

Савінок О.М., к.т.н., доцент, Кобзар Т.А., н.с., Марінічева К.В., м.н.с.

## АНАЛІЗ СУЧАСНИХ РОЗРОБОК ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ ІЗ ЗАДАНИМИ ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

*Науково-дослідний центр Збройних Сил України “Державний океанаріум”,  
науково-дослідна лабораторія проблем гідробіоніки та службового використання  
морських тварин, м. Одеса*

**Ключові слова:** полікомполімерні матеріали, склопластики, вуглепластики, армуючий матеріал

**Постановка проблеми.** Активний розвиток хімічної промисловості, інформаційні технології дозволили отримати нові синтетичні матеріали із запроєктованими характеристиками. До таких матеріалів відносяться полікомполімери. Унікальні властивості композитів забезпечили їх широке застосування у всіх напрямках діяльності людини, починаючи від космосу, закінчуючи земними та підводним глибинами. До основних переваг КМ перед іншими – можуть бути віднесені: мала питома вага при відносно високій міцності, висока корозійна стійкість. Окрім корозійної стійкості, композитні матеріали дозволили знизити магнітну, радарну та інфрачервону сигнатури, покращити тепло- та звукоізоляційні характеристики, що забезпечило їх використання при будівництві та модернізації підводних апаратів та човнів.

Враховуючи ряд переваг полікомполімерів, над традиційними матеріалами, які широко використовуються в різних галузях промисловості, метою статті був аналіз сучасних розробок полімерних матеріалів із заданими техніко-технологічними характеристиками.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Композиційні матеріали – це дво- чи полікомполімерні системи, які представляють матрицю із суцільного матеріалу і армуючих елементів. Сукупні властивості залежать, як правило, від матеріалу, форми та розмірів армуючих елементів, чим тонші волокна чи частинки, тим вищі механічні властивості. Матриці можуть виконуватись із металів, їх сплавів, органічних чи неорганічних полімерів, керамічних, вуглецевих матеріалів. Експлуатаційні характеристики – щільність, питома щільність, робоча температура, опір утомлюючого руйнування, стійкість до агресивних середовищ визначаються технологією процесу отримання композиту. Армуючі елементи, функція яких полягає в ущільненні композиту, виробляють із високоміцної сталі, молібдену, вольфраму, волокон бору, вуглецю, скла, монокристалів із оксидів, нітридів алюмінію та кремнію чи інших матеріалів. Однак найбільш широко представлені полімерно-композиційні матеріали (далі – ПКМ). В якості наповнювача в ПКМ використовуються різні полімерні речовини, які відкривають широкі можливості для їх застосування в різних галузях, як цивільного призначення, наприклад, в стоматології, так і військового призначення, наприклад, при виробництві бойової техніки і систем озброєнь. [1]. В композитах, які використовуються при проектуванні озброєнь, армуючі елементи забезпечують задані механічні характеристики матеріалу в цілому: міцність, щільність, жорсткість та ін. Матриця виконує функцію моноліту та захищає конструкцію від механічних пошкоджень та навколишнього середовища [2,4]

Перевага будь-якого композиційного матеріалу полягає в тому, що йому можна надати необхідні конструктивні властивості. Надійність роботи конструкції залежить в першу чергу, від запасу міцності конструкційного матеріалу, а також від такої характеристики, як в'язкість руйнування, тобто здатність матеріалу перешкоджати поширенню тріщини [5].

Найбільш розповсюдженими у військовій техніці є композити з полімерною матрицею. В якості армуючих волокнистих наповнювачів використовуються скловолокно, вуглеволокно, арамідне волокно (кевлар), базальтове волокно, полімерне волокно, натуральне волокно (наприклад, бавовник, вовна) та інші види [6,7]. Композити з волокнистим наповнювачем, за механізмом армуючої дії, та в залежності від відношення довжини волокна до його діаметру ділять – на дискретні, якщо  $l/d \approx 10 \div 10^3$ ; та з безперервним волокном, для яких  $l/d = \infty$  [8]. Дискретні наповнювачі в композитах розміщуються хаотично, їх діаметр варіюється для скляних волокон від 13–16 мкм зв'язані полімером, для базальтових волокон – від 10–16 мкм. Довжина волокна 10–16 мм. Армуючі волокна із оксиду алюмінію, оксиду берилію, карбідів бору та кремнію, нітридів алюмінію і кремнію та інших металів використовують діаметром 1...30 мкм, довжиною 0,3...15 мм. При цьому міцність матеріалу залежить від геометричних характеристик волокон, чим більше відношення довжини до діаметру, тим він міцніший [9,10].

За структурою, композити діляться на декілька класів: волокнисті, шаруваті, дисперсноущільнені, ущільнені та нанокомпозити. За структурою армування композити можуть бути однорідними в макрооб'ємі, чи багат шаруватими. Експлуатаційні характеристики композитних матеріалів залежать від ряду факторів: частки армуючих елементів в системі; адгезійно-когезійних сил зв'язку між матеріалами, які поєднуються; орієнтації волокон в матеріалі, їх просторової конфігурації; технології їх поєднання.

За типом арматури та її орієнтації, композити ділять на дві основні групи: ізотропні та анізотропні. Ізотропні характеризуються однаковими властивостями по всьому об'єму, наприклад, матеріали з порошковими наповнювачами. Характеристики анізотропних матеріалів залежать від напрямку просторового розміщення армуючого матеріалу в композиті. Анізотропні матеріали діляться на однонаправлені, шаруваті, трьохмірнонаправлені. Останні, як правило, полікомпонентні. За способом отримання металеві композити ділять на літійні і деформовані, полімерні та резинові – літійні та пресовані. За призначенням, композиційні матеріали класифікують на загальноконструкційні, термостійкі, пористі, фрикційні та антифрикційні [11].

Найбільш поширеними композитними матеріалами, які знайшли місце у військовій техніці – є склопластики, рідше використовують вуглепластики на основі параарміда (кевлара). Склопластики і вуглепластики – це полімерні композити, в яких найчастіше застосовують в якості компаунда, як термореактивні синтетичні смоли, так і термопластичні полімери (поліаміди, поліетилен, полістирол). В якості армуючого наповнювача для склопластиків використовують скляні волокна, для вуглепластиків – вуглецеві волокна.

В якості полімерних матеріалів застосовують такі, як УГЕТ, склотекстоліти Каста-В, Стефен, склопластик марки Стетем (Стетем-1 і Стетем-2) та інші матеріали. Застосування знаходять також склопластики на основі поліефірних смол холодного затвердіння марок ПН-1, ПН-1С, ПН-3 і МА-3. Як армуючі матеріали використовують склопластикові наповнювачі наступних марок: Т1, Т2, АСТТ(6)-С1, АСТТ(6)-С2, АСТТ(6)-С8, АСТТ(6)-С9 і ін. Для захисного обклеювання маломірних суден найбільш вживаними марками склотканин є ССТЕ-6 або ССТЕ-9 [12].

Смола, як пластична основа, володіє невисокими міцностними характеристиками, але вона здатна приймати будь-яку форму. З'єднання пластичної основи і тканини, або окремих волокон, сприяє створенню КМ, який має задані міцнісні характеристики. Типовими прикладами такого поєднання може бути внесення до пластичних основ різних наночастинок. Затверділі епоксидні смоли забезпечують надійний захист сталі від впливу зовнішніх чинників завдяки їх сумісній адгезії, відсутності утворення побічних продуктів або летких речовин і низької усадки під час реакцій затвердіння [13]. Однак у затверділих епоксидних смол є ряд недоліків, одним із яких є можливість появи тріщин в матеріалі. Цей недолік значно обмежує їх експлуатаційні характеристики. Вдосконалити властивості епоксидної смоли дозволяють добавки у вигляді наночастинок. В. Qi, Q.X. Zhang, M. Bannister та ін. [14] в якості нанонаповнювача для епоксидної смоли дигліцидилового ефіру бісфенолу А використовували наноглину. Нанокompозити були виготовлені методом полімеризації *in situ* за допомогою механічного зсуву. Автори зазначили, що додавання наноглини значно збільшило модуль пружності і в'язкість руйнування епоксидної смоли, знизило межу міцності композиту при руйнуванні і саму деформацію руйнування.

Kim, B. S., Park, S. W. [15], для збільшення в'язкості руйнування епоксидного клею використовували в якості добавок не тільки наноглину, а і наночастинок вуглецевої сажі. В'язкість руйнування вимірювалась на зразках різних геометричних конфігурацій в режимі температур від плюс 25 °С до мінус 150 °С. Автори з'ясували, що використання в якості армуючих наночастинок сажі і глини, покращує в'язкість руйнування при кімнатній температурі, але знижує цей показник при криогенній температурі, незважаючи на прояв ущільнюючого ефекту.

Використання малих концентрацій (0,1 %) наночастинок оксиду заліза [16] дозволило суттєво підвищити механічні властивості профільних конструкцій, забезпечити додаткову твердість нанокompозитів через добре диспергування оксиду заліза в епоксидних композитах та їх хімічну взаємодію між складовими. Окрім того, додавання наночастинок оксиду заліза до епоксидного покриття забезпечує його захисні характеристики шляхом самовідновлення. Науковці встановили [16], що епоксидні нанокompозитні покриття досягли більш високої корозійної стійкості до солі або морського середовища, ніж інші аналогічні полімери без наночастинок оксиду заліза.

Техніко-технологічні властивості композитних матеріалів сприяли розробці нових технологій конструювання. Наприклад [17], композитний корпус судна – це система поверхонь, що утворюють об'ємно-міцну конструкцію. З'єднання корпусу і палуби в єдине ціле, розташування в контурі поздовжніх і поперечних перегородок, сприяє тому, що конструкція набуває заданих характеристик. При цьому, кожна з поверхонь корпусу і палуби має власний набір механічних властивостей. Ці властивості можуть змінюватися, як за товщею поверхні, так і за її площею.

Використання ПКМ дозволяє моделювати величину тиску втрати несучої здатності (міцності або стійкості) корпусу, навантаженого зовнішнім рівномірним тиском, більшим у порівнянні з його металевим аналогом. На величину втрати несучої здатності (монолітності) композитного корпусу впливають його геометрія, армуючий матеріал – нитка, стрічка або тканина, спосіб його укладання (в разі армуючого тканинного матеріалу – його розкрій), просторова спрямованість наповнювача – схема армування, технологія виробництва оболонкової конструкції та ін.[18, 19].

Як приклад, властивості органопластиків можуть змінюватися в широких межах, залежно від складу, структури і технології отримання матеріалів – міцність при розтягуванні  $a_B$  від 300 до 3000 МПа, модуль пружності  $E$  від 13 до 100 ГПа [20–21]. За пи-

томою міцністю при розтягуванні (200 км) органопластики займають провідне місце серед конструкційних матеріалів. Завдяки зниженій щільності, низькій димоутворюючій здатності, високим естетичним якостям, органопластики використовують при обшивці салонів літаків, суден, автомобілів та в інших галузях народного господарства. Органопластики використовуються при виготовленні захисних екранів в корпусах вентиляторів турбореактивних двигунів, оскільки можуть витримувати механічний удар, який може мати місце при зіткненні літака із птахом.

Матеріалами нового покоління є металоорганопластики-алори, які складаються з шарів, що чергуються, алюмінієвого сплаву і органопластика, який знижує навантаженість металу і збільшує довговічність матеріалу в цілому. У порівнянні з традиційними матеріалами, вони мають високу стійкість до утворення тріщин, що дозволяє виготовляти з них конструкції на повітряному, водному та автомобільному транспорті. Застосування алора замість традиційних алюмінієвих сплавів забезпечує зниження маси конструкції на 10–20 % при використанні тканинного арамідного наповнювача і в 2 рази – односпрямованого. Завдяки високим демпфуючим характеристикам, алор використовується в конструкціях, що піддаються високочастотним коливанням, це дозволяє збільшити ресурс їх роботи в кілька разів. Він технологічний, добре піддається всім видам механічної обробки, пластичній деформації [20,21].

Вуглепластики – композити на основі високоміцних вуглецевих волокон, і є найбільш перспективними композиційними матеріалами. Вони володіють високими міцністю і жорсткістю, термостійкістю до 570 °К, низьким температурним коефіцієнтом лінійного розширення, стійкістю до агресивних середовищ. Як армуючі елементи, в них застосовуються безперервні волокна у вигляді ниток, джгутів, тканин або нетканних матеріалів. Матриці виготовляють з епоксидних, поліамідних, поліефірних або інших смол. Вуглепластики використовуються в конструкціях сучасних літаків, наприклад таких, як «Руслан», космічних кораблів багаторазового використання «Буран», що доводить їх високу технічну ефективність і експлуатаційну надійність. Вуглепластики КМУ-ЛР, КМУ-ЛТК і КМУ-Т працюють в інтервалі температур від мінус 60 до плюс 100 °С, в тому числі в агресивних середовищах, мають високі фізико-механічні характеристики [22].

Окрім основних конструкційних матеріалів використовують і зв'язуючі полімери. Для зв'язування ПКМ в підводному суднобудівництві використовують реактопласти-поліефірні (наприклад, ПК КК5) чи епоксидні смоли. В якості зв'язуючих матеріалів, для виготовлення модулів із ПКМ глибинних апаратів, J.J. Kelly та іншими авторами були апробовані термопласти – поліефірефіркетон та поліфеніленсульфід [23], які підтвердили можливість їх використання в цьому напрямку.

Типовим прикладом впровадження інноваційних розробок в кораблебудуванні може бути корвет ВМС Швеції “Visby”. При проектуванні та будівництві цих корветів була впроваджена технологія “стелс”, яку забезпечили полікомполімерні матеріали та особливості конструкції. Використання трьохшарового композиційного матеріалу при будівництві корпусу, дозволило знизити сигнатуру корвету в магнітному, інфрачервоному та акустичному діапазонах (дальність радіолокаційного виявлення зменшується вдвічі), зменшити масу, покращити маневреність. Композитний матеріал корпусу виконано із вуглеволокна – в якості армуючого матеріалу та вінілефіру – зв'язуючого. Поєднання цих полімерів забезпечило часткове поглинання радіохвиль і зниження рівня помітності вторинного радіолокаційного поля, зменшення сумарної маси конструкції. Корпус корвету конструкційно – моноблок з надбудовою в центральній частині [24].

Особливі технології виготовлення конструкцій із композитних матеріалів дозволяють надавати кораблям, катерам різних форм. Використовуючи технологію формування конструкцій із ПКМ, німецької компанії Howaldtswerke-Deutsche Werft GmbH (HDW), суднобудівна компанія CMN Group спустила на воду патрульний тримаран Ocean Eagle 43, корпус якого також виконано із ПКМ [25].

Широке використання склопластику, особливо при створенні елементів надбудов підводних човнів і обтічників висувних пристроїв, має багато переваг. Корозійна стійкість склопластикових конструкцій значно вище, ніж у сталевих. Вони не вимагають захисту від корозії, що істотно знижує вартість життєвого циклу перспективних ПЧ. Наприклад, за даними компанії HDW, вартість технічного обслуговування конструкцій зі склопластику в 6-10 разів нижче вартості обслуговування таких же конструкцій зі сталі. Композитні конструкції також мають більший термін служби (понад 40 років). Маса склопластикових конструкцій помітно менше, ніж сталевих, що позитивно впливає на збільшення маси корисного навантаження корабля. Склопластик не створює магнітного поля, що позитивно впливає на прихованість підводних човнів за магнітним полем. Склопластикові конструкції мають великий коефіцієнт внутрішніх втрат і менше підлягають активізації під впливом набігаючого потоку (склопластик менше випромінює енергії в низькочастотному діапазоні). Багатошарові склопластикові конструкції при відповідному підборі наповнювача можуть ефективно поглинати випромінювання гідролокатором, що, в принципі, дозволяє відмовитися від нанесення протилокаційного покриття на надбудову і на обтічник. КМ дозволяють порівняно легко і технологічно створювати конструкції з плавними обводами, що покращує обтікання і сприяє, як зниженню шумності, так і зниженню опору руху.

Застосовуються ПКМ в підводних човнах різного класу і призначення – наприклад, в проектах типу «Огайо», «Вірджинія», «Лос-Анджелес» та інших. Обсяги застосування ПКМ в даній сфері є незначними. Передбачається, що подальший розвиток і виробництво підводних човнів вже нового п'ятого покоління буде пов'язано з використанням композитних матеріалів [26], що дозволить знижувати шумову помітність човнів, зниження відображення гідролокаційних сигналів від корпусу човна, розповсюдження вібрації від працюючих механізмів та ін. В галузі суднобудування спостерігається повільний, але вірний перехід від відкритого формування (контактне, напилення) конструкцій з композиційних матеріалів до закритих, таким як RTM. VaRTM (RTM з вакуумною підтримкою), RTM-Light, вакуумного інфузійного формування та ін. Light RTM – різновид методу RTM з використанням зниженого тиску подачі зв'язуючого середовища і додатковим використанням вакууму. Зниження тиску подачі полімеру, дозволяє знизити вимоги до жорсткості оснащення і її вартість. Вакуум сприяє більш ефективному просоченню армуючої основи, видаленню летких речовин і повітря. Перераховані закриті процеси мають ряд переваг в питаннях зниження пористості в композитах, швидкості затвердіння (виготовлення) композитів, розміру і складності конструкційного композиту [27].

Поширення набули склопластики при проектуванні складових підводних човнів. Із КМ, окрім елементів надбудов та обтічників акустичних антен, виготовляють керма, стабілізатори, гребні гвинти, фрагменти ліній валів, ракетні шахти, обтічники підйомно-щоглових пристроїв, ємності для зберігання стисненого повітря, конструкції окремих корабельних бойових і технічних засобів та ін. [28].

Композити використовує і РФ, корвети проектів 20380, 20385, 22350 побудовані із композитних матеріалів. Полімерна надбудова виконана із багатошарових композиційних склопластиків і конструкційних матеріалів на основі вуглецевого волокна, за-

безпечує малу радіолокаційну та оптичну помітність (та ж сама технологія “стелс”). Окрім надбудов із ПКМ в цих корветах виконані віброізольовані муфти, які забезпечують з’єднання редукторних передач із системою валопроводу турбін, радіопрозорі панелі на баштово-щогловій конструкції [29].

Іншим прикладом бойового корабля, корпус якого повністю виконаний із ПКМ (монолітного склопластика) – є тральщик “Олександр Обухов” з водотонажністю 890 тон, прийнятий до ВМФ РФ в 2016 році. Застосування ПКМ матеріалів для даного проекту, дозволило підвищити міцність корпусу, швидкість пересування на 10–20 % без будь-якої модернізації двигунів, збільшити масу корисного вантажу у вигляді додаткових одиниць бойової техніки та комплектів для систем озброєння. Для корветів проектів 20380, 20385 розроблені радіопоглинаючі ПКМ [30].

**Висновки.** Полікомполімерні матеріали знайшли широке застосування в різних галузях народного господарства, в тому числі і в військовій. Отримати ПКМ із заданими техніко-технологічними характеристиками можна за рахунок поєднання різних полімерних матриць і армуючих їх елементів. Розміри армуючих елементів визначають напрям використання композиту – для формування корпусу корвету чи для нанесення в якості захисних покриттів на сталеві поверхні, які контактують з агресивними середовищами, в тому числі, з морською водою. Впровадження інноваційних технологій формування виробів із композитних матеріалів дозволило спростити виробничий процес та отримувати габаритні монолітні конструкції. Значна частка переваг при використанні ПКМ сприяла їх впровадженню в галузі кораблебудування, зокрема, при будівництві та модернізації підводних човнів, кораблів, катерів. Сподіваємось, що при будівництві українського корвету проекту 58250 “Володимир великий”, який планують ввести в дію в 2023 році, в повній мірі будуть використані інноваційні матеріали, в тому числі, і полікомполімерні.

#### Література

1. Композитные материалы: что это такое, свойства, производство и применение. URL: <https://fb.ru/article/264869/kompozitnyie-materialyi-chto-etotakoe-svoystva-proizvodstvo-i-primenenie> (дата звернення 22.01.2020)
2. Левченко А.В., Мороков А.А., Шаповалов К.П. Применение композитных материалов в производстве. Электронное научное издание «Ученые заметки ТОГУ» 2017, Том 8, № 3, С. 237-239 URL: [http://pnu.edu.ru/media/ejournal/articles-2017/TGU\\_8\\_235.pdf](http://pnu.edu.ru/media/ejournal/articles-2017/TGU_8_235.pdf).
3. Баженов С.Л. Берлин А.А., Кульков А.А., Ошмян В.Г. Полимерные композиционные материалы. Прочность и технологии. Москва: Интеллект, 2009. 352 с.
4. Справочник по композиционным материалам / под ред. Дж. Любина; пер. с англ. под ред. А.Б. Геллера, М.М. Гельмонта, Б.Э. Геллера. Москва: Машиностроение, 1988. 448 с.
5. Кочуров Д.В. Высокопрочные полимерные композиционные материалы. Международный студенческий научный вестник. 2018. № 5.; URL: <http://eduherald.ru/ru/article/view?id=19200>.
6. Петроченков Р.Г. Композиты на минеральных заполнителях: в 2 т. Москва: Изд-во МГГУ, 2005. Т. 2. 351 с.
7. Вержбовский Г.Б. Прогнозирование характеристик композитных материалов на основе свойств составляющих их частей. Научное обозрение. 2014. № 7. С. 909–913.

8. Никитин В.С., Половинкин В.Н. Применение композитных материалов в зарубежном подводном кораблестроении URL: <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=7479> (дата звернення 15.05.2019).
9. Шитова И.Ю. Самошина Е.Н., Кислицына С.Н., Болтышев С.А. Современные композиционные строительные материалы: учеб. пособие. Пенза: ПГУАС, 2015. 136 с.
10. Глухих В.Н. Петров В.М., Сойту Н.Ю. Определение постоянных упругости с учетом анизотропии свойств композиционных материалов, используемых для намотки ответственных оболочек и стержневых конструкций в судостроении и портовой инфраструктуре. Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2016. № 2 (36). С. 137–142. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-2-137-142.
11. Ашкенази Е.К. Ганов Э.В. Анизотропия конструкционных материалов: справочник. Ленинград: Машиностроение. 1980. 247 с.
12. Нелюб В.А. Применение полимерных композиционных материалов в судостроении для ремонта корабельных надстроек. Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана. URL: <file:///I:/БИБЛИОТЕКА ОПЗ Применение полимерных композиционных материалов в судостроении для ремонта корабельных надстроек.pdf>. (дата звернення 11.08.2020).
13. Kuznetsov Yu.I. New possibilities of metal corrosion inhibition by organic heterocyclic compounds International journal of corrosion and scale inhibition Int. J. Corros. Scale Inhib. 2012, 1, No.1, P. 3–15 <http://dx.doi.org/10.17675/2305-6894-2012-1-1-003-015>.
14. Qi B, Zhang QX, Bannister M, Mai YW Investigation of the mechanical properties of DGEBA-based epoxy resin with nanoclay additives. Composite Structures. 75(1–4). 2006. P. 514–519. doi:10.1016/.
15. Kim, B. C., Park, S. W., & Lee, D. G. (2008). Fracture toughness of the nanoparticle reinforced epoxy composite. Composite Structures. 86(1-3), P. 69–77. <https://doi.org/10.1016/j.>
16. Ayman M. Atta, El-Saeed Ashraf M., Al-Shafey H. I. and El-Mahdy Gamal A. Self-healing Passivation of Antimicrobial Iron oxide Nanoparticles for Epoxy Nanocomposite Coatings on Carbon Steel. Int. J. Electrochem. Sci., 2016. No.11. P. 5735–5752 doi: 10.20964/2016.07.82.
17. Францев М.Э. Проектная оценка эксплуатационных нагрузок и характеристик долговечности корпусов судов из композиционных материалов. Морской вестник. 2008. № 4(28). С. 93–98.
18. Белецкий Е.Н. Специфика расчета элементов валопроводов, выполненных из композиционных материалов, с учетом направления армирования и физико-механических характеристик модификаторов матрицы. Вестник Гос-го ун-та морского и речного флота им. Адм. С.О. Макарова, 2018. Выпуск 8 (40). С. 113–120. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-6-113-120 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/spetsifika-rascheta-elementov-valoprovodov-vypolnennyh-iz-kompozitsionnyh-materialov-s-uchetom-napravleniya-armirovaniya-i-fiziko>.
19. Белецкий Е.Н. Петров В.М., Безпальчук С.Н. Учет физико-механических характеристик композиционных углепластиков, влияющих на процессы разрушения при реализации технологического процесса механической обработки и экстремальных условий эксплуатации. Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. 2014. № 2 (24). С. 66–73. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/uchet-fiziko-mehnicheskikh-harakteristik-kompozitsionnyh-ugleplastikov-vliyayuschih-na-protsessy-razrusheniya-pri-realizatsii>.

20. В.А. Рогов, М.И. Шкарупа, А.К. Велис Классификация композиционных материалов и их роль в современном машиностроении. Вестник РУДН, серия Инженерные исследования. 2012. № 2. С.41–49.

21. Белецкий Е. Н. Различные уровни моделирования сложных конструкций судовых энергетических установок, отдельные элементы которых выполнены из композиционных полимерных материалов. Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2016. № 1 (35). С. 138–144. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-1-138-144. URL: [https://cyberleninka.ru/article /n/razlichnye-urovni-modelirovaniya-slozhnyh-konstruktsiy-sudovyh-energeticheskikh-ustanovok-otdelnye-elementy-kotoryh-vypolnenny-iz/viewer](https://cyberleninka.ru/article/n/razlichnye-urovni-modelirovaniya-slozhnyh-konstruktsiy-sudovyh-energeticheskikh-ustanovok-otdelnye-elementy-kotoryh-vypolnenny-iz/viewer).

22. В.А. Рогов, М.И. Шкарупа, А.К. Велис Классификация композиционных материалов и их роль в современном машиностроении. Вестник РУДН, серия Инженерные исследования. 2012. № 2. С.41–49.

23. Kelly J. J., Leon G. F., Hall J. C., Woodall C. Reliable Design and Fabrication of Composite High Performance Marine Structures. Proceedings of the Tenth International Conference on Composite Materials: Microstructure, degradation, and design. – Canada: Whistler B. C. 1995.

24. Корветы типа Visby URL: [https://wiki.wargaming.net/ru/Navy: Корветы\\_типа\\_Visby](https://wiki.wargaming.net/ru/Navy:Корветы_типа_Visby) (дата звертання 23.09.2020).

25. Ocean Eagle 43 URL: <https://cmn-group.com/products-and-services/military-vessels/tsm/ocean-eagle-43/> (дата звертання 23.09.2020).

26. Ларин С.Н., Ноакк Н.В., Соколов Н.А. Конкурентные преимущества российского оборонно-промышленного комплекса и их реализация в стратегиях импортозамещения. Economy and Business Journal of Economy and Business, vol. 7 С. 97–103 DOI:10.24411/2411-0450-2019-11084 URL: <https://cyberleninka.ru /article/n/konkurentnye-preimuschestva-rossiyskogo-oboronno-promyshlennogo-kompleksa-i-ih-realizatsiya-v-strategiyah-importozamesheniya>.

27. Мишкин С.И., Дориомедов М.С., Кучеровский А.И. Полимерные композиционные материалы в судостроении. Новости материаловедения. Наука и техника. № 1 (25). 2017. С. 60–70. URL: <https://readera.org/polimernye-kompozicionnye-materialy-v-sudostroenii-14340689> (дата звертання 30.09.2020).

28. Кравцов В.И. Оценка эффективности полимерных композиционных материалов для оконечностей корпусов подводной техники. Збірник наукових праць НУК. сер. Кораблебудування, 2013, №4. С. 18–26.

29. Корветы\_проекта\_20380 URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki> (дата звертання 30.09.2020).

30. Зазимко В. Применение композитных материалов как драйвер-отраслей ОПК. Новый оборонный заказ: стратегии. 2017. № 2 (44). URL: [https:// dfnc.ru/yandeks-novosti/primenenie-kompozitnyh-materialov-kak-drajver-otraslej-opk/](https://dfnc.ru/yandeks-novosti/primenenie-kompozitnyh-materialov-kak-drajver-otraslej-opk/).

#### Bibliography (transliterated)

1. Kompozitnye materialy: chto eto takoe, svoystva, proizvodstvo i primeneniye. URL: <https://fb.ru/article/264869/ kompozitnyie-materialyi-chno-etotakoe-svoystva-proizvodstvo-i-primeneniye> (data zvernennya 22.01.2020)

2. Levchenko A.V., Morokov A.A., SHapovalov K.P. Primeneniye kompozitnyh materialov v proizvodstve. Elektronnoye nauchnoye izdaniye «Uchenye zametki TOGU» 2017, Tom 8, № 3, P. 237–239 URL: [http://pnu.edu.ru/media/ejournal/articles-2017/TGU\\_8\\_235.pdf](http://pnu.edu.ru/media/ejournal/articles-2017/TGU_8_235.pdf).

3. Bazhenov S.L., Berlin A.A., Kul'kov A.A., Oshmyan V.G. Polimernye kompozitsionnye materialy. Prochnost' i tekhnologii. Moskva: Intellekt, 2009. 352 p.
4. Spravochnik po kompozitsionnym materialam / pod red. Dzh. Lyubina; per. s angl. pod red. A.B. Gellera, M.M. Gel'monta, B.E. Gellera. Moskva: Mashinostroenie, 1988. 448 p.
5. Kochurov D.V. Vysokoprochnye polimernye kompozitsionnye materialy. Mezhdunarodnyj studencheskij nauchnyj vestnik. 2018. № 5.; URL: <http://eduherald.ru/ru/article/view?id=19200>.
6. Petrochenkov R.G. Kompozity na mineral'nyh zapolnitelyah: v 2 t. Moskva: Izd-vo MGGU, 2005. T. 2. 351 p.
7. Verzhbovskij G.B. Prognozirovanie harakteristik kompozitnyh materialov na osnove svoystv sostavlyayushchih ih chastej. Nauchnoe obozrenie. 2014. № 7. P. 909–913.
8. Nikitin V.S., Polovinkin V.N. Primenenie kompozitnyh materialov v zarubezhnom podvodnom korablestroenii URL: <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=7479> (data zvernennya 15.05.2019).
9. Shitova I.Y., Samoshina E.N., Kislicyna S.N., Boltyshev S.A. Sovremennye kompozitsionnye stroitel'nye materialy: ucheb. posobie. Penza: PGUAS, 2015. 136 p.
10. Gluhih V.N., Petrov V.M., Sojtu N.Y. Opredelenie postoyannyh uprugosti s uchetom anizotropii svoystv kompozitsionnyh materialov, ispol'zuemyh dlya namotki otvetstvennyh oboloček i sterzhnevyyh konstrukcij v sudostroenii i portovoj infrastrukture. Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova. 2016. № 2 (36). P. 137–142. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-2-137-142.
11. Ashkenazi E.K., Ganov E.V. Anizotropiya konstrukcionnyh materialov: spravochnik. Leningrad: Mashinostroenie. 1980. 247 p.
12. Nelyub V.A. Primenenie polimernyyh kompozitsionnyh materialov v sudostroenii dlya remonta korabel'nyh nadstroek. Moskva: MGTU im. N.E. Bauman. URL: <file:///I:/BIBLIOTEKA OPZ Primenenie polimernyyh kompozitsionnyh materialov v sudostroenii dlya remonta korabel'nyh nadstroek.pdf>. (data zvernennya 11.08.2020).
13. Kuznetsov Yu.I. New possibilities of metal corrosion inhibition by organic heterocyclic compounds International journal of corrosion and scale inhibition Int. J. Corros. Scale Inhib. 2012, 1, No.1, R. 3–15 <http://dx.doi.org/10.17675/2305-6894-2012-1-1-003-015>.
14. Qi B, Zhang QX, Bannister M, Mai YW Investigation of the mechanical properties of DGEBA-based epoxy resin with nanoclay additives. Composite Structures. 75(1–4). 2006. R. 514–519. doi:10.1016/.
15. Kim, B. C., Park, S. W., & Lee, D. G. (2008). Fracture toughness of the nanoparticle reinforced epoxy composite. Composite Structures. 86(1-3), P. 69–77. <https://doi.org/10.1016/j>.
16. Ayman M. Atta, El-Saeed Ashraf M., Al-Shafey H. I. and El-Mahdy Gamal A. Self-healing Passivation of Antimicrobial Iron oxide Nanoparticles for Epoxy Nanocomposite Coatings on Carbon Steel. Int. J. Electrochem. Sci., 2016. No.11. P. 5735–5752 doi: 10.20964/2016.07.82.
17. Francev M.E. Proektnaya ocenka ekspluatatsionnyh nagruzok i harakteristik dolgovechnosti korpusov sudov iz kompozitsionnyh materialov. Morskoj vestnik. 2008. № 4(28). P. 93–98.
18. Beleckij E.N. Specifika rascheta elementov valoprovodov, vypolnennyh iz kompozitsionnyh materialov, s uchetom napravleniya armirovaniya i fiziko-mekhanicheskikh harakteristik modifikatorov matricy. Vestnik Gos-go un-ta morskogo i rechnogo flota im. Adm. S.O. Makarova, 2018. Vypusk 8 (40). P. 113–120. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-6-113-120 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/spetsifika-rascheta-elementov>

valoprovodov-vypolnennyh-iz-kompozitsionnyh-materialov-s-uchetom-napravleniya-armirovaniya-i-fiziko.

19. Beleckij E.N. Petrov V.M., Bezpал'chuk S.N. Uchet fiziko-mekhanicheskikh harakteristik kompozicionnyh ugleplastikov, vliyayushchih na processy razrusheniya pri realizacii tekhnologicheskogo processa mekhanicheskoy obrabotki i ekstremal'nyh uslovij ekspluatatsii. Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova. 2014. № 2 (24). P. 66–73. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/uchet-fiziko-mekhanicheskikh-harakteristik-kompozitsionnyh-ugleplastikov-vliyayushchih-na-protsessy-razrusheniya-pri-realizatsii>.

20. V.A. Rogov, M.I. SHkarupa, A.K. Velis Klassifikaciya kompozicionnyh materialov i ih rol' v sovremennom mashinostroenii. Vestnik RUDN, seriya Inzhenernye issledovaniya. 2012. № 2. P.41–49.

21. Beleckij E.N. Razlichnye urovni modelirovaniya slozhnyh konstrukcij su-dovyh energeticheskikh ustanovok, otdel'nye elementy kotoryh vypolneny iz kompozicionnyh polimernykh materialov. Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova. 2016. № 1 (35). P. 138–144. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-1-138-144. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razlichnye-urovni-modelirovaniya-slozhnyh-konstruktsiy-sudovyh-energeticheskikh-ustanovok-otdelnye-elementy-kotoryh-vypolnenny-iz/viewer>.

22. V.A. Rogov, M.I. SHkarupa, A.K. Velis Klassifikaciya kompozicionnyh materialov i ih rol' v sovremennom mashinostroenii. Vestnik RUDN, seriya Inzhenernye issledovaniya. 2012. № 2. P. 41–49.

23. Kelly J. J., Leon G. F., Hall J. C., Woodall C. Reliable Design and Fabrication of Composite High Performance Marine Structures. Proceedings of the Tenth International Conference on Composite Materials: Microstructure, degradation, and design. – Canada: Whistler B. C. 1995.

24. Korvety tipa Visby URL: [https://wiki.wargaming.net/ru/Navy:Korvety\\_tipa\\_Visby](https://wiki.wargaming.net/ru/Navy:Korvety_tipa_Visby) (data zvertannya 23.09.2020).

25. Ocean Eagle 43 URL: <https://cmn-group.com/products-and-services/military-vessels/tsm/ocean-eagle-43/> (data zvertannya 23.09.2020).

26. Larin S.N., Noakk N.V., Sokolov N.A. Konkurentnye preimushchestva rossijskogo oboronno-promyshlennogo kompleksa i ih realizaciya v strategiyah importozamesheniya. Economy and Business Journal of Economy and Business, vol. 7 P. 97–103 DOI:10.24411/2411-0450-2019-11084 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/konkurentnye-preimushchestva-rossijskogo-oboronno-promyshlennogo-kompleksa-i-ih-realizatsiya-v-strategiyah-importozamesheniya>.

27. Mishkin S.I., Doriomedov M.S., Kucherovskij A.I. Polimernye kompozicionnye materialy v sudostroenii. Novosti materialovedeniya. Nauka i tekhnika. № 1 (25). 2017. P. 60–70. URL: <https://readera.org/polimernye-kompozicionnye-materialy-v-sudostroenii-14340689> (data zvertannya 30.09.2020).

28. Kravcov V.I. Ocenka effektivnosti polimernykh kompozicionnykh materialov dlya okonechnostej korpusov podvodnoj tekhniki. Zbirnik naukovih prac' NUK. ser. Korablebuduvannya, 2013, №4. P. 18–26.

29. Korvety\_proekta\_20380 URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki> (data zvertannya 30.09.2020).

30. Zazimko V. Primenenie kompozitnykh materialov kak drajver-otraslej OPK. Novyj oboronnyj zakaz: strategii. 2017. № 2 (44). URL: <https://dfnc.ru/yandeks-novosti/primenenie-kompozitnykh-materialov-kak-drajver-otraslej-opk/>.

УДК 519.85

Савінок О.М., Кобзар Т.А., Марінічева К.В.

**АНАЛІЗ СУЧАСНИХ РОЗРОБОК ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ ІЗ ЗАДАНИМИ ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

В статті розглянуті характеристики розповсюджених композитних матеріалів. Промислового використання набули: вуглепластики – композити на основі високоміцних вуглецевих волокон, металоорганопластики – алори, термопласти – полієфірефіркетон та поліфеніленсульфід, склотекстоліти. За структурою, композити діляться на декілька класів: волокнисті, шаруваті, дисперсноущільнені, ущільнені та нанокompозити. Основною перевагою будь-якого композиційного матеріалу є те, що йому можна надати задані техніко-технологічні характеристики. За рахунок зміни складу, структури, розмірів армуючих елементів та технології отримання матеріалів, властивості композитів можуть змінюватися в широких межах, від м'яких, пластичних, до твердих, крихких. Міцність матеріалу залежить від геометричних характеристик волокон, чим більше відношення довжини до діаметру, тим він міцніший. Саме розміри армуючих елементів визначають напрям використання композиту, вони впливають на реологічні та структурно-механічні властивості матеріалу. Запроєктовані властивості визначають надійність роботи конструкції, що важливо при використанні цих матеріалів в розробці військової, аерокосмічної техніки, озброєнь.

Впровадження інноваційних технологій формування виробів із композитних матеріалів дозволило спростити виробничий процес та отримувати габаритні монолітні конструкції. Це сприяло їх впровадженню в галузі кораблебудування, зокрема, при будівництві та модернізації підводних човнів, кораблів, катерів. Із композитних матеріалів, окрім елементів надбудов та обтічників акустичних антен, виготовляють керма, стабілізатори, гребні гвинти, фрагменти ліній валів, ракетні шахти, обтічники підйомно-щоглових пристроїв, ємності для зберігання стисненого повітря, конструкції окремих корабельних бойових і технічних засобів та ін.

**Ключові слова:** полікомпозитні матеріали, склопластики, вуглепластики, армуючий матеріал

Савінок О.Н., Кобзарь Т.А., Мариничева Е.В.

**АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ РАЗРАБОТОК ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЗАДАНЫМИ ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

В статье рассмотрены характеристики распространенных композитных материалов. Промышленное использование получили: углепластики – композиты на основе высокопрочных углеродных волокон, металлоорганопластики – алор, термопласты – полиэфирэфиркетон и полифениленсульфид, склотекстолиты. По структуре, композиты делятся на несколько классов: волокнистые, слоистые, дисперсноуплотненные, уплотненные и нанокompозиты. Основным преимуществом любого композитного материала является то, что ему можно придать заданные технико-технологические характеристики. За счет изменения состава, структуры, размеров армирующих элементов и технологии получения материалов, свойства композитов могут изменяться в широких пределах, от мягких, пластичных, до твердых, хрупких. Прочность материала зависит

от геометрических характеристик волокон, чем больше отношение длины к диаметру, тем он прочнее. Именно размеры армирующих элементов определяют направление использования композита, они влияют на реологические и структурно-механические свойства материала. Запроектированные свойства определяют надежность работы конструкции, что немаловажно при использовании этих материалов в разработке военной, аэрокосмической техники, вооружений.

Использование инновационных технологий формования изделий из композитных материалов позволило упростить производственный процесс и получать габаритные монолитные конструкции. Это способствовало их внедрению в области кораблестроения, в частности, при строительстве и модернизации подводных лодок, кораблей, катеров. Из композитных материалов, кроме элементов надстроек и обтекателей акустических антенн, изготавливают рули, стабилизаторы, гребные винты, фрагменты линий валов, ракетные шахты, обтекатели подъемно-мачтовых устройств, емкости для хранения сжатого воздуха, конструкции отдельных корабельных боевых и технических средств и др.

**Ключевые слова:** поликомпозитные материалы, стеклопластики, углепластики, армирующий материал.

Savinok O., Kobzar T., Marinicheva K.

### ANALYSIS OF MODERN DEVELOPMENTS OF POLYMERIC MATERIALS WITH THE SPECIFIC TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS

The article considers the characteristics of common composite materials. The following have been used for industrial use: carbon plastics – composites based on high-strength carbon fibers, organometallic plastics – allora, thermoplastics – polyester ether ketone and polyphenylene sulfide, fiberglass. By structure, composites are divided into several classes: fibrous, layered, dispersed, compacted and nanocomposites. The main advantage of any composite material is that it can be given the specific technical and technological characteristics. Due to changes in the composition, structure, size of reinforcing elements and technology of materials, the properties of composites can vary widely, from soft, plastic to hard, brittle. The strength of the material depends on the geometric characteristics of the fibers, the greater the ratio of length to diameter, the stronger it is. It is the size of the reinforcing elements that determines the direction of use of the composite, they affect the rheological and structural and mechanical properties of the material. The designed properties determine the reliability of the structure, which is important when using these materials in the development of military, aerospace equipment, weapons.

The introduction of innovative technologies for the formation of products from composite materials has simplified the production process and obtained dimensional monolithic structures. This contributed to their introduction in the field of shipbuilding, in particular, in the construction and modernization of submarines, ships and boats. Composite materials, in addition to elements of superstructures and fairings of acoustic antennae, are used to make rudders, stabilizers, propellers, fragments of shaft lines, rocket shafts, fairings for lifting mast devices, compressed air storage tanks, constructions of separate ship warfare and technical means, etc.

**Keywords:** polycomposite materials, fiberglass, carbon plastics, reinforcing material.