким чином, для запобігання надходження шкідливих речовин в атмосферу система вентиляції всієї будівлі, до складу якої входить ця та інші лабораторії, комплектується пиловловлювачем та абсорбером.

Тому всі стічні води спускаються в міську каналізаційну систему. Зливання в каналізаційну мережу відпрацьованих розчинів хімічних речовин допускається лише після їх нейтралізації та очищення [33].

Отже, на дільницях шліфування, полірування та при застосуванні мокрих засобів обробки пилових матеріалів, стічні води повинні надходити до системи загальної каналізації через відстійники.

Висновки до розділу 5

Однією з найважливіших складових частин загальної системи управління виробництвом є система управління охороною праці є. Її головним завданням є створення безпечних і здорових умов праці.

Таким чином, проаналізовано потенційні небезпеки і шкідливі фактори на виробництві. Представлені вимоги до технологічних процесів, виробничих приміщень та технологічних матеріалів застосовуваних для утворення багатокomпонентних функціональних матеріалів.

Отже, описано вимоги до розміщення виробничого обладнання, зберігання і транспортування вихідних матеріалів, оброблюваних виробів і відходів виробництва.

Наведені вимоги, що висуваються до кваліфікаційної освіченості персоналу і до застосування засобів захисту працюючих.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У першому розділі нами було проведено літературний огляд у якому були розглянуті питання: пристрої конструкції крила літака БПЛА; навантаження, що діють на деталі крила у процесі польоту, використання сучасних матеріалів виготовлення деталей крила; технологій, що застосовуються для виготовлення деталей крила з ПКМ; аналіз фізико-механічних властивостей сучасних матеріалів, що застосовуються в авіабудуванні.

Зроблено висновок: ланжерон крила є відповідальною деталлю БПЛА, яка в процесі експлуатації переносить високі навантаження; найбільш раціонально використовувати як матеріал для виготовлення ланжерону - ПКМ вуглепластик; для виготовлення зразків ПКМ вуглепластика буде використано технологію вакуумного формування.

Розглянуто методику випробувань заготовок з ПКМ, які застосовувалися при проведенні експериментів: механічні випробування зразків вуглепластика, визначення щільності зразків вуглепластика, макро- та мікроаналіз ПКМ.

Наведено дані, склад, фізико-механічні властивості матеріалів і технології їх отримання.

Для проведення фізико-механічних випробувань були виготовлені зразки ПКМ матеріалу (вуглепластика) у вигляді пластин 200×200мм різної товщини. Товщина пластин змінювалася залежно від типу ПВ тканини, кількості шарів. Кожен шар отриманого зразка має певний напрямок волокон. Технологія отримання зразків - вакуумне формування.

Спосіб виготовлення зразків для всіх випробувань згідно з ГОСТ 26277-84 Пластмаси. Загальні вимоги щодо виготовлення зразків способом механічної обробки.

Проведені механічні випробування зразків ПКМ: з визначення міцності при розтягуванні згідно з ГОСТ 32656-2014, міцності при стисканні згідно ГОСТ 25.602-80.

Визначення щільності зразків ПКМ гідростатичним зважуванням згідно ГОСТ 15139-69.

Щільність одержаних зразків зростає зі збільшенням кількості шарів, максимальне значення густини ρ -1078 кг/м³, зразок №4.

Визначено: механічна міцність зразків ПВ ПКМ залежить від кількості шарів ПВ тканини у зразку, типу тканини, напрямку волокон у шарі. Максимальне значення межі міцності при розриві має зразок №1.4 (σ_r – 474,2МПа), при стисканні зразок №1.3 (σ_c – 106,6МПа).

Міцність зразків залежить від напрямку нагрзуки, що прилягає до зразків (матеріал зразків анізотропен) і збільшується зі збільшенням кількості шарів з напрямком волокон, що збігається з напрямком навантаження, що додається до зразка при механічних випробуваннях.

Термічна обробка зразків (12 год, 60°С) збільшує межу міцності зразків - 10% за рахунок більш повної полімеризації епоксидної матриці.

Макроаналіз зразків показав наявність пор (у вигляді виходу газових міхурів) на поверхні зразків. Наявність пор свідчить про недостатній час вакуумування матеріалу зразків, неоптимальне значення руху у вакуумному мішку, або дуже швидко полімеризацію епоксидної смоли.

Підсумковий кошторис витрат на НДР являє собою суму результатів розрахунків суми витрат по всіх статтях витрат за період її виконня и составляет для выполненной нами работы 3197,38грн.

Проаналізовано потенційні небезпеки і шкідливі фактори на виробництві. Представлені вимоги до технологічних процесів, виробничих приміщень та технологічних матеріалів застосовуваних для утворення багатокомпонентних функціональних матеріалів.

Описано вимоги до розміщення виробничого обладнання, зберігання і транспортування вихідних матеріалів, оброблюваних виробів і відходів виробництва. Наведені вимоги, що висуваються до кваліфікаційної освіченості персоналу і до застосування засобів захисту працюючих.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гришин, В.И. Прочность и устойчивость элементов и соединений авиационных конструкций из композитов. / В.И. Гришин, А.С. Дзюба, Ю.И. Дударьков // М.: АНО «Физмалит», 2013. 272 с.
2. Брусенцева, Т.А. Композиционные материалы на основе эпоксидной смолы и наночастиц / Т.А. Брусенцева, А.А. Филиппов, В.М. Фомин // Известия Алтайского государственного университета. 2014. №1(81). С. 25-27.
3. Фитцер, Э. Углеродные волокна и углекомпозиты: Пер. с англ. / Под ред. А.А. Берлина. // – М.: Мир, 1988. –366 с.
4. Бохоева, Л.А. Испытание на прочность кольцевых образцов из слоистых композиционных материалов с межслойными дефектами / Л.А. Бохоева, А.С. Чермошнцева // Вестник Бурятского государственного университета. 2011. №9. С. 230-236.
5. Белова, Н.А. Композитные материалы на основе углеродных волокон / Н.А. Белова // Молодой ученый. – 2015. – №24.1. – С. 5-7. – URL
6. Сенюшкин, Н. С. Применение композиционных материалов в конструкции БПЛА / Н. С. Сенюшкин, Р. Р. Ямалиев, Л. Р. Ялчибаева. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2011. — № 4 (27). — Т. 1. — С. 59-61. — URL: <https://moluch.ru/archive/27/2963/> (дата обращения: 28.11.2021).
7. Дьячков, П.Н. Углеродные нанотрубки: строение, свойства, применения / П.Н. Дьячков // – М. : Бином, 2006. – 293 с. – Библиогр. : с. 290-293. – ISBN 978-594-774-341-8.
8. Радушкевич, Л.В. Про структуру вуглецю, що утворюється при термічному розкладанні окису вуглецю на залозі / Л.В. Радушкевич, В.М. Лукьянович // Журнал физической химии. – 1952. – Т. 26. – С. 86-88.
9. Iijima, S. Helical microtubules of grafitic carbon [Text] / S. Iijima // Nature. – 1991. – Vol. 354. – No. 6348. – P. 56-58.
10. Kiang, C.H. Size Effects in Carbon Nanotubes [Text] / C. H. Kiang, M. Endo, P. M. Ajayan etc. // Physical Review Letters. – 1998. – Vol. 81, No. 9. – Pp. 1869-1872.

11. Золотухин, И.В. Новые направления физического материаловедения / И.В. Золотухин, Ю.Е. Калинин, О.В. Стогней // – Воронеж : Изд-во Воронежского гос. ун-та, 2000. – 360 с.
12. Merkel, T. Effect of nanoparticles on gas sorption and transport in poly (1-trimethyl-silyl-1-propyne) / T. Merkel, H. Zhenjie, I. Pinau, D. Freeman, P. Meakin, A. Hill // *Macromolecules*. – 2003. – Vol. 36, N 18. – P. 6844 – 6855.
13. Nguyen, C.V. Carbon nanotube scanning probe for profiling of deep-ultraviolet and 193 nm photoresist patterns / C.V. Nguyen et al. // *Applied Physics Letters*. – 2002. – Vol. 81. – P. 901.
14. Wong, S.S. Carbon nanotube tips: high-resolution probes for imaging biological systems / S.S. Wong et al. // *Journal of the American Chemical Society*. – 1998. – Vol. 120. – P. 603.
15. Yudasaka, M. Mechanism of the effect of NiCo, Ni and Co catalysts on the yield of single-wall carbon nanotubes formed by pulsed Nd:YAG laser ablation / M. Yudasaka et al. // *Journal of Physical Chemistry*. – 1999. – Vol. 103. – P. 6224 – 6229.
15. Haiyan, Li , Zhisheng Zhang , Xiaofei Ma. (2007) Synthesis and characterization of epoxy resin modified with nano-SiO₂ and γ -glycidoxypropyltrimethoxy silane. *ScienceDirect.*, 201, pp. 5269-5272.
16. Maser, W.K. Production of high-density single-walled nanotube material by a simple laser-ablation method / W.K. Maser et al. // *Chemical Physics Letters*. – 1998. – Vol. 292. – P. 587 – 593.
17. Hassan Mahfuz. (2008) Reinforcement of nylon 6 with functionalized silica nanoparticles for enhanced tensile strength and modulus. *Nanotechnology*, IOP Publishing Ltd, No19, pp 1-7.
18. Мищенко, С.В. Исследование корреляции диэлектрической и калориметрической степени отверждения углепластиков / С.В. Мищенко, О.С. Дмитриев, А.О. Дмитриев // *Вестник Тамбовского государственного технического университета*. – 2004. – Т. 10, № 1Б. – С. 195 – 200.

19. S.-Y. Fu, X.-Q. Feng, B. Lauke, Y.-W. Mai. Effects of particle size, particle/matrix interface adhesion and particle loading on mechanical properties of particulate–polymer composites. *Composites: Part B* 39. (2008). P. 933–961.

20. Грищенко, С.В. Разработка макромодели слоистого композита для анализа напряженно-деформированного состояния нерегулярных зон типовых конструкций планера самолета // Труды МАИ. 2013. №65. URL:

21. Хмелев, В.Н. и др. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности // Бийск. 2010.

22. Новицкий, Б. Г . Применение акустических колебаний в химико-технологических процессах // Химия, 1983. – 192 с.

23. Хмелев, В.Н. и др. Метод расчета оптимальных интенсивностей ультразвукового кавитационного воздействия на вязкие и высокодисперсные жидкие среды // XII международная конференция – семинар молодых специалистов по микро- и нанотехнологиям и электронным устройствам EDM'. 2011.

24. Негров, Д.А. Влияние ультразвуковых колебаний на структуру полимерного композиционного материала / Д.А. Негров, Е.Н. Еремин // Омский научный вестник. – 2010. – № 2 (90). – С. 12–15.

25. Брандон, Д. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля / Д. Брандон, У. Каплан // – М. : Техносфера, 2004. – 384 с.

26. Марихин, В.А. Надмолекулярная структура полимеров / В.А. Марихин, Л.П. Мясников. – Л. : Химия, 1977. – 240 с.

27. Dekkers MEJ, Heikens D. The effect of interfacial adhesion on the tensile behavior of polystyrene–glass-bead composites. // *J Appl. Polym. Sci.*1983;28: P. 3809–3915.

28. Rhein, L.D. Surfactants in personal care products and decorative cosmetics // E.3. 2006: Publisher CRC Press. P. 480.

29. Гальчинський, А.С. та інші Основи економічних знань: Навчальний посібник. // – К.: Вища школа, 1999. – 544 с.

30. ГОСТ 5159-2011. Санитарные правила при производстве эпоксидных смол и материалов на их основе.

31. ДСН 3.3.6.042-2013. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

32. ГОСТ12.1.030-2012. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. – Дата введения с 01.07.2012.

33. ДСТУ 2272:2006 «Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять».

34. ДСТУ 3042-2005 «Устаткування технологічне для переробки полімерних матеріалів».

35. ДСТУ 3831-98 «Охорона навколишнього природного середовища».