

**В. Р. Сердюк**  
**О. М. Антонюк**  
**Т. С. Антонюк**

## **КОМПОЗИТНА АРМАТУРА В БУДІВЕЛЬНІ ГАЛУЗІ: ТЕНДЕНЦІ РОЗШИРЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ**

Вінницький національний технічний університет

*Науково-технічний прогрес значною мірою забезпечує виробництво та використанням нових ефективних будівельних конструкційних матеріалів з наперед заданими властивостями.*

*У статті розглядаються перспективи застосування у будівництві відносно нового сучасного матеріалу – арматури композитної (АК), яка має низку переваг в порівнянні з традиційною металевою арматурою і одночасно характеризується властивостями, які обмежують її використання в технології виробництва сучасних бетонних конструкцій. У зв'язку з низкою обставин, які пов'язані з розширенням умов експлуатації армованих бетонних конструкцій в сильно агресивних середовищах, де важко забезпечити корозійну стійкість сталеві арматури використовується композитна арматура. Показані перспективи використання композитної арматури в забезпеченні діелектричних властивостей деяких споруд.*

*Узагальнений світовий досвід використання АК, наведена сучасна нормативна база щодо її використання в сучасному будівництві. Показано, що використання АК нарівні зі сталеві арматурою за чинними стандартами щодо механічних, технологічних та експлуатаційних властивостей є достатніми для вирішення переважної більшості завдань будівництва. Наведені обґрунтування щодо розширення використання композитної арматури з врахуванням високої енергоємності традиційної сталеві арматури та необхідності скорочення викидів парникових газів відповідно до міжнародних зобов'язань України.*

**Ключові слова:** арматура композитна, енергоємність, властивості, актуальність, зростання використання.

### **Вступ**

Початок 21 століття характеризується широким застосуванням композитних матеріалів у всіх галузях економіки і зокрема в будівельній галузі. За даними маркетингових досліджень, лише з 2001 по 2007 рік загальносвітовий ринок композитів у будівництві зріс з 300 млн. до 1,5 млрд. дол. Глобальний ринок композитної арматури оцінювався в 456 млн. дол. США в 2020 році, і очікується, що він досягне 837,1 млн дол. США до кінця 2027 року, зростаючи на 9,3% CAGR протягом 2021-2027 років [1].

Арматура композитна (АК) це композиційний матеріал, що складається з поздовжніх односпрямованих волокон, пов'язаних затверділим полімерним матеріалом. Вона поділяється на такі види: склокомпозитну (АСК); базальтокомпозитну (АБК); вуглекомпозитну (АУК); арамідоккомпозитну (ААК); комбіновану композитну (АКК). Найбільш поширена АК, що виготовлена з використанням базальтового і скляного ровінгу.

Виробництво залізобетону, використання АК замість сталеві, разом з використанням мінеральних добавок в сучасних цементних бетонах, являється найбільш вагомим напрямком зменшення енергоємності виробництва будівельних матеріалів. Будівельна галузь України споживає до 40% від всіх енергоносіїв, що використовуються в економіці країни і проблеми забруднення довкілля парниковими газами потребують вирішення.

Провідне місце у світі у використанні АК займають США, Швейцарія, Данія, Німеччина, Великобританія, Японія та Канада. На сьогодні в США та Канаді вже збудовано понад 400 мостів з використанням склопластикові арматури [2].

АК має великі резерви для використання при будівництві доріг, аеродромів, гідротехнічних споруд, портових споруд, підземного будівництва де особливо відчутне агресивне середовище [3].

Нова технологія під назвою пултрузія істотно прискорила процес виробництва АК. Вона полягає в наступному: скломатеріал змотується зі спеціальних когушок у сухому стані та надходить у пристрій просочення пултрузійного верстата, де змочувався поліефірною, епоксидною або іншою смолою під тиском і температурою приблизно 120–150 °С. В послідууючому охолоджується і скручується в бухти по 50, 100, 150 і 200 м, а сітка скручується ролони по 50-60 м. Саме виробництво не потребує великих виробничих приміщень.

Питома вага країн СНД на світовому ринку АК практично не помітна, хоча розробка та становлення її виробництва відбувалося практично одночасно в колишньому СРСР, США та інших європейських країнах. Структура використання АК у світі приблизно наступна: США – 30 %; Японія – 26 %; Китай – 22 %; Європа – 19 %; Росія – 2 %, країни СНД – 1 %.

Про необхідність масштабного дослідження та впровадження АК в Україні в будівельне виробництво свідчать світові тенденції щорічного зростання обсягів її використання на 12-16 % [4]. На офіційному сайті (World Steel Association), розділ «Металургійні ринки» («Steel markets»), приведено, що метал в будівництві в основному застосовується в армуючих стрижнях – 44%; листових виробках (крівля, прогони, внутрішні стіни, стелі, облицювання, ізоляційні панелі для зовнішніх стін) – 31 %; структурних секціях будівель – 25 %.

Збільшення обсягів будівництва житла, соціальних об'єктів, автомобільних доріг та інших споруд пов'язане зі зростанням споживання цементу, металу, інших будівельних матеріалів, виробництво яких потребує значних затрат енергії.

**Мета роботи.** Дослідити сучасний стан та перспективи використання в Україні арматури композитної.

### Основна частина

Аналітичних досліджень. В Україні найбільше поширення АК набула у конструкціях, що працюють на пружній основі, наприклад, фундаментах, бетонних покриттях, а в конструкціях, які працюють на згин її використання дещо обмежене [5].

Застосовувати склопластикову арматуру доцільно в плитних та стрічкових фундаментах малоповерхових індивідуальних будинків, де діють незначні навантаження на фундамент. Використання поперечної арматури в таких фундаментах, як правило, необхідне тільки з огляду на конструктивні вимоги (відсутні поперечні навантаження). Якщо, згідно з розрахунками необхідно виконувати армування стиснутої зони, а також застосовувати поперечне армування, то в елементах з неметалевою композитною арматурою проєктанти перестраховують себе – передбачають сталеву арматуру відповідно до вимог [6]. За даними проведеними в [7] показники продукції окремих виробників АК України, які працюють за власними технічними умовами не завжди відповідають заявленим показникам.

Постійно зростаючий інтерес до композитної АК пов'язаний з її антикорозійними, діелектричними властивостями. Крім того, міцність на розрив у АК більше ніж в 2 рази вище за міцність сталевий арматури, щільність – в 4 рази менша, вона не ржавіє в агресивних середовищах, а її теплопровідність більш у 100 разів нижча, ніж у сталевий. Така арматура є діаманітною і застосовується в таких будівлях та спорудах, як лікарні, аеропорти, станції радіолокації, різні військові споруди. В світові практиці, особливо в США, Канаді, Японії, Німеччині композитна арматура масштабно використовується при будівництві доріг, мостів, морських споруд. Порівняння техніко-експлуатаційних характеристик АК з металевий арматурою класу А-III (А400С) підтверджує низку інших її експлуатаційних переваг (табл.1).

На відміну від сталевий арматури АК в агресивному середовищі не кородує і забезпечує довговічність армованих виробів до 80 років. На сьогодні, враховуючи високу вартість металу, обмеженість запасу руд, придатних для забезпечення безперервно зростаючих потреб сталі та дефіцитних легуючих добавок при її виробництві АК розглядається як альтернативний композиційний матеріал [8].

Таблиця 1

**Порівняльні характеристики металевий та композитної арматури.**

Характеристики	Металева арматура	Склопластиковая арматура	Базальтопластиковая арматура
Тимчасовий опір при розтягу, МПа	360	600 – 1200 (зменшується по мірі збільшення діаметру)	700 – 1300 (зменшується по мірі збільшення діаметру)
Модуль пружності, МПа	200000	45000	60000
Відносне подовження, %	14–22	2,2	2,2
Густина, кг/м <sup>3</sup>	7850	1900	1900
Корозійна стійкість	кородує	некородує	некородує
Теплопровідність	теплопровідна	непроводить тепло	непроводить тепло
Електропровідність	струмопровідна	діелектрик	діелектрик
Радіопрозорість	ні	так	так
Профілі (діаметр), мм	6 - 80	4 – 20	4 – 20
Довжина, м	6 – 12 м	необмежена	необмежена

Разом з тим, в порівнянні зі сталевий, АК має ряд істотних недоліків, які стримують її використання: низький модуль пружності; низька вогнестійкість виробів армованих АК; неможливість

виготовлення гнутих арматурних виробів та їх зварювання; відсутні єдині вимоги на рівні державних або міжнародних стандартів щодо механічних властивостей, методів контролю та правил приймання арматури. При нагріванні АК до 150–170 °С полімерний компаунд, що зв'язує волокна арматури, розм'якшується. Таку арматуру не можливо зварювати та виконувати так звані «прихватки», характерні для сталеві арматури, які виконуються в умовах будівельного майдану. Розрізати АК можливо з використанням болгарки.

Важливим експлуатаційним фактором АК є її поведінка при критичному навантаженні.

Люба арматура характеризується лінійною залежністю деформації від навантаження, але оскільки АК не має площадки текучості, вона «раптово» руйнується. Це є важливою предосторогою для обмеження використання АК в збірних залізобетонних конструкціях, які працюють на згин саме через низький модуль пружності, хоча її міцність на розтягування значно перевищує міцність сталеві арматури.

Сталева арматура при руйнації конструкції може подовжуватись, за різними джерелами до 22–25 % і лише тоді остаточно розриватись, композитна – різко обривається [9].

Історично склалось так, що в колишньому Радянському Союзі через дешевизну і доступність енергоносіїв на відміну від європейських країн, США, Канади, Японії, переважно домінувало використання збірного залізобетону. Залізобетонні конструкції пропарювались за заводах ЖБК при температурі 75–90 °С, досягали 75 % і більше проектної міцності і транспортувались на будівельний майдан. Попереднє напруження арматури в таких конструкціях не збільшувало їх несучу здатність, але відсувало появу розкриття тріщин. Натяг арматури на упори здійснювався механічним, електротермічним або комбінованим способами і такі технологічні прийоми добре відпрацьовані на вітчизняних заводах. Велика жорсткість попередньо напружених залізобетонних конструкцій давала можливість перекривати великі прольоти, будувати цехи зі збірних залізобетонних конструкцій (ферм, одно- і двоскатних балок, підкранових балок, плит перекриття, стінових панелей). На сьогодні використання збірного залізобетону в промисловому і житловому будівництві суттєво зменшилось на користь менш енергоємного монолітного варіанту будівництва.

Цілком очевидно, що існувала доцільність застосування АК в бетонних конструкціях з використанням попереднього її натягування. До останнього часу реалізовані лише поодинокі подібні приклади і, як правило вони проводилось на експериментальних зразках.

Експериментальні дослідження свідчать, що за рахунок скловидного покриття АК її адгезія з бетоном зменшується приблизно на 17 %, відбувається її висмикування з бетону. На сьогодні цей недолік усунений за рахунок навивки додаткової пряді, створення профілю і напилення на поверхню арматури кварцового піску. На рис. 1 приведені фрагменти зовнішнього вигляду АК.



Рисунок 1 – Зовнішній вигляд композитної арматури.

Варто зазначити, що найцікавішим рішенням є поява арматури із порожниною всередині стрижня. Внутрішня порожнина в стрижні збільшує площу зіткнення з бетоном, забезпечує більшу площу зчеплення АК з бетоном та приводить до більш раціонального використання самого матеріалу арматури. Така АК на терені країн колишнього СРСР не виробляється.

### Фактор масштабності стрижнів АК

Вагомим аргументом на користь зростання обсягів використання АК є досить обнадійливі її особливості, які були виявлені в колишньому СРСР ще 80-ті роки минулого століття і на які не було звернуто належної уваги (рис. 2) [10].

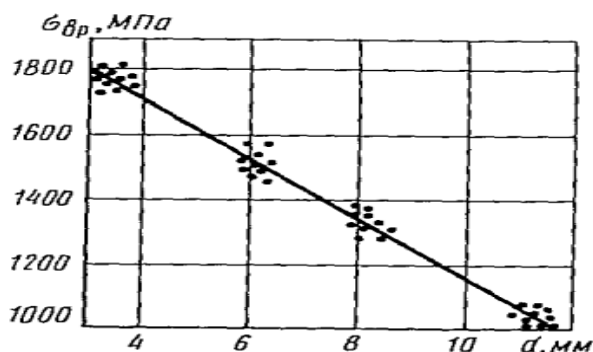


Рисунок 2 – Вплив діаметра АК на її міцність при розтягуванні.

Як видно з рис. 3 міцність стрижня арматури на розрив діаметром 3 мм досягає 1800 МПа, а такої ж арматури діаметром 12 мм - лише 1050 МПа, або на 70 % менше. Перевага від використання АК саме малих діаметрів цілком очевидна, адже різниця у міцності арматури діаметром 4 та 10 мм сягає 80-90%.

Зростання значення коефіцієнта конструктивної якості матеріалу при малих діаметрах арматури пояснюється тим, що АК є композиційним матеріалом і деформативність в'язучого в декілька раз є вищою ніж скляних чи інших волокон. Зусилля, що стискають стрижень в захватах розривної машини сприймається скляними волокнами, що розмішені на поверхні стрижня, а в послідууючому через прошарки в'язучого передається волокнам, що розмішені в середині стрижня.

Через доступність енергетичних ресурсів і низьку ціну на метал, відсутність нормативної бази в колишньому СРСР і зокрема в Україні не приділялось належної уваги АК. А відсутність нормативної бази по суті унеможливила проектування та використання такої арматури.

### Нормативно-технічне забезпечення виробництва та використання АК

Єдиним діючих нормативних документах був радянський ГОСТ 31384-2008 «Захист бетонних та залізобетонних конструкцій від корозії» в якому було зазначено, що «в середньо агресивних та сильно агресивних середовищах для армування конструкцій без попередньої напруги рекомендується застосовувати неметалеву композиційну арматуру, за винятком елементів, що згинаються» та «у конструкціях, що піддаються електрокорозії, допускається замінювати сталеву арматуру на неметалеву (базальтопластикову, склопластикову та ін.) за відповідного обґрунтування».

На сьогодні ситуація в Україні кардинально змінилась, функціонує відносно велика кількість компаній – виробників АК, приватний забудовник в міру своєї обізнаності сам приймає рішення про економічну доцільність вибору тієї чи іншої арматури чи стінового матеріалу з врахуванням цінової пропозиції. Особливістю виробництва композитної арматури є те, що його можна організувати на незначних за площею виробничих приміщеннях і при відносно не великих фінансових затратах, що неможливе для класичного металургійного виробництва.

Енерго-екологічних проблеми будівельного виробництва вносять певні корективи і кардинально змінюють ситуацію виробництва і використання металевої арматури. Додатковим аргументом на користь розширення обсягів використання АК стало невпинне зростання вартості енергоносіїв та проблеми, пов'язані з обмеженням викидів парникових газів.

Вихідною сировиною для виробництва АК служить ровінг у вигляді волокнистого матеріалу (нитки на бобінах) виготовлений з розплаву боросилікатного скла, природного базальту, та інших матеріалів. В якості в'язучого використовуються традиційні компоненти епоксидної смоли: рідкі смоли-олігомери, полімеризатори-отверджувачі (поліаміни), також прискорювачі полімеризації та пластифікатори.

В останні 5–10 років на терені країн СНД інтенсивно розробляється нормативна база, яка стосується композитної арматури. В табл. 2 приведена нормативно-технічна документація, що регламентує застосування склопластикової арматури.

**Нормативно-технічна документація, щодо застосування склопластикової арматури.**

Країна	Нормативно-технічна документація
РФ, Митний Союз та інші країни СНД	ГОСТ 31938-2012 «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия»; СП 295.1325800.2017 Конструкции бетонные, армированные полимерной композитной арматурой. Правила проектирования; СТО НОСТРОЙ 2.6.90-2013 «Применение в строительных бетонных и геотехнических конструкциях неметаллической композитной арматуры». ГОСТ 32492-2015 Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Методы определения физико-механических характеристик ГОСТ 32487-2015 Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Методы определения характеристик стойкости к агрессивным средам ГОСТ 32486-2015 Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Методы определения структурных и термохимических характеристик
Білорусь	СТБ 1103-98 «Арматура стеклопластиковая. Технические условия»

З великим запізненням на декілька десятиліть від розвинених країн світу та з врахуванням рішення про скасування чинності на території України радянських ГОСТ, як вже не існуючої країни, в останні роки суттєво прискорилась розробка власної нормативної бази, яка стосується АК ( рис. 3).

До перешкод широкого застосування АК відносяться і організаційно-технічні труднощі: відсутні єдині вимоги на рівні державних або міжнародних стандартів щодо механічних властивостей, методів контролю та правила приймання арматури, недостатньо вивчений досвід експлуатації виробів з такою арматурою.

На фоні постійного зростання вартості металу на відміну від України в розвинених країнах постійно відбувалось стрімке зміщення в сторону розширення виробництва і використання АК в будівництва мостів і доріг. Цілком очевидно що, в умовах зменшення сировинної бази для виробництва асфальтобетонів, Україна в найближчі роки буде вимушена перейти на будівництво бетонних доріг. Як відомо, в європейських країнах, США 40–50% доріг є бетонними. Для їх армування широко використовується саме АК, яка не кородує під дією агресивних ґрунтових вод та шкідливих стоків.

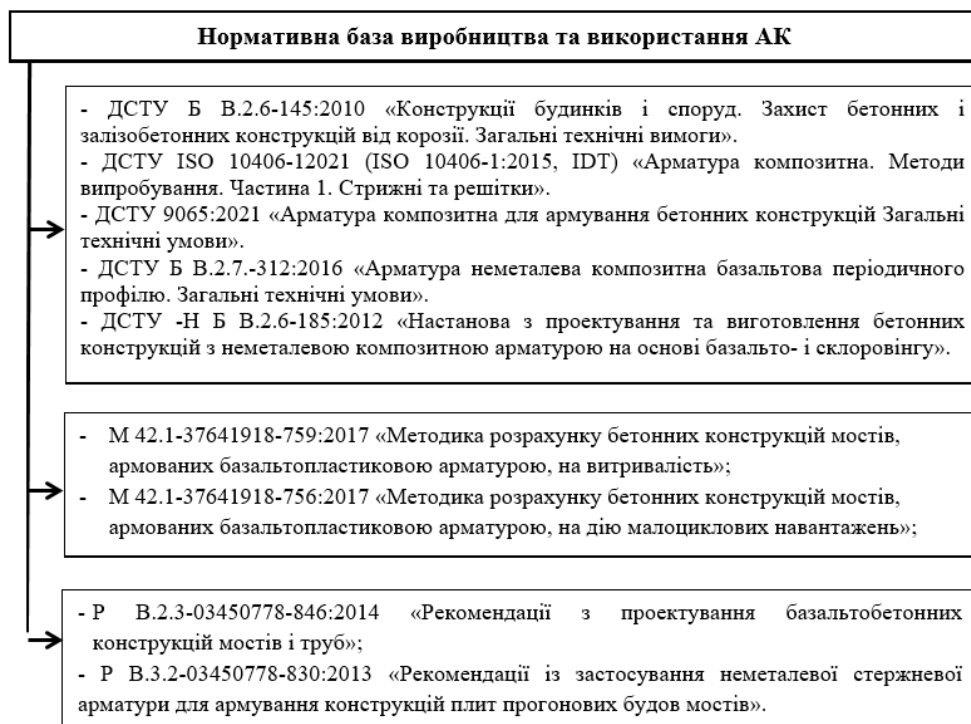


Рисунок 3 – Українські державні стандарти, методики розрахунку та рекомендації проектування виробів з використанням АК.

**Енерго-екологічні аргументи на користь виробництва і використання АК**

До передумов розширення використання АК в Україні крім експлуатаційних її переваг в порівнянні зі сталевією слід віднести:

- зменшену енергоємність виробництва та кількість викидів парникових газів в порівнянні з металевою арматурою;
- суттєве зростання податку на викиди CO<sub>2</sub>;
- постійне зростання вартості металу;
- наявність новоствореної нормативної база використання АК;
- розширення експлуатаційних вимог використання залізобетонних виробів;
- впровадження прикордонного вуглецевого регулювання експорту металу в країни ЄС.

З метою зменшення викидів CO<sub>2</sub> Європейська комісія передбачає впровадити прикордонне вуглецеве регулювання Carbon Border Adjustment Mechanism (СВАМ). Даний механізм розглядається в ЄС не лише як інструмент зниження викидів CO<sub>2</sub>, а й як податок, який змусить виробників імпоротної продукції платити таку саму ціну за викиди CO<sub>2</sub>, яку сплачують європейські виробники. Ввести в дію СВАМ планується з 2023 року. Український експорт містить високу долю металу, тому СВАМ стане способом «дискримінації» українських виробників, які не мають фінансових можливостей швидкої модернізації існуючого виробництва для зниження викидів CO<sub>2</sub>.

Відповідно до [11] загальні виділення вуглекислого газу під час виробництва 1 т чавуну становлять 2085 кг, що в рази вище ніж при виробництві АК.

В умовах адаптації нормативної бази до вимог ЄС Україна вимушена була в 2019 році підвищити ставку податку на CO<sub>2</sub> майже в 25 раз з 0,41 грн / т до 10 грн / т, а з початку 2022 року ще в 3 рази (приблизно до 30 грн / т), в той час як в ЄС середнє значення цього податку становить приблизно 50 євро / т. Українські підприємства, що викидують 500 т і більше CO<sub>2</sub> тепер зобов'язані платити цей податок. З досвіду розвинених країн тривала дія і поступове зростання податку на CO<sub>2</sub> являється дієвим механізмом енергозбереження і податок на викиди платять всі, хто здійснює викиди CO<sub>2</sub>.

Україна, як підписант Паризької хартії, прийнятої 12 грудня 2015 року, зобов'язалась скоротити викиди парникових газів на 65% (скорочення на 65 % по відношенню до показників 1990 року, і не пізніше 2060 року країна має досягти кліматичної нейтральності.

**Фіксація арматурних каркасів.** Одним із найбільш трудомістких і тривалих процесів на будь-якому будівництві при виконанні арматурних і монолітних бетонних робіт є в'язка арматурних каркасів. При виготовленні плоских або об'ємних каркасів з використанням АК відсутня можливість виконання так званих «прихваток» шляхом електрозварювання, характерних для сталеві арматури. Існуюча вітчизняна практика виконання арматурних робіт передбачала використання в'язального «гачка», пасатижів та в'язального проводу. Недоліки цього технологічного процесу очевидні – висока трудомісткість, робота виконується навколішки, велика стомленість та необхідність постійного вставання.

Японська компанія MAX Co. Ltd винайшла і вперше представила в 2003 році свій новий будівельний інструмент – Rebar Tier [12]. В'язальний пістолет забезпечує однакову силу затягування дроту, збільшує швидкість в'язання арматури в декілька раз, дозволяє з однієї позиції без переміщення працівника в'язати до 22 вузлів проти 5 вузлів при використанні традиційного в'язального гачка. Вартість в'язального пістолета за нашим перерахунком становить порядку 27–45 тис. грн, його маса 2,4 кг., однієї зарядки акумулятора хватає на робочу зміну. Такі пістолети поки що Україні відсутні. (рис. 4).



А



Б

Рисунок 4 – Зовнішній вигляд оснастки для виконання арматурних робіт з використанням композитної арматури: А – в'язальний пістолет; Б – в'язальний крючок.

З огляду на успішне ведення бізнесу українські виробники АК мали б разом з реалізацією своєї продукції одночасно реалізовувати такі пістолети та касети з в'язальною проволокою або надавати пістолети в оренду. Цілком очевидно, що це буде реалізовано, оскільки такий підхід в умовах конкуренції відповідає сучасні європейські практики виробництва та просування своєї продукції на ринку.



На сьогодні в розвинених країнах світу і в Україні налагоджено виробництво різноманітних технологічних фіксаторів для плоского та об'ємного арматурного каркасу з АК (рис. 5).



Рисунок 5 – Асортимент засобів фіксації та підмоцнення АК.

**Підвищення якості АК.** На сьогодні всі українські АК виготовляють продукцію на основі власних ТУ із заявленими характеристиками арматури. Верховна Рада ухвалила Закон «Про надання будівельної продукції на ринок» відповідно до Регламенту (ЄС) № 305/2011 про будівельну продукцію.

З 2023 року виробники мають нести повну відповідальність за виробництво будівельної продукції, що відповідає вимоги європейського законодавства та Регламенту ЄС 305/2011. Виробник зобов'язаний скласти декларацію про продуктивність, нанести маркування CE та скласти необхідну технічну документацію на свою продукцію. Забезпечити відповідність продукції декларативним характеристикам.

Регламент Європейського союзу (ЄС) № 305/2011 про будівельну продукцію набув чинності 1 липня 2011 року. Цей нормативний акт ЄС замінив собою Директиву 89/106/EE. Для підтвердження якості та безпеки вся будівельна продукція, яка виводиться в обіг на європейський ринок, повинна відповідати вимогам Регламенту 305/2011. У Мінрегіоні триває робота над розробкою підзаконних нормативно-правових актів, які мають імплементувати у національне законодавство європейський Регламент 305/2011 щодо будівельної продукції.

У ЄС діють конкретні правила, вимоги та методи оцінки відповідності до будівельних виробів та конструкцій, що виробляється або ввозяться на територію ЄС. Такі дані вимоги встановлює Регламент ЄС № 305/2011 (Construction products (CPD/CPR)) щодо будівельних матеріалів. Під дію цих вимог підпадають всі будівельні матеріали, вироби, конструкції і їх компоненти або системи, які використовуються в зведенні будівель та споруд, монтажі і у будь-яких інших супутніх будівельних роботах. Вимоги Регламенту охоплюють критерії в частині: механічного опору і стійкості продукції, її безпеки (в тому числі, при виникненні пожежі), гігієни, охорони здоров'я та навколишнього середовища, доступності у використанні, захисту від шуму, економії енергії та використання енергоресурсів та інше. Виробники мають зберігати технічну документацію та декларацію якісних характеристик протягом 10 років після розміщення будівельної продукції на ринку.

## Розширення сфери використання АК в технології виробництва і використання автоклавного газобетону

При виконанні кладки стін з використання стінових газобетонних блоків через 3 ряди кладки виконується армування стін. При виконанні кладки стін з газобетонних блоків її армують сталлю арматурою діаметром 8-12 мм шляхом влаштуванням в стіні штраб (20×20 мм) в які розміщується арматура і заповнюється розчином через кожних 2–3 ряди кладки, а штраби виготовляються в ручну. АК діаметром 2-3 мм у вигляді сітки необхідно розглядати, як прийнятний варіант товщини арматури, яка співпадає з товщиною шва кладки.

Автоклавний газобетон, як конструкційно-теплоізоляційний матеріал, сьогодні домінує на українському будівельному ринку, як енергоефективний стіновий матеріал він витісняє традиційні високо енергозатратні на стадії виробництва та не енергоефективні на стадії експлуатації традиційні стінові матеріали (керамзитобетон, керамічну і силікатну цеглу). Доля газобетону в структурі стінових матеріалів європейських країн становить 40–60 % і має тенденції до зростання.

Загальні обсяги його виробництва в Україні до 2000 року скоротились в 12 раз, а в послідовному за рахунок будівництва нових заводів до 2021 року зросли в 46 раз і Україна, потіснивши Німеччину, за загальними обсягами виробництва 4,6 млн м<sup>3</sup> вийшла на 4 місце в Європі [13].

Сітка з АК після додаткових досліджень та внесення змін в нормативні документи може бути використана для армування зовнішніх стін, виготовлених з газобетонних блоків, цегли та стінових блоків з інших стінових матеріалів. Це сприятиме усуненню «містків» холоду та підвищенню термічного опору огорожувальної конструкції стіни. Зокрема, у склопластикового композиту теплопровідність 0,48 Вт / м · К, а в металевому в середньому — 56 Вт / м · К, різниця майже в 100 раз.

В світові практиці широке поширення отримали енергоефективні армовані газобетонні вироби, стінові панелі, плити перекриття, віконні та дверні перемички з використанням сталевих арматур, які прискорюють в рази терміни будівництва та зменшують трудомісткість і вартість будівельних робіт. Через високу повітропроникність автоклавного газобетону в армованих газобетонних виробах сталеві арматури може швидко кородувати, саме тому її поверхня обов'язково покривається антикорозійним покриттям, яке завчасно наноситься на об'ємний арматурний каркас [14].

Армовані газобетонні вироби широко виготовляються в розвинених європейських країнах, вони виготовлялись і на заводах автоклавного газобетону в колишньому СРСР, але після його розпаду на пострадянському просторі виробляються виключно стінові блоки, а питома вага армованих газобетонних виробів (віконних перемичок) не перевищує 0,37 %. Оскільки питома вага малоповерхового житла (до 3-х поверхів) в Україні наближається до 50 %, а в розвинених країнах становить 75-95 %, тому по аналогії з країнами ЄС виробництво багатогабаритних газобетонних конструкцій з часом займе свою нішу, оскільки це суттєво зменшує тривалість будівництва та його вартість.

В роботі [15] наведені дані про позитивні результати випробовування АК при армуванні автоклавних газобетонних виробів за умови застосування арматури композитної та певних виду полімерного в'язучого. Для перевірки таких обнадійливих результатів нами були проведені промислові випробовування склопластикової арматури Харківської компанії IMPERATYV в промислових умовах виробництва автоклавних газобетонів компанії Аерок [16]. Була використана АК для армування газобетонних віконних перемичок. Перемички пропарювались в промисловому автоклаві при температурі 200 °С по стандартному режиму в середовищі перегрітої пари і надлишкового тиску 12-14 атмосфер. Промислове випробовування показало не придатність АК для армування автоклавного газобетону. Цілком очевидно, що скловолокно витримує високу температуру (+200 °С), але полімерне в'язуче (епоксидна смола) деструктує і втрачає міцність.

**Вироби з АК як «гнучкі зв'язки».** АК успішно використовується при влаштуванні багат шарових зовнішніх стін (несуча стіна - шар утеплювача - облицювання) з використанням керамічних, бетонних, газобетонних блоків, цегли та утеплювача. При утепленні цегляних стін стандартними мінераловатними плитами, плитами з пінополістиролу використовуються «гнучкі зв'язки» які з'єднують внутрішню несучу стіну з зовнішнім облицювальним шаром в конструкціях будівель різного призначення. Основна функція «гнучкого зв'язку» – з'єднання внутрішньої частини стіни через [утеплювач](#) (або повітряний проміжок) з зовнішньою облицювальною частиною стіни (рис. 6).



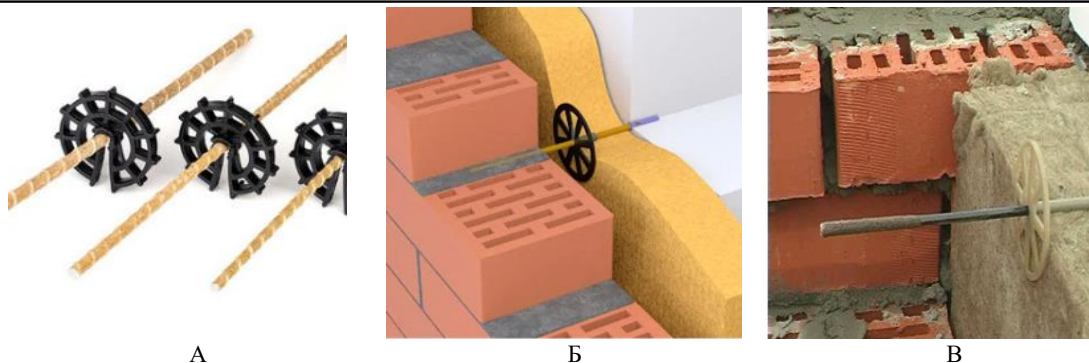


Рисунок 6 – Фрагмент «гнучкого зв'язку» з АК та утеплення стіни: А – «гнучкий зв'язок»; Б і В – трьохшарова стіна з прошарком утеплювача.

Така конструкція стіни сьогодні використовується для малоповерхового нового будівництва та утеплення застарілого житлового фонду оскільки в Україні суттєво зросли вимоги до термічного опору огорожувальних конструкцій з введенням в дію ДБН В.2.6-31:2016.

Приведена конструкція стіни (рис. 6 А) є альтернативою поширені «колодязеві кладці» з прошарком повітря, або заповненням колодця сипучим утеплювачем чи піноізолом.

В Україні застосування композитної арматури поки що обмежене. Немає жодної великої будівельної компанії, яка масштабно використовує АК в будівництві. А виробництвом неметалевої композитної арматури виготовляє ряд середніх та малих підприємств.

Переважно рекомендується застосовувати АК в плитних та стрічкових фундаментах малоповерхових індивідуальних будинків, де діють незначні навантаження на фундамент. Використання поперечної арматури в таких фундаментах, як правило, необхідне тільки з огляду на конструктивні вимоги (відсутні поперечні навантаження). Якщо, згідно з розрахунками необхідно виконувати армування стиснутої зони, а також застосовувати поперечне армування, то в елементах з неметалевою композитною арматурою слід застосовувати сталеву арматуру відповідно до вимог [17].

Таким чином застосування АК охоплює увесь спектр індивідуального малоповерхового будівництва. Рекомендується використовувати АК в конструкціях, що постійно перебувають у зоні підвищеної вологості та контакті з морською водою (дамби, пірси, хвилеломи, смуги берегоукріплень, очисні споруди, колодязі, колектори, канали, фонтани, басейни, резервуари). Доцільно її використовувати при армуванні дорожніх покриттів, в сейсмоактивних зонах, на об'єктах, що експлуатуються в умовах підвищеної вібрації (атомні й гідроелектростанції, мости та ін.), в каналах водовідведення, каналізації і меліорації.

У залізобетонних конструкціях повсюдно замінити сталеву арматуру АК неможливо. Через існуюче співвідношення цін зі сталеву арматурою застосування АК доцільно та ефективно лише у разі необхідності використання таких її властивостей, якими сталеву арматуру не володіє. Насамперед йдеться про хімічну стійкість, радіопрозорість, низьку теплопровідність.

## Висновки

В Україні в останні роки розроблена нормативна база, введені в дію в усіх регіонах країни підприємства-виробники АК. До основних переваг АК слід віднести високу міцність, невелику вагу, корозійну стійкість, хімічну і магнітну інертність, низьку вартість (для деяких видів АК).

До основної перепони використання АК, в порівнянні зі сталеву, є в 3–4 рази нижчий її модуль пружності, що приводить до обмеження її використання. Через відсутність текучості АК при її розтягуванні відбувається зниження граничного навантаження армованого згинального бетонного елемента без попередньої напруги не тільки по другій групі граничних станів, але і по першій. При розтягуванні конструкції в АК відсутній майданчик текучості тому руйнування носить крихкий характер. Також АК неможливо зварювати та згинати, її розрізання виконуються з використанням болгарки.

У залізобетонних конструкціях повсюдно замінити сталеву арматуру композитною неможливо. Через існуюче співвідношення цін зі сталеву арматурою застосування АК доцільне та ефективно у разі необхідності використання її властивостей, якими сталеву арматуру не володіє. У першу чергу йдеться про хімічну стійкість до корозії, радіо прозорість. Має місце обмеження використання АК через відносно низьку її термостійкість (120–170 °С).

Загострення та незворотність необхідності зменшення викидів парникових газів та енергоспоживання, введення в дію СВМ послужить додатковим поштовхом в сторону збільшення

обсягів використання АК в житловому, промисловому та дорожньому будівництві, що підтверджується досвідом розвинених країн світу.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Composite Rebar Market Has Been Evolving in 2022 New Trends to Consider| No of pages 134.
2. Опыт использования композитных полимерных материалов в мостостроении / Под ред. Ю.М. Митрофанова // Мостостроение мира. – 2000. – № 2. – С. 3-48.
3. Олех В. В. Неметалева композитна склопластикова арматура як будівельний матеріал майбутнього. «Сучасні технології та методи розрахунку в будівництві», випуск 5, 2016. – С. 67-73.
4. Анализ рынка композитной арматуры. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://megaplast.msk.ru/analiz-rynka-kompozitnoj-armatury/>.
5. Попруга Д. В. Використання склопластикової композитної арматури в згинальних елементах виготовлених з бетонів на відходах гірничо-збагачувальних комбінатів. Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг: КНУ, 2017. – Випуск 44. – С. 147-150.
6. ДСТУ Н Б В.2.6-185. Настанова з проектування та виготовлення бетонних конструкцій з неметалевою композитною арматурою на основі базальто- і склоровінгу. – К. : Мінрегіонбуд України, 2012. – 28 с.
7. Воскобийник С.П. Особливості армування фундаментів неметалевою композитною арматурою. Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. Вип. 1 (46). – 2016. – ПолтНТУ. –С. 174-180.
8. Окольников Г.Э., Герасимов С.В. Перспективы использования композитной арматуры в строительстве // Строительство и архитектура. 2015. № 3. С.14–21.
9. Новинки рынка строительных материалов: композитная арматура/ Строительство, ремонт, дом и дача RMNT.RU [Электронный ресурс]// URL: <https://www.rmnt.ru/story/wall/683926.htm> (дата последнего обращения 20.11.2019).
10. Фролов, Н.П. Стеклопластиковая арматура и стеклопластбетонные конструкции / Н.П. Фролов. - М.: Стройиздат, 1980. - 104 с.
11. Автоматическая обвязка Rebar машины строительный инструмент Rebar Tier Электронный ресурс. Режим доступа: [https://ru.made-in-china.com/co\\_chinacoalintl/product\\_Automatic-Rebar-Tying-Machine-Construction-Tools-Rebar-Tier-Gun-Price\\_eoiiyhgyy.html](https://ru.made-in-china.com/co_chinacoalintl/product_Automatic-Rebar-Tying-Machine-Construction-Tools-Rebar-Tier-Gun-Price_eoiiyhgyy.html).
12. Сердюк В.Р., Рудченко Д.Г. Зростання обсягів виробництва та сфери використання газобетонних блоків. Вісник ВПІ. 2021. № 5. –С.7–18.
13. ДСТУ-Н Б В.2.7-308:2015 Настанова з виготовлення виробів з ніздрюватого бетону. Мінрегіон України 2016. Київ. 52с.
14. Пономарев А.В. Применение композитной арматуры в изделиях из АГБ. Материалы VI НПК «Современный автоклавный газобетон», Москва февраль 2022 г - С.110-113.
15. Рудченко Д.Г., Сердюк В.Р. О возможности использования композитной арматуры в технологии производства и использования автоклавного газобетона. Журнал «Будівельні матеріали та вироби» 2020. №1-2. –С.8-14.
16. ДСТУ Н Б В.2.6-185. Настанова з проектування та виготовлення бетонних конструкцій з неметалевою композитною арматурою на основі базальто- і склоровінгу. – К. : Мінрегіонбуд України, 2012. –28 с.

### REFERENCES

1. Composite Rebar Market Has Been Evolving in 2022 New Trends to Consider| No. of pages 134.
2. Experience in the use of composite polymer materials in bridge construction / Ed. Yu.M. Mitrofanova // Mostostroenie mira. - 2000. - No. 2. - P. 3-48.
3. Oleh V. V. Non-metallic composite fiberglass reinforcement as a building material of the future. "Modern technologies and calculation methods in construction", issue 5, 2016. - pp. 67-73.
4. Market analysis of composite fittings. Electronic resource. Access mode: <https://megaplast.msk.ru/analiz-rynka-kompozitnoj-armatury/>.
5. Popruga D. V. The use of fiberglass composite reinforcement in bending elements made of concrete from the waste of mining and beneficiation plants. Bulletin of Kryvyi Rih National University. - Kryvyi Rih: KNU, 2017. - Issue 44. - P. 147-150.
6. DSTU N B V.2.6-185. Guidelines for the design and manufacture of concrete structures with non-metallic composite reinforcement based on basalt and glass roving. - K.: Ministry of Regional Construction of Ukraine, 2012. - 28 p.
7. Voskobiynyk S.P. Peculiarities of reinforcing foundations with non-metallic composite reinforcement. Collection of scientific papers. Series: Industrial engineering, construction. Vol. 1 (46). - 2016. - Polytechnic National Technical University. -WITH. 174-180.
8. Okolnikova G.E., Gerasimov S.V. Prospects for the use of composite reinforcement in construction // Construction and architecture. 2015. No. 3. P.14–21.
9. Novelties of the construction materials market: composite fittings/ Construction, repair, home and cottage RMNT.RU [Electronic resource]// URL: <https://www.rmnt.ru/story/wall/683926.htm> (date of last access 20.11.2019).
10. Frolov, N.P. Glass-plastic reinforcement and glass-plastic concrete structures / N.P. Frolov. - Moscow: Stroyizdat, 1980. - 104 p.
11. Filantropova V.A., Sham P.I. About atmospheric air pollution by ferrous metallurgy enterprises. Bulletin of the Azov State Technical University, 2001. Issue No. 11.-S.1-4.
12. Automatic strapping of Rebar machines строительный инструмент Rebar Tier Electronic resource. Access mode: [https://ru.made-in-china.com/co\\_chinacoalintl/product\\_Automatic-Rebar-Tying-Machine-Construction-Tools-Rebar-Tier-Gun-Price\\_eoiiyhgyy.html](https://ru.made-in-china.com/co_chinacoalintl/product_Automatic-Rebar-Tying-Machine-Construction-Tools-Rebar-Tier-Gun-Price_eoiiyhgyy.html).
13. Serdyuk V.R., Rudchenko D.G. Growth in production volumes and areas of use of aerated concrete blocks. VPI Bulletin. 2021. No. 5. – P.7–18.
14. DSTU-N B V.2.7-308:2015 Guidelines for manufacturing products from aerated concrete. Ministry of Regions of Ukraine 2016. Kyiv. 52 p.

15. Ponomarev A.V. The use of composite fittings in AGB products. Materials VI NPK "Modern autoclaved aerated concrete", Moscow February 2022 - P.110-113.
16. Rudchenko D.G., Serdyuk V.R. About the possibility of using composite reinforcement in the technology of production and use of autoclaved aerated concrete. Magazine "Building materials and products" 2020. No. 1-2. - P.8-14.
17. DSTU N B V.2.6-185. Guidelines for the design and manufacture of concrete structures with non-metallic composite reinforcement based on basalt and glass roving. - K.: Ministry of Regional Construction of Ukraine, 2012. -28 p.

**Сердюк Василь Романович** – д.т.н., професор кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, e-mail: vasromvs@gmail.com. ORCID: 0000-0002-2284-7371.

**Антонюк Олександр Миколайович** – магістр кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, e-mail: profwind1985@gmail.com

**Антонюк Тетяна Сергіївна** – магістр кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, e-mail: profsmeta2010@ukr.net

**V. Serdyuk  
O. Antonyuk  
T. Antonyuk**

## COMPOSITE REINFORCEMENT IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY: TRENDS OF EXPANDING USE

Vinnitsia National Technical University

*Scientific and technical progress largely ensures the production and use of new effective building construction materials with predetermined properties. The article considers the prospects of using a relatively new modern material in construction - composite reinforcement (AC), which has a number of advantages compared to traditional metal reinforcement and at the same time is characterized by properties that limit its use in the production technology of modern concrete structures. In connection with a number of circumstances associated with the expansion of the operating conditions of reinforced concrete structures in highly aggressive environments, where it is difficult to ensure the corrosion resistance of steel reinforcement, composite reinforcement is used. The prospects of using composite reinforcement in ensuring the dielectric properties of some products and structures are shown. The global experience of using AK is summarized, the modern regulatory framework for its use in modern construction is given. It is shown that the use of AK on a par with steel reinforcement according to current standards regarding mechanical, technological and operational properties is sufficient to solve the vast majority of construction tasks. Reasons for the expansion of the use of composite reinforcement, taking into account the high energy intensity of traditional steel reinforcement and the inevitability of reducing greenhouse gas emissions in accordance with Ukraine's international obligations, are given.*

**Keywords:** composite armature, energy intensity, properties, relevance, growth of use.

**Serdyuk Vasylyl** – Ph.D., professor of the Department of Construction, Urban Management and Architecture, Vinnitsia National Technical University.

**Antonyuk Oleksandr** – Master of the Department of Construction, Urban Management and Architecture, Vinnitsia National Technical University.

**Antoniuk Tetyana** – Master of the Department of Construction, Urban Management and Architecture, Vinnitsia National Technical University.