

# ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ БАЛКОВИХ КОНСТРУКЦІЙ З ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ

Вінницький національний технічний університет

## *Анотація*

*У роботі наведено закордонний досвід використання композитних матеріалів. Виконано порівняння фізико-механічних характеристик композиту та металу як матеріалів для будівництва, визначено переваги та недоліки. Виконано огляд можливостей застосування армованих скловолокном полімерів в будівельній галузі, як матеріалу для будівельних конструкцій. Експериментально визначались границі міцності та модуля пружності на стиск, границі міцності на зминання штифтом, границі міцності при трьохточковому згині для зразків армованих скловолокном полімерів.*

**Ключові слова:** армований скловолокном полімер, композитні полімери, напружено-деформований стан, чисельне моделювання, конструкції колони.

## *Abstract*

*The work presents foreign experience in the use of composite materials. A comparison of the physical and mechanical characteristics of the composite and metal as materials for construction was made, and the advantages and disadvantages were determined. An overview of the possibilities of using glass fiber-reinforced polymers in the construction industry as a material for building structures was performed. Strength limits and compressive modulus, pin crumple strength limits, and three-point bending strength limits for glass fiber reinforced polymer samples were determined experimentally.*

**Keywords:** glass fiber reinforced polymer, composite polymers, stress-strain state, numerical modeling, column designs.

## **Вступ**

Наше теперішнє життя складно уявити без пластику. Незважаючи на ряд недоліків він впевнено зайняв місце в усіх сферах людської діяльності і будівельна галузь не є винятком.

Пластмаса (пластична маса) — це загальноприйнята назва для матеріалів, основним (і іноді винятковим) компонентом яких є макромолекулярні речовини. Це можуть бути натуральні чи синтетичні полімери. Будівельна галузь використовує полімери для широкого спектра застосувань завдяки своїй універсальності, міцності та масі, міцності, стійкості до корозії та інше [3].

Переваги використання полімерів в будівництві полягають в тому, що вони легкі, але міцні, що спрощує транспортування та маневр навколо майданчиків; вони також стійкі до гниття та корозії, і мають сильну стійкість до витривалості завдяки можливості досягнути низької пористості. Полімер також може бути гнучким і легко екструдований, зігнутий, формований, 3D-друкарський, його також можна легко видалити, а деякі полімери можуть бути перероблені [4].

У будівництві чисті полімери застосовують вкрай рідко, а широкого поширення набули композитні полімерні матеріали. Композитним матеріалом називають штучно створений неоднорідний суцільний матеріал, що складається з двох і більше компонентів, окремих волокон або інших складових та матриці, що їх сполучає, з чіткою межею розділу між ними. Властивості полімерного композиту відрізняються від властивостей його складових. Компоненти полімерних композитів не повинні розчинятися або поглинати один одного. Вони повинні бути добре сумісні.

Найбільше застосування полімерні композити мають серед будівельних матеріалів, а завдяки антикорозійним властивостям, високій міцності та можливості легко створювати будь-які форми з'являються спроби використовувати полімерні композити як матеріал для будівельних конструкцій. Перешкодою для широкого застосування будівельних конструкцій з полімерних композитів є відсутність нормативних документів, що регламентують їх використання та недостатнє вивчення їх поведінки під дією навантаження.

## **Результати дослідження**

У нормативних документах країн Європи [1] та ближнього зарубіжжя [3,4] висуваються вимоги до фізико-механічних характеристик конструкційних САП. На рис. 1 наведено схему напрямку зусиль і модуля деформації в профілях САП. Випробування виконувалися для зразків пластини різної товщини. Для визначення границі міцності та модуля пружності на розтяг було проведено серії випробувань для зразків (пластини) товщиною 4, 5, 6 та 10 мм. Результати випробувань наведено для зразків товщиною 6 мм на рис. 2.

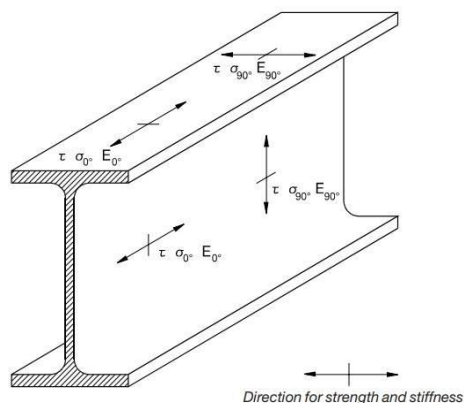


Рисунок 1 – Напрямок зусиль і модуля деформації в профілях САП

Таблиця 1 – Результати випробувань на розтяг вздовж і поперек волокон

№ п/п	Найменування показника	Пластина товщиною, мм			
		4	5	6	10
1	Границя міцності на розтяг в напрямку $0^\circ$ , МПа, не менше	565...630	502...644	504...559	443...463
2	Границя міцності на розтяг в напрямку $90^\circ$ , МПа, не менше	17,1...30,3	15,9...28,1	30,3...35,9	33...34,4
3	Модуль пружності на розтяг в напрямку $0^\circ$ , ГПа, не менше	33,2...41,6	36,8...42,1	42,8...46,5	32,4...39,9
4	Модуль пружності на розтяг в напрямку $90^\circ$ , ГПа, не менше	4,07...5,14	3,85...4,65	5,29...5,57	4,13...4,58

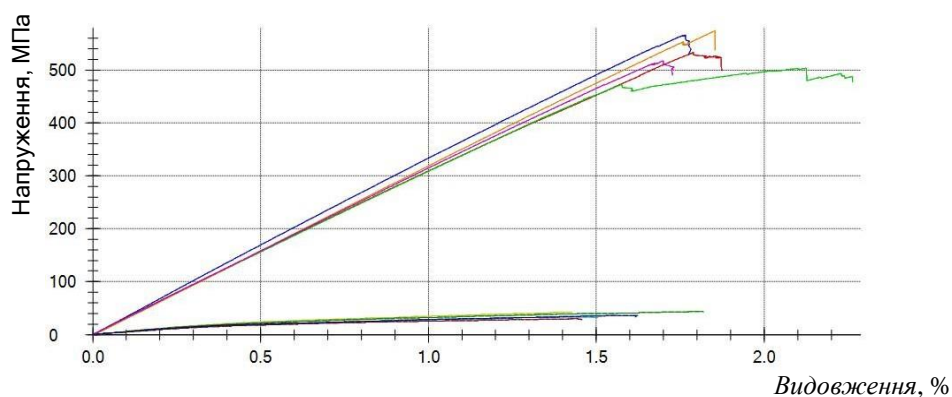


Рисунок 2 – Графік залежності напруження – відносно видовження для серії випробувань на розтяг вздовж і поперек волокон для пластины товщиною 6 мм

Для визначення границі міцності на змінання штифтом було проведено серії випробувань для зразків (пластини) товщиною 4, 5, 6 та 10 мм. Результати випробувань (табл.2) свідчать, що дані зразки із значним запасом можуть бути віднесені до класу E23.

Таблиця 2 – Результати випробувань на змінання вздовж і поперек волокон

№ п/п	Найменування показника	Пластина товщиною, мм			
		4	5	6	10
1	Границя міцності на змінання штифтом в напрямку $0^\circ$ , МПа, не менше	289...322	193...363	166...190	125...133
2	Границя міцності на змінання штифтом в напрямку $90^\circ$ , МПа, не менше	73,2...80,8	66,3...79,9	258...310	253...271

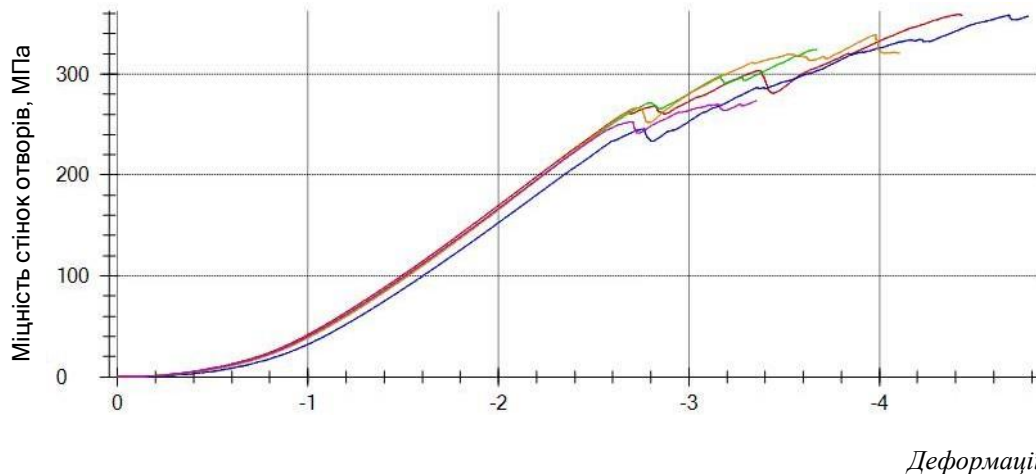


Рисунок 3 – Графік залежності міцність – деформація для серії випробувань назминання штифтом в напрямку 0° для пластини товщиною 10 мм

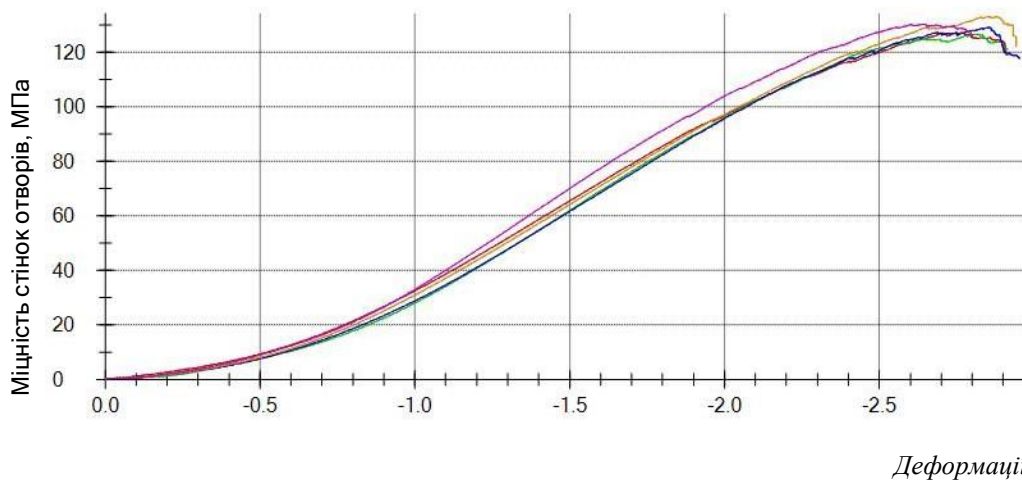


Рисунок 4 – Графік залежності міцність – деформація для серії випробувань назминання штифтом в напрямку 90° для пластини товщиною 10 мм

Для визначення границі міцності при трьохточковому згині було проведено серії випробувань для зразків (пластини) товщиною 6 та 10 мм. Результати випробувань (табл.3) свідчать, що дані зразки можуть бути віднесені до класу E17.

Таблиця 3 – Результати випробувань при трьохточковому згині вздовж і поперек волокон

№ п/п	Найменування показника	Пластина товщиною, мм	
		6	10
1	Границя міцності притрьохточковому згині в напрямку 0°, МПа, не менше	666...732	597...785
2	Границя міцності притрьохточковому згині в напрямку 90°, МПа, не менше	70,7...86,4	70,8...106

Загальновідомим є факт, що всі полімери є більш гнучкі у порівнянні з металом. Щоб оцінити на скільки профілі з САП більш гнучкі ніж металеві профілі було виконано моделювання роботи балкової конструкції в програмному середовищі ЛІРА-САПР 2013. Для порівняння було обрано двотавровий профіль САП конструкції висотою 150 мм з шириною полиці 80 мм і товщиною стінок 10 мм.

Для порівняння було взято сталевий профіль двотавр №14 із сталі С245, що по геометричним параметрам найбільше відповідає профілю з САП конструкції [2].

Моделювання виконано для балки на двох опорах з рівномірно розподіленим навантаженням 2 т/м, розрахункову схему балки наведено на рис. 5.

Прогини балок, що отримані в результаті моделювання, наведено в таблиці 4. Отримані результати свідчать про те, що балки з САП профілю мають більший прогин – при довжині балки 1 та 2 м прогини не перевищують гранично допустимого і можуть бути застосовані. Сталевий профіль з аналогічним перерізом при однакових навантаженнях може бути використаний більшої довжини – 3 м, оскільки прогин не перевищує гранично допустимого значення.

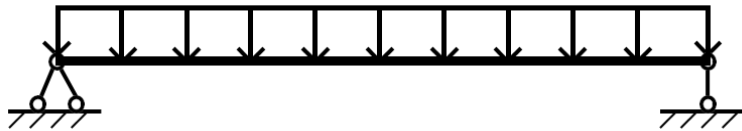


Рисунок 5 – Розрахункова схема балки, що моделюється

Таблиця 4 – Прогини балок з сталевого профілю та САП

№п/п	Довжина, м	Прогин, мм		Макимально допустимий прогин, мм
		Сталевий профіль	САП профіль	
1	1	0,115	0,315	6,67
2	2	1,84	5,04	13,3
3	3	12,4	25,5	20
4	4	29,4	-	26,7

### Висновок

Отже, проведені випробування зразків армованих скловолокном полімерів для визначення границі міцності та модуля пружності на розтяг, границі міцності на змінання штифтом, границі міцності при трьохточковому згині підтвердили, що конструкційні САП відповідають необхідним вимогам [1].

У результаті проведеного моделювання напружено-деформованого стану балкових конструкцій з САП профілів та сталевих профілів в ПК ЛИРА- САПР 2013 встановлено, що САП профілі мають більші прогини, що призводить до необхідності збільшення розрахункового перерізу при значних прольотах балки у порівнянні з перерізом із сталевого профілю.

### Література

1. European standard EN 13706 for pultruded profiles. URL: <https://fiberline.com/european-standard-en-13706/> (дата звернення: 15.11.2022).
2. ДСТУ 8768:2018. Двотаври сталеві гарячекатані. Сортамент. [Чинний від 01.01.2019]. Вид. офіц. Київ, 2018. 6 с.
3. ДСТУ Н Б В.2.6-185:2012. Настанова з проектування та виготовлення бетонних конструкцій з неметалевою композитною арматурою на основі базальто- і склоровінгу. [Чинний від 01.04.2013]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2012. – 28 с.
4. Пластики конструкционного назначения (реактопласты) / Под ред. Тростянской Е. Б.– Москва : «Химия», 1974. 314 с.
5. Симонов-Емельянов. Армированные пластики и их классификация по структурному принципу и перерабатываемости // Пластические массы. – 2016. - №5-6. – С. 3-8.
6. Pietrucha Established 1960. Vinyl sheet piling. URL: <https://www.pietrucha.pl/en/offer/civil-engineering/grodzice-winylowe/aadvantages> (дата звернення: 15.11.2022).

**Панасюк Юрій Сергійович**— студента групи Б-21м, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, e-mail: 1b17pcb.yura.panasyuk@gmail.com.

**Блащук Наталя Вікторівна** — канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, email: [blaschuk@vntu.edu.ua](mailto:blaschuk@vntu.edu.ua).

Науковий керівник: **Блащук Наталя Вікторівна**— кандидат техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

**Panasiuk Yuri S.** — student of group B-21m, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, e-mail: 1b17pcb.yura.panasyuk@gmail.com.

**Natalia V. Blashchuk** — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Building Heating and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: [blaschuk@vntu.edu.ua](mailto:blaschuk@vntu.edu.ua).

Supervisor: **Natalia V. Blashchuk** — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Building Heating and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.