

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 691:699.841:621.763

В. Б. ІГНАТЬЄВА^{1*}, М. І. ГУДЬ²

^{1*} Кафедра будівельної механіки, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, вул. Руська, 56, корпус 2, Тернопіль, Україна, 46001, тел. +38 (099) 729 87 10, ел. пошта vikto-igna@ukr.net, ORCID 0000-0002-9688-4992

² Кафедра будівельної механіки, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, вул. Руська, 56, корпус 2, Тернопіль, Україна, 46001, ел. пошта mishagud77@tntu.edu.ua, ORCID 0000-0001-8793-3193

ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ПРОФІЛЬНИХ ВИРОБІВ З КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ У БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЯХ, РОЗТАШОВАНИХ В СЕЙСМІЧНИХ РАЙОНАХ

Мета. Метою статті є виявлення в ході аналізу особливостей роботи профільних виробів з композиційних матеріалів у будівельних конструкціях розташованих в сейсмічних районах. **Методика.** Наведено структуру армованих волокнами композиційних матеріалів та пояснено роль кожного з компонентів. Зазначено, що останнім часом, у будівництві, для виготовлення основних і додаткових конструкцій застосовуються композиційні матеріали не тільки на основі епоксидних смол, зміцнених скловолокном, але й на основі вуглецевих, органічних та інших видів волокнистих наповнювачів. Висвітлено доцільність застосування виробів з композиційних матеріалів у будівництві. **Результати.** Проведено аналіз літературних джерел, присвячених роботі виробів з композиційних матеріалів простого та складного поперечного перерізу у будівельних конструкціях під впливом простих (розтяг, стиск, кручення) і складних видів навантаження. Показано розподіл напруг, які діють у поперечних перерізах складнопрофільних стержневих елементів з композиційних матеріалів при прикладанні згинального навантаження. Виявлені особливості роботи профільних виробів з композиційних матеріалів у будівельних конструкціях. Визначено причини зниження несучої здатності складнопрофільних виробів з композиційних матеріалів. Наведено існуючі методи підвищення механічних характеристик виробів з композиційних матеріалів. Сформульовано негативні наслідки і недоліки застосування існуючих методів підвищення механічних характеристик виробів з композиційних матеріалів. **Наукова новизна.** На підставі проведеного аналізу зроблено висновки про необхідність доопрацювання існуючих методів підвищення механічних характеристик виробів з композиційних матеріалів. **Практична значимість.** В ході аналізу виявлено особливості роботи профільних виробів з композиційних матеріалів у будівельних конструкціях, які є основою для розробки нових способів підвищення механічних характеристик виробів з композиційних матеріалів у будівельних конструкціях й удосконалення вже існуючих.

Ключові слова: композиційні матеріали; профільні вироби; міцність; жорсткість; будівельні конструкції; особливості; сейсмічні райони

Вступ

Обмеженість механічних характеристик традиційних конструкційних матеріалів, які широко використовуються в будівництві, вичерпання енергетичних ресурсів, поступове виснаження найбагатших і найдоступніших родовищ корисних копалин – фактори, які вплинули на те, що однією з перспективних тенденцій сучасності є заміна традиційних конструкційних матеріалів на композиційні матеріали в деталях різного призначення, як несучих, так і не несучих (Roland, Matson, Thoman, & Wong, 1997). Унікальний набір позитивних якостей композиційних матеріалів, таких як висока пи-

тома міцність, висока жорсткість, стійкість до корозії, здатність добре працювати в умовах дії вібраційних та ударних навантажень дозволяє широко використовувати їх у різних галузях народного господарства, у тому числі у будівництві (Фрегер, Аптекар, Ігнат'єв, Чесноков, Мелікбекян, & Коструб, 2004).

Однак, до застосовуваних у будівництві композиційних матеріалів, крім традиційних вимог щодо міцності, жорсткості, низької вартості та технологічності, пред'являються і специфічні вимоги, що стосуються високої теплоізолюючої здатності, вогнестійкості, довговічності та життєдіяльності. Також, до будівель-

них конструкцій висувають підвищені вимоги щодо зносу. Виходячи з вищевикладеного та враховуючи, що досконалість конструкцій, в умовах підвищеної сейсмічності, значною мірою визначається параметрами міцності та жорсткості матеріалів з яких вони виготовляються, вдосконалення цих параметрів є актуальним завданням.

Питання збільшення міцності та жорсткості композиційних матеріалів розглянуто у роботах Чеснокова та Бакст (2008), Слівінського, Карпівкової, Вербицької та Гайдачук (2009), Sena-Crus (2015), Баннікова, Радкевича та Нікіфорової (2019), Смердова та Яшука (2020), Грібанова, Гуріна, Гуйди, Буколова та Колосенко (2020), Чеснокова, Тимофеева та Старцева (2020), Геценцвея та Баннікова (2020), Баннікова, Купрія та Вотченко (2021). У той же час існує проблема, яка полягає у тому, що відомі способи підвищення міцності та жорсткості композиційних матеріалів не дозволяють отримувати конструкції, які в повній мірі задовольняють вимогам будівництва у сейсмічно неблагодолучних районах.

Мета

Метою статті є виявлення в ході аналізу особливостей роботи профільних виробів з композиційних матеріалів у будівельних конструкціях розташованих в сейсмічних районах.

Методика

Найчастіше композиційні матеріали являють собою двокомпонентні гетерофазні системи, утворені об'ємним поєднанням хімічно різнорідних компонентів з чіткою межею поділу між ними та властивостями, які не має кожен із компонентів окремо. У структурі армованих волокнами матеріалів – волокнистих композитів – один із компонентів (наповнювач), має високу механічну міцність і жорсткість, а другий компонент – сполучна – забезпечує монолітність системи, зв'язує між собою окремі волокна. Наповнювач служить для передачі основних силових потоків у конструкції. Сполучна передає зусилля від волокна до волокна в трансверсальних напрямках, забезпечуючи їх одночасну деформацію під навантаженням. Така структура дозволяє широко варіювати властивості армованого матеріалу, посилю-

вати його в найбільш навантажених напрямках відповідно до вимог конструкції (Фрегер, Аптекар, Ігнат'єв, Чесноков, Мелікбекян & Коструб, 2004).

Одними з перших у будівництві стали застосовуватись матеріали на основі епоксидних смол, зміцнених скловолокном. Однак останніми роками застосування знаходять композиційні матеріали на основі вуглецевих, органічних та інших видів волокнистих наповнювачів, з яких виготовляють як основні, так і допоміжні конструкції (Ігнат'єва & Шинкляр, 2019). Збільшення застосування композиційних матеріалів пов'язане з можливістю економії паливних ресурсів, ціни на які постійно зростають. Крім того, суттєво знижується вартість виробництва армуючих наповнювачів, що забезпечує можливість та доцільність їх використання не тільки в авіації та ракетобудуванні, а й у будівництві. (Roland, Matson, Thoman, & Wong, 1997).

Знання особливостей роботи профільних виробів із композиційних матеріалів у будівельних конструкціях є запорукою успішного розвитку будівельної індустрії.

Результати

Профільні вироби є одними із найпоширеніших елементів різних будівельних конструкцій, в тому числі конструкцій, розташованих у зонах підвищеної сейсмічності. Вони використовуються як самостійні вироби у вигляді балок, валів, стержнів, і як елементи силового набору конструкцій у вигляді підкріплювальних елементів (рис. 1).

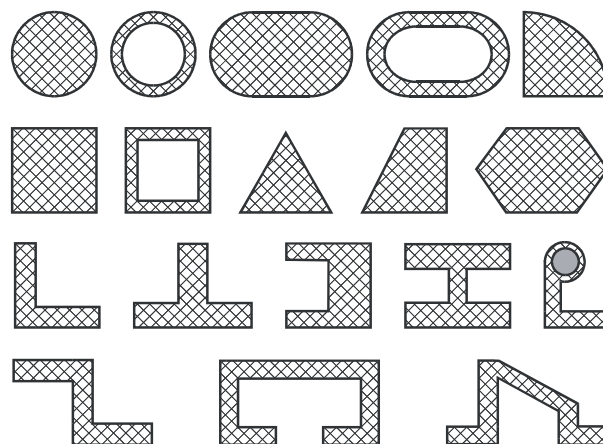


Рис. 1. Основні типи профільних виробів із композиційних матеріалів

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Вид профілю визначається конкретною конструкцією виробу та умовами його роботи. Перерізи стержневих елементів можуть утворювати суцільний, порожнистий, замкнутий або розімкнений профілі і можуть мати вигляд простих або складних геометричних фігур (див. рис. 1).

До декоративних, слабонавантажених профільних виробів зазвичай не висувається особливо високих вимог з погляду механіки. Їх конструкція визначається експлуатаційними вимогами та дизайном.

При простих видах навантаження, таких як розтяг, стиск, кручення, найбільш оптимальними конструкціями зазвичай є стержневі елементи круглого та кільцевого поперечних перерізів. Вироби такої форми добре механічно та термічно врівноважені та, крім того, технологічно найбільш прості у виготовленні (Чесноков, & Ігнат'єва, 2008).

Найбільш складні види механічного впливу відчувають конструкції, що працюють в умовах вигину та при складному навантаженні. Напруги, які діють у поперечних перерізах стержневого виробу, при цьому, бувають двох видів – нормальні та дотичні. Вони нерівномірно розподілені площею поперечного перерізу. Внаслідок цього стержні оптимальної конструкції повинні мати складну форму профілю. Форми профілів, які найчастіше використовуються для виробів, що працюють в умовах вигину: двотавр, швелер, коробчастий, П- і Z-подібні профілі поперечного перерізу. При використанні стержнів як підкріплюючих елементів використовуються також куткові та таврові профілі, що мають полицю для скріплення з підкріплюваною пластиною або оболонкою.

У всіх цих видах профільних виробів при прикладанні згинального навантаження в точках, найбільш віддалених від нейтральної лінії, діють максимальні розтягуючі та стискаючі осеві напруги, які сприймаються в основному полицями профілю (рис. 2). У стійці профілю з'являються дотичні напруги, які досягають максимальної величини в точках на нейтральній осі. Крім того, особливістю тонкостінних складнопрофільних виробів є те, що і в полицях також виникають горизонтальні дотичні напруги, які змінюються за лінійним законом і досягають найбільшої величини в точках з'єднання полиць та стійки.

При використанні ізотропних матеріалів дотичні напруги мають малу величину в порівнянні з діючими нормальними напругами і ними, як правило, можна знехтувати.

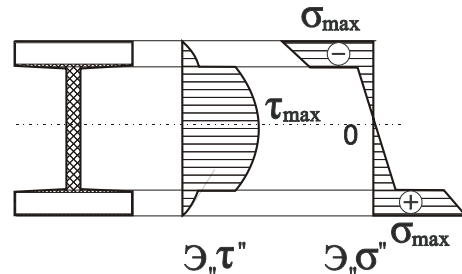


Рис. 2. Розподіл нормальних і дотичних напруг у складнопрофільних стержневих елементах під час згину

При використанні для виготовлення профілів армованих волокнами композитів їх міцність при зсуві може бути порівнянна з діючими значеннями дотичних напруг, що суттєво знижує несучу здатність таких виробів. Сама конструкція матеріалу профільного виробу повинна забезпечувати оптимальне співвідношення між його несучою здатністю і масовими характеристиками.

Як правило, це тонкостінні вироби складних профілів поперечного перерізу, які характеризуються наявністю ділянок як з позитивною, так і з негативною кривизною. Одним з найбільш поширених і застосовуваних типів профілів стержневих елементів, що виготовляються з композиційних матеріалів, є двотавровий профіль поперечного перерізу.

Типова конструкція силового профільного елемента включає зазвичай три основні види конструктивних елементів: полиці, стінки і сполучні елементи – «заплечики». При цьому сполучні елементи включаються як у шари стінок, так і у шари полиць (рис. 3).

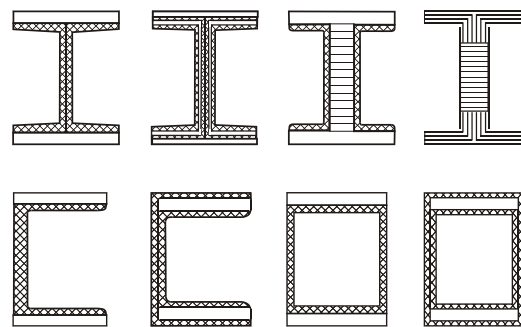


Рис. 3. Схеми формування лонжеронів із шаруватих композиційних матеріалів

© В. Б. Ігнат'єва, М. І. Гудь, 2021

При експлуатації різні елементи складнопрофільних виробів з композиційних матеріалів сприймають різні зовнішні навантаження. Полиці сприймають, в основному, поздовжні зусилля розтягування-стиснення від згинальних моментів, а стінки – зусилля зсуву від перерізуючих сил. Відповідно, вони розрізняються і за структурою, і за значеннями фізико-механічних характеристик. Переважне оптимальне армування полиць – 0° , а стінок – $\pm 45^\circ$ до поздовжньої осі стрижневого виробу.

З цієї причини на межі їх взаємодії і в них виникають додаткові напруги, обумовлені різницею коефіцієнтів лінійного температурного розширення (КЛТР) і різницею коефіцієнтів Пуассона при спільному деформуванні. У зв'язку з цим, одним із основних принципів конструювання виробів із композиційних матеріалів є використання лише термоурівноважених схем армування (Фрегер, Аптекар, Ігнат'єв, Чесноков, Мелікбекян, & Коструб, 2004).

В роботі Перова (1991) показано, що деякі шаруваті конструкції з композиційних матеріалів, у тому числі й аналізовані, мають тенденцію до руйнування шляхом розшарування, яке починається на ненавантажених кромках внаслідок дії міжшарових дотичних напруг. Особливо це стосується матеріалів на основі високомодульних та високоміцних наповнювачів – органопластиків, боропластиків та вуглепластиків, ступінь анізотропії яких досягає 40...100. Це пов'язано з тим, що механічні характеристики армованих матеріалів у трансверсальних напрямках і при зсуві визначаються в основному механічними властивостями полімерної матриці та міцністю зчеплення компонентів, які значно нижчі за властивості волокнистих наповнювачів. У профілях це розшарування має місце на межі полиця – заплечики.

Дотичні напруження, що діють у сукупності на вільних кінцях полиць, і ініціюють початок їх руйнування – так званий «кромковий» ефект (Мудрий, & Тараненко, 1999).

У роботах Мудрого та Тараненко (1999), Карпова (1997) проведено аналіз кромкових ефектів у балках із композиційних матеріалів. Використана при цьому модель та результати аналізу наведено на рис. 4.

Руйнування від міжшарових зрушень спостерігається і в таких типових конструкціях, як стрижні, пластини, оболонки в момент втрати

стійкості, в зонах крайових ефектів та місця застосування зосереджених сил.

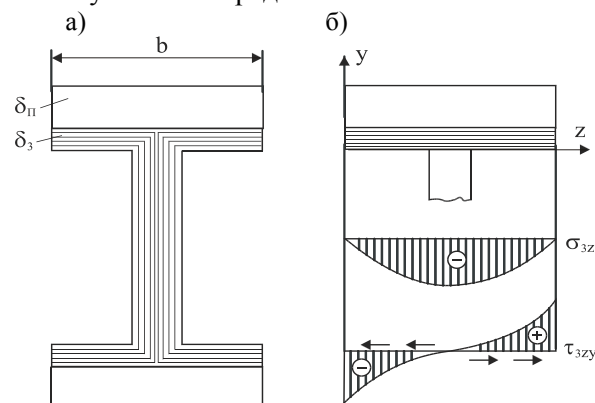


Рис. 4. Кромкові ефекти у складно-профільних виробках із композиційних матеріалів:
а – конструкція профільного виробу; б – розрахункова модель та розподіл напруг у заплечиках

Поганий опір поперечному відриву є причиною розшарування конструкцій під дією порівняно невеликих технологічних або експлуатаційних трансверсальних напруг, що призводить до випучування окремих шарів при стисканні, згинанні, при навантаженні намотувальних конструкцій зовнішнім тиском.

Методи боротьби з цим явищем – конструктивне доопрацювання виробу.

Відмінною особливістю конструкційних методів підвищення характеристик композитів є запровадження додаткового наповнювача під кутом до основної арматури. В результаті підвищуються механічні характеристики в трансверсальних напрямках і забезпечується додатковий механічний зв'язок між шарами основного армуючого матеріалу.

Дослідження у цьому напрямку проводилися шляхом створення шаруватих багатоспрямованих структур, плетених і просторово армованих матеріалів, використанні гібридних композитів, що забезпечують високі значення механічних характеристик композиційних матеріалів у напрямку дії головних напруг (Фрегер, Аптекар, Ігнат'єв, Чесноков, Мелікбекян, & Коструб, 2004).

Однак використання цих методів тягне за собою й низку негативних наслідків. Введення додаткового матеріалу в напрямках, що не збігаються з основним напрямком армування, призводить до відповідного зниження механічних характеристик композиту у напрямку укладан-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

ня головної арматури. Крім того, виготовлення просторово армованих і тканих структур призводить, як правило, до викривлення волокон, що суттєво знижує їх механічні характеристики.

У складнопрофільних виробках проводиться посилення вільних кромки шляхом їх зшивання або загортання зовнішнього шару, укладання по периметру виробу обмотувального або обплітального шару та ін.

Практика використання такого роду складнопрофільних конструкцій та експериментальні дослідження показують, що початок руйнування, а отже, і слабе місце конструкції знаходяться і в центральній частині профілю. У роботі Карпова (1997) робиться висновок, що причиною цього є, в основному, нормальні напруги і рекомендується додатково армувати полиці шарами волокнистої арматури, що укладається під кутом 90° по відношенню до осі стержня, як найбільш пристосованих для сприйняття такого роду напруги.

Однак більш детальний аналіз характеру руйнування показує, що модель, використана в роботі Мудрого та Тараненко (1999) недостатньо точна, так як руйнування часто починається у вигляді відшарування заплечиків у зоні негативної кривизни профілю, внутрішнього міжшарового руйнування або вилуговування елементів полиці разом із заплечиком поблизу зон негативної кривизни. Причому руйнування може відбуватися як при дії розтягуючих, так і при дії стискаючих напруг, що виникають у конструктивних елементах профільного виробу. Спостерігається також розшарування виробів у процесі технологічної переробки при охолодженні виробів після полімеризації за високих температур.

Зазначені обставини вказують на необхідність додаткового аналізу та доопрацювання розрахункової моделі складнопрофільного виробу з метою узгодження її з наявними фактичними даними.

Наукова новизна та практична значимість

В ході аналізу виявлено особливості роботи профільних виробів з композиційних матеріалів у будівельних конструкціях, які є основою для розробки нових способів підвищення механічних характеристик виробів з композиційних

матеріалів у будівельних конструкціях й удосконалення вже існуючих.

Висновки

Аналіз особливостей роботи профільних виробів з композиційних матеріалів у будівельних конструкціях показав, що відомі способи підвищення міцності та жорсткості композиційних матеріалів не в повній мірі задовольняють вимогам будівництва у сейсмічно неблагополучних районах щодо механічних характеристик таких виробів і є великий потенціал для розробки нових способів підвищення механічних характеристик виробів з композиційних матеріалів у будівельних конструкціях й удосконалення вже існуючих.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Bannikov, D. O., Radkevich, A. V., & Nikiforova, N. A. (2019). Features of the design of steel frame structures in India for seismic areas. *Materials Science Forum*, 968, 348-354.
- Gribanov, Y. A., Gurin, I. V., Gujda, V. V., Bukolov, A. N., & Kolosenko, V. V. (2020). Study on corrosion properties of carbon-carbon composites. *Voprosy Atomnoj Nauki i Tekhniki*, 154-160.
- Hezentsvei, Y., & Bannikov, D. (2020). Effectiveness evaluation of steel strength improvement for pyramidal-prismatic bunkers. *Eureka: Physics and Engineering*, 2, 30-38.
- Roland, C., Matson, C., Thoman, S., & Wong, D. (1997). Advanced Composite Processes for Aerospace Applications. *42nd International SAMPE Symposium*, 42, 635-640.
- Sena-Crus, J. (2015). Flexural Strengthening of RC Slabs with Prestressed CFRP Strips Using Different Anchorage Systems. *Polymers*, (10), 2100-2118.
- Smerdov, D. N. & Yashchuk, M. O. (2020). Laboratory studies of prestress loss when reinforcing reinforced concrete beams with composite materials. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 18, 119-125.
- Банніков, Д. О., Купрій, В. П. & Вотченко, Д. Ю. (2021). Закономірності напружено-деформованого стану оправ під час будівництва пілонної станції метрополітену. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 19, 19-27.
- Ігнат'єва, В. Б., & Шинкляр, Н. В. (2019). Аналіз способів посилення залізобетонних будівельних конструкцій. *Scientific discoveries: projects, strategies and development*, 3, 128-130. Edinburgh, Scotland, UK: European Scientific Platform. Режим

- доступу: <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/conferences/issue/view/2019-10-25/50>.
- Карпов, Я. С. (1997). Кромочные эффекты в конструкциях из композиционных материалов и пути их учета при проектировании. *Авиационно-космическая техника и технология*, 245-250.
- Мудрый, А. А., & Тараненко, И. М. (1998). Кромочные эффекты в балках из композиционных материалов. *Авиационно-космическая техника и технология*, 20-25.
- Перов, Ю. Ю. (1991). Предотвращение кромочного расслаивания слоистых пластиков. *Механика композитных материалов*, 3, 468-473.
- Сливинский, В. И., Карпилова, О. А., Вербицкая, Н. А., & Гайдачук, В. Е. (2009). Создание энерго-сберегающих технологий изготовления изделий из полимерных композиционных материалов с повышенными механическими характеристиками. *Решетневские чтения*, 1 (13), 72-73.
- Фреггер, Г. Е., Аптекарь, М. Д., Игнатъев, Б. Б., Чесноков, В. В., Меликбекян, А. Х., & Коструб, В. А. (2004). *Основы механики и технологии композиционных материалов*. Киев: Арістей.
- Чесноков, А. В., & Бакст, Е. Е. (2008). Исследование влияния трансверсального армирования на прочность плетеного композиционного материала. *Авиационно-космическая техника и технология*, 2, 51-54.
- Чесноков, О. В., & Игнатъева, В. Б. (2008). Дослідження взаємодії стержня з обплітальним матеріалом при трансверсальному армуванні композиційного матеріалу. *Питання проектування та виробництва конструкцій літальних апаратів*, 5(56), 39-48.
- Чесноков, А. В., Тимофеев, И. А., & Старцев, В. А. (2020). Развитие технологий плетения сплошных преформ для термонагруженных деталей. *Функциональные наноматериалы и высокочистые вещества*, 59-61. Москва: ИМЕТ РАН.

V. B. IHNATIEVA^{1*}, M. I. HUD²

^{1*} Structural Mechanics Department, Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ruska str., 56, Ternopil, Ukraine, 46001, tel. +38 (099) 729 87 10, e-mail vikto-igna@ukr.net, ORCID 0000-0002-9688-4992

² Structural Mechanics Department, Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ruska str., 56, Ternopil, Ukraine, 46001, e-mail mishagud77@tntu.edu.ua, ORCID 0000-0001-8793-3193

PECULIARITIES OF WORK OF PROFILE PRODUCTS FROM COMPOSITE MATERIALS IN BUILDING CONSTRUCTIONS LOCATED IN SEISMIC AREAS

Purpose. The aim of the article is to reveal during the analysis the peculiarities of the work of profile products from composite materials in building structures located in seismic areas. **Methodology.** The structure of fiber-reinforced composite materials is given and the role of each component is explained. It is noted that recently, in the construction industry for the manufacture of basic and additional structures, composite materials are used not only on the basis of epoxy resins reinforced with glass fiber, but also on the basis of carbon, organic and other fibrous fillers. The expediency of the application of products from composite materials in the construction is highlighted. **Findings.** The analysis of literary sources devoted to the work of products from composite materials of simple and complex cross-section in the building structures under the influence of simple (tension, compression, torsion) and complex types of loading was conducted. Distribution of stresses acting in cross-sections of complex profile rod elements made of composite materials under bending load is shown. Features of work of profile products from composite materials in building constructions are revealed. The reasons of decrease of load-carrying ability of complex profile products made of composite materials are determined. The existing methods of increasing mechanical characteristics of products from composite materials are given. Negative consequences and disadvantages of application of existing methods of increasing mechanical characteristics of products from composite materials are formulated. **Originality.** On the basis of the carried out analysis conclusions about necessity of refinement of existing methods of increase of mechanical characteristics of products from composite materials are made. **Practical value.** During the analysis features of work of profile products from composite materials in building constructions which are the basis for development of new ways of increasing mechanical characteristics of products from composite materials in building constructions and improvement of already existing ones are revealed.

Keywords: composite materials; profile products; strength; stiffness; building structures; peculiarities; seismic areas

REFERENCES

- Bannikov, D. O., Radkevich, A. V., & Nikiforova, N. A. (2019). Features of the design of steel frame structures in India for seismic areas. *Materials Science Forum*, 968, 348-354. (in English)
- Gribanov, Y. A., Gurin, I. V., Gujda, V. V., Bukolov, A. N., & Kolosenko, V. V. (2020). Study on corrosion properties of carbon-carbon composites. *Voprosy Atomnoj Nauki i Tekhniki*, 154-160. (in English)
- Hezentsvei, Y., & Bannikov, D. (2020). Effectiveness evaluation of steel strength improvement for pyramidal-prismatic bunkers. *Eureka: Physics and Engineering*, 2, 30-38. (in English)
- Roland, C., Matson, C., Thoman, S., & Wong, D. (1997). Advanced Composite Processes for Aerospace Applications. *42nd International SAMPE Symposium*, 42, 635-640. (in English)
- Sena-Crus, J. (2015). Flexural Strengthening of RC Slabs with Prestressed CFRP Strips Using Different Anchorage Systems. *Polymers*, 7(10), 2100-2118. (in English)
- Smerdov, D. N. & Yashchuk, M. O. (2020). Laboratory studies of prestress loss when reinforcing reinforced concrete beams with composite materials. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*, 18, 119-125. (in English)
- Bannikov, D. O., Kuprii, V. P. & Votchenko, D. Yu. (2021). Zakonomirnosti napruzhenno-deformovanoho stanu oprav pid chas budivnytstva pilonnoi stantsii metropolitenu. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*, 19, 19-27. (in Ukrainian)
- Ihnatieva, V. B., & Shynkliar, N. V. (2019). Analiz sposobiv posylennia zalizobetonnykh budivelnykh konstrukttsii. *Scientific discoveries: projects, strategies and development*, 3, 128-130. Edinburgh, Scotland, UK: Euro-pean Scientific Platform. Rezhyim dostupu: <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/conferences/issue/view/2019-10-25/50>. (in Ukrainian)
- Karpov, Ya. S. (1997). Kromochnye efekty v konstrukttsiyakh iz kompozitsionnykh materialov i puti ikh ucheta pri proektirovani. *Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya*, 245-250. (in Russian)
- Mudryy, A. A., & Taranenko, I. M. (1998). Kromochnye efekty v balkakh iz kompozitsionnykh materialov. *Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya*, 20-25. (in Russian)
- Perov, Yu. Yu. (1991). Predotvrashchenie kromochnogo rasslaivaniya sloistykh plastikov. *Mekhanika kompozitnykh materialov*, 3, 468-473. (in Russian)
- Slivinskiy, V. I., Karpikova, O. A., Verbitskaya, N. A., & Gaydachuk, V. Ye. (2009). Sozdanie energosberegayushchikh tekhnologiy izgotovleniya izdeliy iz polimernykh kompozitsionnykh materialov s povyshennymi mekhanicheskimi kharakteristikami. *Reshetnevskie chteniya*, 1 (13), 72-73. (in Russian)
- Freger, G. Ye., Aptekar, M. D., Ignatev, B. B., Chesnokov, V. V., Melikbekyan, A. Kh., & Kostrub, V. A. (2004). *Osnovy mekhaniki i tekhnologii kompozitsionnykh materialov*. Kiev: Aristei. (in Russian)
- Chesnokov, A. V., & Bakst, Ye. Ye. (2008). Issledovanie vliyaniya transversalnogo armirovaniya na prochnost pletenogo kompozitsionnogo materiala. *Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya*, 2, 51-54. (in Russian)
- Chesnokov, O. V., & Ihnatieva, V. B. (2008). Doslidzhennia vzaємodii sterzhnia z oblplitalnym materialom pry transversalnomu armuvanni kompozytsiinoho materialu. *Pytannia proektuvannia ta vyrobnytstva konstrukttsii litalnykh aparativ*, 5(56), 39-48. (in Ukrainian)
- Chesnokov, A. V., Timofeev, I. A., & Startsev, V. A. (2020). Razvitie tekhnologiy pleteniya sploshnykh preform dlya termonagruzhennykh detaley. *Funktsionalnye nanomaterialy i vysokochistye veshchestva*, 59-61. Moskva: IMYeT RAN. (in Russian)

Надійшла до редколегії 26.10.2021.

Прийнята до друку 15.11.2021.