

ЕТАПИ РОЗВИТКУ БЕТОНУ ТА ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

Галина ГЕТУН¹, Ірина БЕЗКЛУБЕНКО², Вікторія КОШЕВА³, Інна КОШЕВА⁴

^{1,2,3,4}Київський національний університет будівництва і архітектури
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037

¹galinagetun@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0002-3317-3456>

²i.bezklubenko@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-9149-4178>

³vikk-ko@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0002-6178-8837>

⁴kosheva.inna@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0001-8224-3759>

Анотація. Наразі використання бетону та залізобетонних конструкцій у будівництві є загальноприйнятим. Їх широке використання стало можливо завдяки надбанню інженерів та архітекторів минулих століть. Авторами розглянуті основні визначальні етапи розвитку бетонних і залізобетонних конструкцій та їх широка популяризація в світі. Наданий послідовний історичний огляд розвитку конструктивних форм із залізобетону в житлових і нежитлових будівлях. На чисельних прикладах проілюстрований шлях розвитку залізобетонних конструкцій – від стояково-балкових систем до криволінійних просторових форм.

Розглянуті роботи визначних інженерів-будівельників та архітекторів: Ф. Геннебіка, М. Кенена, О. Перре, Р. Майяра, Д. Мате-Трукко, В. Бонаде Боттіно, Р. П'яно, Е. Фрессіне, М. Берга, Г. Трауера, Е. Торроха, П. Луїджі Нерві та ін. [2, 13, 15].

В статті проаналізований розвиток архітектури, будівельних конструкцій і технологій будівництва у вирішальних фазах історичного розвитку на основі використання методу архітектурних досліджень, який базується на аналізі об'єктивних ознак будівель та споруд, а саме їх функціональних призначеннях і конструктивних можливостях. Досліджені визначальні етапи впровадження та широкого використання монолітного залізобетону та залізобетонних конструкцій в практику проектування та будівництва.



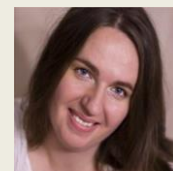
Галина ГЕТУН

професор кафедри архітектурних конструкцій
к. т. н., доцент



Ірина БЕЗКЛУБЕНКО

доцент кафедри інформаційних технологій та прикладної математики,
к. т. н., доцент



Вікторія КОШЕВА

доцент кафедри архітектурних конструкцій,
к. т. н., доцент



Інна КОШЕВА

асистент кафедри теоретичної механіки

Узагальнений досвід проектування і будівництва унікальних споруд з великопрогоновими покриттями, прослідкований пошук раціональних конструктивних рішень, надані рекомендації для подальшого перспективного розвитку залізобетонних конструкцій.

Ключові слова. Монолітний залізобетон; залізобетонні конструкції; каркасно-монолітні будівлі; об'єкти будівництва; тонкостінні оболонки; купольні покриття; армоцемент; тонкостінне склепінчасте покриття; асиметричні поверхні.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Сучасна архітектура і будівництво має глибокі корені, які виходять з досягнень минулих сторіч. Історія розвитку архітектури і будівництва складається з цілого ряду вирішальних факторів. Поштовхом до пошуків нових форм будівель і споруд та розвитку нового розуміння простору стала поява нових конструктивних матеріалів і пов'язаних з ними нових технологій будівництва. Одночасно з цим архітектура і будівництво розвивалося під впливом потужних соціальних факторів, які визначали не лише мислення і діяння ведучих архітекторів та інженерів, але і нові напрями в будівництві.

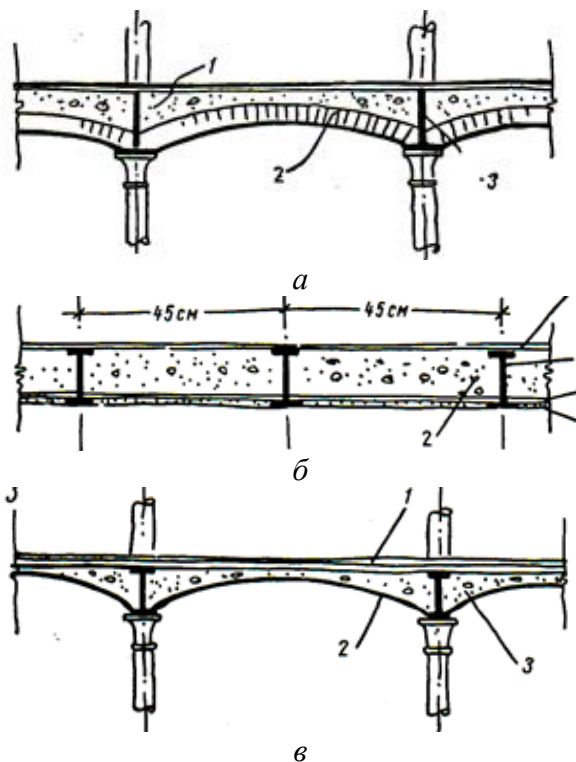
Потужним стимулом розвитку сучасної архітектури і будівництва стали нові будівельні матеріали і конструкції та гуманістичні принципи будівництва. Пошуки нових виразних форм визначаються творчими поєднаннями художніх задумів архітекторів та інженерів і можливостями нових будівельних матеріалів. Замість природних матеріалів – дерева і каменю, в будівництво в XIX ст. увійшли сталь і залізобетон, алюміній та скло. Вирішальними факторами стали зміни у постановках проблем формоутворення. Форма будівлі або споруди перестала бути домінуючим фактором, який підпорядковував інші елементи споруд. В усі часи розвитку архітектури і будівництва у змаганнях між творчістю архітекторів і мисленням інженерів лежали суперечності між технічними можливостями і людськими потребами. Архітектура сучасних будівель і споруд довела, що в результаті раціонального використання технічних засобів можна створювати нові цінності, а художня творчість і технічне мислення не повинні суперечити один одному [1, 8, 11].

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Бетон широко використовувався будівельниками Стародавньої Римської імперії, але у середні віка він втратив своє значення основного будівельного матеріалу. Розвиток бетону і залізобетону пов'язаний з трьома важливими подіями: повторне «відкриття» бетону, виробництво штучного цементу і використання чавуну і сталі в будівництві [4, 9, 15].

Вперше повторно бетон був використаний в 1760 р. видатним англійським інженером Джоном Смітсоном для спорудження одного із шлюзів на річці Колдер [6, 13]. В цьому проєкті тришарові стінки шлюзу були виконані з двох зовнішніх шарів каменю і проміжку між ними, заповненого бетоном, який складався з розчину із гідравлічного вапна з мергелей і пуцолану, дрібного гравію, піску і води. Приблизно з 1835 р. бетон починають використовувати при спорудженні основ і фундаментів у Франції. Другим «відкриттям» стала розробка технологій виготовлення міцних штучних цементів, необхідних для зв'язування заповнювачів для бетонів. Саме інженер Джон Смітсон відзначив у своїх роботах, що суміш вапна і глини, взятих у визначених співвідношеннях, після випалювання надає розчинам сильні зв'язувальні властивості, а тому рекомендується для використання в гідротехнічних спорудах. На основі робіт англійських інженерів Паркера, який започаткував у 1796 р. «романцемент», Віка, який у 1813 р. випалював різні сорти глини і гашеного вапна, у 1843 р. з'явився «портландцемент» Уільяма Аспдіна, зразки якого отримали у 1851 р. призначені на Всесвітній виставці в Лондоні та були запатентовані. У 1845 р. в результаті тривалих досліджень Ісаак Чарльз Джонсон також відкрив секрети непатентованого на той час портландцементу – доведення суміші вапна і глини до спікання, а потім розмелювання такого клінкера. Введення цього удосконалення у виробництво остаточно переконало в перевагах портландцементу і його почали виробляти як в Англії так і в інших країнах світу. Встановлена Джонсоном необхідність

доводити випалювання портланд-цементного клінкеру до спікання є тепер обов'язковою вимогою стандартів для всіх країн, які виробляють цемент. Третьою важливою подією, яка обумовила відкриття залізобетону, було впровадження в будівництво чавуну. Вже на початку XIX ст. у Великобританії з'явилися будівлі з каркасами з чавунних колон і балок, виготовлених із зварювального заліза. У 1801 р. шотландський інженер Джеймс Уатт і підприємець Меттью Болтон використали бетон в перекриттях по цегляних склепіннях бавовняної фабрики Філіппа і Лі у Манчестері-Солфордї (рис. 1,



а). У 1829 р. англійський інженер-будівельник Чарльз Фокс запроєктував міжповерхове бетонне перекриття армоване металевими балками (рис. 1, б). Інженер з Манчестера Вільям Ферберн у 1845 р. сконструював міжповерхові перекриття промислової будівлі, які склалися з двотаврових балок із зварювального заліза, з'єднаних зверху металевими зв'язками, а внизу склепінчастими металевими листами, на які укладався шар бетону (рис. 1, в). Ця конструкція вже частково передбачала принципи сумісної роботи заліза і бетону, тобто залізобетону [14].

Рис.1. Приклади раннього використання заліза і бетону в міжповерхових перекриттях промислових будівель Великобританії: а – інж. Джеймс Уатт і Меттью Болтон, 1801 р.; б – інженер-будівельник Чарльз Фокс, 1829 р.; в – інж. Вільям Ферберн, 1845 р.

Fig.1. Examples of early use of iron and concrete of industrial buildings in Britain: а – James Watt and Matthew Bolton, 1801; б – Charles Fox, 1829; в – William Fairburn, 1845

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Поява залізобетону у другій половині XIX ст. пов'язують з бурхливим зростанням промисловості, транспорту і торгівлі та необхідністю будівництва нових фабрик, заводів, портів, вокзалів та інших капітальних споруд. У цей час була вже розвинута цементна промисловість і чорна металургія і досвід будівництва з каменю, цегли, неармованого бетону, дерева і металу. Прийнято вважати, що першим виробом із залізобе-

тону був човен, споруджений Жан-Луї Ламбо у Франції в 1854 році, в якому поєднані металевий каркас і цементно-піщаний розчин, та патент на залізобетон, отриманий ним у 1855 р.

У другій половині XIX ст. одночасно декілька дослідників почали використовувати **залізобетон** – композитний будівельний матеріал, що являє собою бетон підсилений сталевією арматурою. У 1854 р. англійський спеціаліст по штукатурних роботах і виготовленню штучного каменю Вільям Уілкінсон винайшов і запатентував конструкцію

вогнестійкого перекриття будівлі, яка складалася із залізних тросів, розташованих з визначеним кроком і залитих бетонною сумішшю. В 1855 р. француз Франсуа Куаньє запатентував у Франції і Великобританії спосіб виготовлення бетону, який він назвав «*beton agglomeré*». В своїй роботі «Використання бетону в будівництві» Ф. Куаньє відмічає, що армування бетону металевими стрижнями підвищує його міцність і несучу здатність. У 1862 р. інженер з Лондона М. Аллен запатентував систему залізобетонних перекриттів і сходів, в і 1865 р. інж Ф. Ренсон запроєктував бетонні балки армовані каркасами із смуг шинного заліза, які були удосконалені та запатентовані в 1867 р. інж. Х. І. Б. Скоттом. І лише у 1867 р. французький підприємець у галузі садівництва Жозеф Моньє отримав свій перший

патент у Франції на конструкції садових діжок для рослин з використанням цементу. Всесвітні виставки 1867 і 1879 років надали можливість широкого ознайомлення будівельників з роботами Ж. Моньє – ємності для рослин з дротяних сіток, обмазані з обох боків цементно-піщаним розчином. У 1880 роках патенти на використання залізобетону були продані до Німеччини, Австрії та Росії, а в ХХ ст. залізобетон став найпопулярнішим матеріалом у будівництві [4, 5, 7].

Особливе значення для подальшого розповсюдження залізобетону мали роботи французького інженера Франсуа Геннебіка, який популяризував залізобетон [14]. У 1892 році він запропонував нову систему каркасних будівель із залізобетонними монолітними ребристими перекриттями (рис. 2).

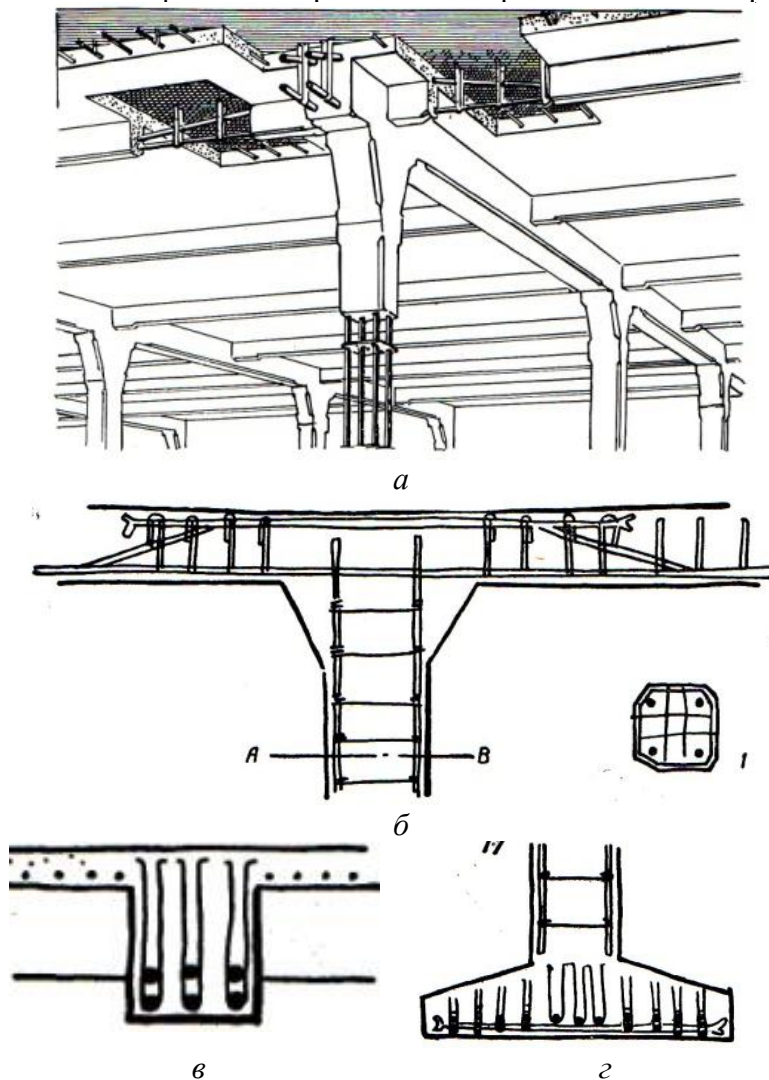


Рис. 2. Система каркасної монолітної будівлі з ребристими перекриттями Ф. Геннебіка, 1892 р.:

a – аксонометричне зображення;

б – стикування колони з головною балкою;

в – стикування головної балки з плитою;

г – стикування колони з фундаментною плитою

Fig.2. System of frame monolithic building with ribbed floors by F. Gennebik, 1892:

a – axonometric image;

b – joining the column with the main beam;

c – joining the main beam with the plate;

d – joining of a column with a base plate

Ф. Геннебік вперше почав використовувати металеві стрижні круглих перерізів, які можна згинати, об'єднувати та укріплювати хомутами для сприйняття місцевих напруг і надав приблизні формули для розрахунків залізобетонних конструкцій.

З 1892 до 1899 років у Франції за його проектами було реалізовано понад 300 об'єктів з використанням монолітного залізобетону. В 1900 році на Всесвітній виставці в Парижі Ф. Геннебік спромігся досягти загального і відкритого визнання залізобетону та його можливостей. Його залізобетонні споруди з 10-ти метровими прогонами, триметровими консолями, гвинтові сходи з консольним спіранням викликали довіру до нового матеріалу та підвищували попит на ринку будівельних матеріалів як у Франції так і в інших країнах.

Теорія розрахунків залізобетонних конструкцій створювалася одночасно з його впровадженням у практику будівництва. У 1886 році німецький інженер М. Кенен розробив перший спосіб розрахунків залізобетонних конструкцій.

Перші нормативні матеріали по проектуванню і розрахунку залізо-бетонних конструкцій з'явилися у 1904 році у Німеччині, у 1906 році у Франції та у 1908 році у Росії.

Значну роль у впровадженні залізобетону в будівництво, не лише як конструктивного елемента, але як матеріалу який впливає на формоутворення, належить французькому архітектору Огюсту Перре.

В 1903 р. за його проектом на вул. Франкліна в Парижі споруджують житловий будинок з монолітним залізобетонним каркасом, в якому поєднані досягнення науки, інженерії, архітектури, нові масштаби і стандарти сприйняття сучасної архітектури (рис. 3). Залізобетонний каркас восьмиповерхової будівлі дав можливість запроєктувати вільні планувальні рішення на всіх поверхах: на першому поверсі використати суцільне застління для приміщень проектного бюро, на шести житлових поверхах – еркери, які виступають з площин фасадів, на плоскому покритті верхнього поверху – створити терасу і розбити сад, освітити сходову клітку новим світлопрозорим матеріалом – склоблоками. Несучий залізобетонний каркас відкритий на фасадах став частиною архітектури будівлі, створив враження динамічної пластики архітектурного об'єму і став домінантою композиційного рішення будівлі (рис. 3).

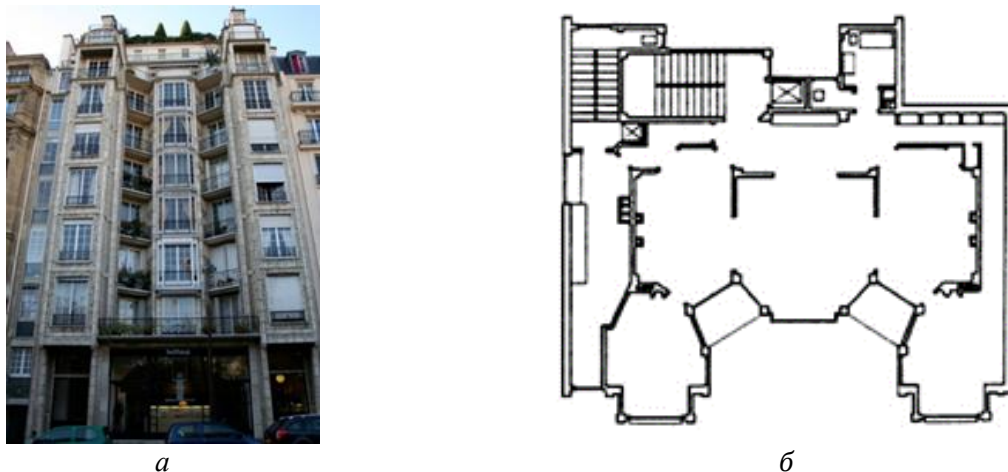


Рис. 3. Житловий будинок на вул. Франкліна, м. Париж, Франція, арх. О. Пере, 1903 р.:

a – фасад;
б – план

Fig. 3. Residential building on the st. Franklin, Paris, France, arch. O. Pere, 1903:

a – facade;
b – plan

Послідовник і учень Ф. Геннібіка, швейцарський інженер-будівельник Робер

Майяр (1872...1940 рр.) сформулював новий підхід до залізобетону. Він став розглядати залізобетонні плити перекриттів будівель як самостійні конструктивні елементи, здатні без балок передавати навантаження

на колони. У 1908 р. Р. Майяр розробив і запатентував систему безбалкових перекриттів, а у 1910 р. за його проектом у м. Цюріх була зведена 5-ти поверхова складська будівля з безбалковими перекриттями і грибоподібними колонами (рис. 4).



a



b

Рис.4. Складська будівля з безбалковими перекриттями, м. Цюріх, Швейцарія, інж. Роберт Майяр, 1910 р.:

a – фасад;

b – інтер'єр

Fig.4. Warehouse building with beamless ceilings, Zurich, Switzerland, eng. Robert Mayer, 1910:

a – facade;

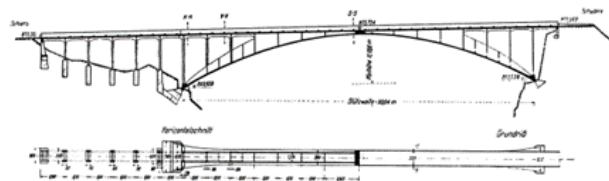
b – interior

В наступні два десятиріччя за його проектами були зведені понад два десятки мостів та інших споруд із залізобетону. Класи-

чним прикладом мостів Р. Майяра є залізобетонний арокний міст через ущелину Сальгіна в Швейцарії, споруджений у 1928...1930 роках (рис. 5).



a



b

Рис.5. Залізобетонний міст через ущелину Сальгіна, Швейцарія, інж. Роберт Майяр, 1928...1930 рр.:

a – сучасний вигляд;

b – креслення

Fig.5. Reinforced concrete bridge across the Salgin Gorge, Switzerland, eng. Robert Mayer, 1928... 1930:

a – modern look;

b – drawings

Ця гармонійна і витончена конструкція перетинає ущелину на висоті 90 м та має довжину 132,3 м, ширину 3,5 м і похил 3 гра-

дуси, понижуючись майже на 4 м. Конструктивно міст вирішений у вигляді тришарпної арки прогоном 90 м. Для економії бетону інж. Р. Майяр розробив порожнистий

переріз арки з тонкими вертикальними і горизонтальними елементами. Плита шляхового полотна формує верхню стінку порожнього перерізу арки і середній шарнір. Американське товариство інженерів-будівельників визнало міст Сальгіна пам'яткою всесвітнього значення. Триумфом можливостей монолітного залізобетону та ідей функціоналізму стало будівництво автомобільного заводу Фіат в Лінготто (1916...1923 рр.) у м. Турін в Італії (рис. 6). За проєктом інженерів Джакомо Мате-Трукко (1869...1934 рр.) та Вікторіо Бонаде Боттіно (1889...1979 рр.) була споруджена величезна п'ятиповерхова будівля з чітким розподілом за висотою функціональних процесів збирання автомобілів. Тут була найдовша виробнича лінія в Європі по збиранню автомобілів, яка проходила через 5 поверхів і приводила до тестового треку на покритті.

Найбільшим досягненням з технічної точки зору були приміщення, розміщені в торцях комплексу будівель – спіральні автомобільні пандуси (рампи), які вели до тестової траси на покритті та мали з'їзди на всіх поверхах. Монолітні залізобетонні перекриття і рампи з системою головних і другорядних балок, а на окремих ділянках з радіальним розташуванням балок, які спираються на тонкі залізобетонні колони, були розраховані на великі статичні та динамічні навантаження та відкриті в інтер'єрах (рис. 6, б). У 1982...1989 рр. за проєктом арх. Ренцо П'яно виконана реконструкція заводу – створений багато-функціональний сучасний комплекс, в якому розміщені два готелі, концертна зала, театр, торговельні пасажи, штаб-квартира автомобільної техніки факультету Політехнічного університету Туріна.



а



б

Рис.6. Завод Фіат в Лінготто, м. Турін, Італія, інж. Д. Матте-Труко і В. Бонаде Боттіно, 1916...1923 рр., арх. Ренцо П'яно, 1982...1989 рр.:

a – зовнішній вигляд;

б – автомобільна рампа

Fig. 6. Fiat plant in Lingotto, Turin, Italy, eng. D. Matte-Truco and V. Bonade Bottino, 1916...1923, arch. Renzo Piano, 1982...1989:

a – appearance;

b – car ramp

Таким чином, першими залізобетонними конструкціями будівель і споруд, після налагодження випуску портланд-цементу були фундаменти, стіни, колони, балкові та безбалкові перекриття та арки. Піз-

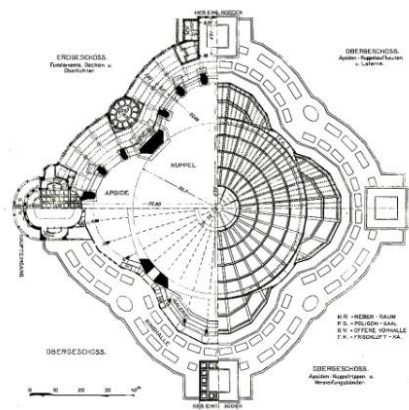
ніше з'явилися тонкостінні оболонки з меридіональними ребрами підсилення та тонкостінні оболонки з опорними контурними ребрами. Перші відомі залізобетонні суцільні оболонки були збудовані в 1910 р. на залізничній станції Ле Берсі в Парижі. Саме

завдяки розкриттю основних позитивних характерних залізобетону, сумісної роботи бетону і металу в конструкціях, де бетон забезпечує міцність на стискання, а метал чинить опір розтягувальним зусиллям, з'явилися тонкостінні оболонки з поверхнями різноманітного окреслення і кривизни – конструкції, стійкість яких визначається їх просторовою формою.

Вагомий внесок в удосконалення попередньо напружених залізобетонних конс-



a



b

Рис.7. Зала століть, м. Вроцлав, Польща, арх. М. Берг та інж. Г. Трауер, 1910...1913 р.:

a – інтер'єр;

b – план на позн. 0,000 та план конструкцій покриття

Fig.7. Hall of Centuries, Wrocław, Poland, arch. M. Berg et al.G. Trauer, 1910... 1913:

a – interior;

b – plan of late. 0,000 and a plan of coating designs

Купол будівлі діаметром 65 м радіально-кільцевої системи формується 32-ма масивними залізобетонними ребрами, які спираються нижніми кінцями на розтягнуте опорне кільце із сталевих бетонованих ферм, а верхніми кінцями – на верхнє стиснуте залізобетонне кільце діаметром 17,4 м. Нижнє опорне кільце спирається на залізобетонну стіну циліндричної форми, висотою 18 м, змінного перерізу (товщиною 5 м внизу і 2 м вверху), яка прорізана чотирма аркадами шириною 41 м і висотою 16,7 м. Для сприйняття розпору і запобігання скручуванню аркад запроєктовані абсиди, які збільшують площу будівлі – діаметр зали до 95 м.

Досвід будівництва з використанням залізобетону дозволив створювати нові

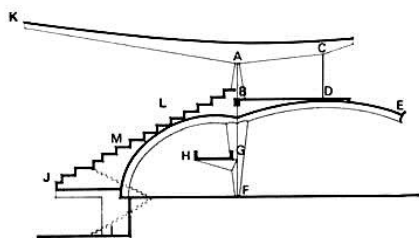
трукцій мали роботи і патенти французького інженера Ежена Фрессіне (1879...1962 рр.), який обґрунтував необхідність використання високоміцного дроту в попередньо напружених конструкціях для протидії ефектам повзучості та релаксації залізобетону [3, 10].

Першою будівлею з купольним покриттям із залізобетону була «Зала століть» (1911...1913 рр.) у м. Вроцлав, Польща, арх. М. Берг та інж. Г. Трауер (рис. 7).

тонкостінні конструкції покриттів будівель з великими прогонами [2, 5]. В 1928...1934 рр. у Франції та Італії з'являються залізобетонні оболонки різноманітних форм, в тому числі з від'ємними гаусовими кривизнами. Спочатку їх використовували переважно в промислових будівлях для перекриттів з великими прогонами виключно внаслідок інженерно-економічних переваг – зменшення товщини і ваги покриття. Першим відкриває архітектурні можливості нових конструкцій іспанський інженер Едуардо Торрохо (1899...1961 рр.). Протягом 1933...1935 рр. за його проектами в Мадриді споруджені три будівлі, які стали прикладами органічного поєднання ефективних просторових тонкостінних залізобетон-

них конструкцій, нових об'ємно-планувальних рішень і виразних архітектурних форм:

1) критий ринок в м. Альхесірас із сферичним пологим куполом діаметром 47,6 м товщиною 90 мм, який спирається на нижнє опорне залізо-бетонне кільце попередньо напружене сталевими тросами, та вісім залізобетонних колон (рис. 8, *a*);

*a**б*

2) трибуни іподрому Сарсуела в м. Мадрид з хвилястоподібним навісом у вигляді гіперболоїдів з виносом консоли на 12,8 м і товщиною оболонки біля зовнішнього краю 50 мм (рис. 8, *б, в*); 3) покриття спортивної зали «Фронтон Ріколетос» у Мадриді вигляді двопроговової довгої циліндричної оболонки (рис. 8, *г*) [12].

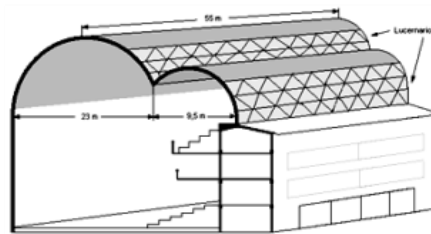
*б**г*

Рис.8. Споруди з просторовими тонкостінними залізобетонними покриттями в Іспанії, арх. Е. Торроха, 1933...1936 рр.:

a – критий ринок, м. Альхесірас;

б, в – трибуни іподрому, м. Мадрид;

г – покриття спортивної зали «Фронтон Ріколетос», м. Мадрид

Fig.8. Buildings with spatial thin-walled reinforced concrete coatings in Spain, arch. E. Torroha, 1933... 1936:

a – covered market, Algeciras;

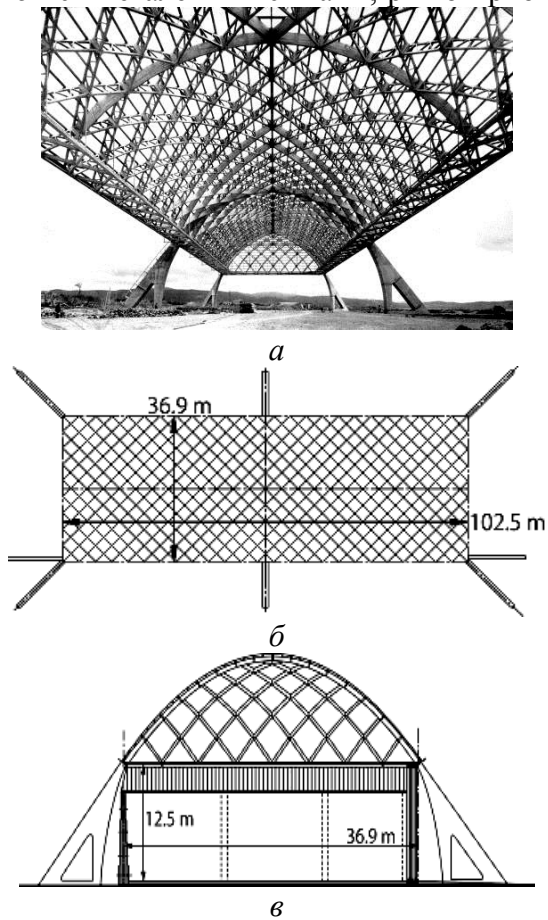
b, c – the stands of the racetrack, Madrid;

d – coverage of the gym "FrontonRicoletos», Madrid

У 1930-х роках в Європі та Америці почався розвиток виробництва збірних залізобетонних елементів для зведення будівель. Одним з перших збірні залізобетонні конструкції почав використовувати італійський інженер П'єр Луїджі Нерві (1891...1979 рр.). В шести ангарах для військових літаків зведених у м. Орбетелло в Італії у 1940...1941 роках були використані збірні залізобетонні гратчасті елементи з розмірами 900x3000 мм для просторових сітчастих покриттів (рис. 9). В кожному вузлі чотири таких елементи з'єднувалися електрозварюванням випусків арматури і бетону-

ванням вузлів. Таким чином, вся конструкція покриття довжиною 102,5 м, шириною 36,9 м і висотою 22,5 м була збірно-монолітною, а основними її несучими елементами була діагональна сітка із параболічних залізобетонних гратчастих арок, які спиралася на опорне залізобетонне кільце з гратчастих балок і шість опор. Після закінчення другої світової війни інж. П. Л. Нерві продовжує створювати оригінальні конструкції великопрогонових покриттів будівель з використанням збірних залізобетонних і армоцементних конструкцій. **Армоцемент** – вид цементно-піщаного бетону, армований сітками з

тонкого дроту з чарунками 10 x 10 мм. Армоцементні конструкції товщиною до 30 мм армуються металевими сітками, рівномірно



розподіленими по перерізах елементів у поєднанні із стрижневою робочою арматурою.

Рис.9. Ангар для літаків, м. Орбетелло, Італія, інж. П. Л. Нерві, 1940...1941 рр.:

a – зовнішній вигляд;
б – схема плану;
в – схема розрізу

Fig.9. Aircraft hangar, Orbetello, Italy, eng. P.L. Nervi, 1940...1941:

a – appearance;
b – scheme of the plan;
c – the scheme of a section

У 1948...1949 роках П. Л. Нерві вперше перекриває тонкостінним склепінчастим покриттям параболічного окреслення прогоном 96,1 м із збірних армоцементних елементів головну залу виставкового павільйону в м. Турін (рис.10). Покриття зали складається із збірних армоцементних шкаралупчастих елементів 4,2 x 2,5 м товщиною до 40 мм з ліхтарними прорізами і стилями з монолітного бетону (рис. 11).

На кожен нахилений залізобетонний стовп з віялоподібною капітеллю спираються три складки. До прямокутної в плані зали приєднується з торця апсида діаметром 40 м з півкупольним збірно-монолітним покриттям з тонких армоцементних ромбоподібних плит товщиною 20 мм, з'єднаних між собою монолітним бетоном. У наш час в цій виставковій залі проводять регулярні будівельні виставки в Туріні.

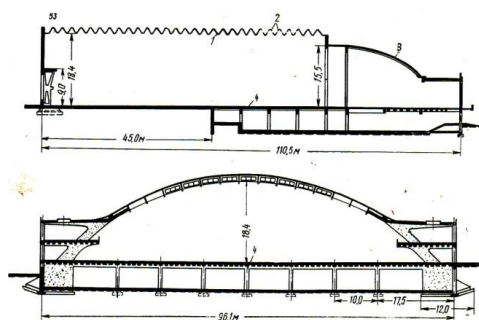


Рис.10. Виставкова зала, м. Турін, Італія, інж. П. Л. Нерві, 1948 р.: поздовжній розріз та поперечний розріз

Fig.10. Exhibition Hall, Turin, Italy, Eng. PL Nervi, 1948: longitudinal section and cross section

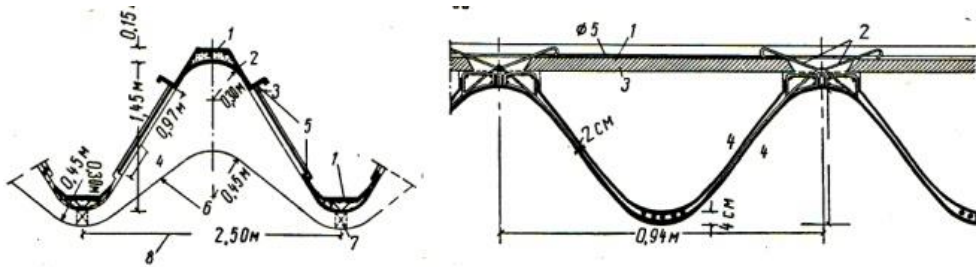
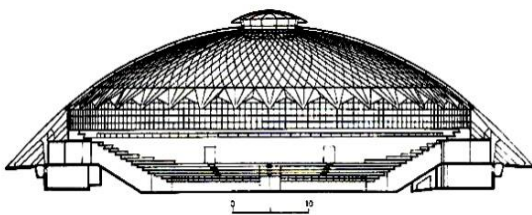


Рис.11. Конструкції покриттів із збірними армоцементними хвилястими елементами інж. П. Л. Нерві, Італія

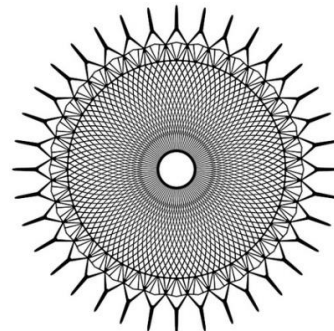
Fig.11. Constructions of coatings with prefabricated reinforced cement corrugated elements eng. PL Nervi, Italy

В подальшому система збірно-монолітних конструкцій дозволила П. Л. Нерві використовувати складчасті збірні армоцементні елементи в комбінації із збірними плоскими плитками і монолітним залізобетоном (рис. 10, б). В порожнинах таких конструкцій покриття почали прокладати комунікації. Залізобетонні складки в покриттях зальних приміщень отримали широке розповсюдження через свою економічність [3].

Технічні, просторові та художні можливості тонкостінних конструкцій із збірних армоцементних елементів яскраво виявлені в спорудах П. Л. Нерві для Всесвітньої спортивної олімпіади 1960 р. в Римі. Особливо виразним є купольне покриття Малуго палацу спорту (Палаццето), спорудженого в 1957...1959 рр. (рис. 12).



a



b

Рис.12. Малий палац спорту, м. Рим, Італія, інж. П. Л. Нерві, 1957...1959 рр.:

a – розріз;

b – план покриття

Fig.12. Small Palace of Sports, Rome, Italy, Eng. P. L. Nervi, 1957... 1959:

a – incision;

b – coverage plan

Збірно-монолітний купол Палацу спорту діаметром 60 м і висотою 18 м спирається на нахилені опори з монолітного залізобетону, а горизонтальні розпірні навантаження сприймає попередньо напружене кільце стрічкового фундаменту. В інтер'єрі кесонова поверхня куполу, створена збірними армоцементними тонкостінними ви-

гну-тими плитами, які виконали роль опалубки для верхнього шару монолітного залізобетону. Відкриті конструкції збірних елементів створюють вражаючу кесонову поверхню всередині з різним розташуванням ребер кесонів біля нахилених опор і верхнього стиснутого монолітного залізобетонного опорного кільця. Коли оболонки

правильного геометричного окреслення перестали дивувати своєю новизною, у інженерів і архітекторів виникло бажання створити складні асиметричні поверхні, які нагадували б форми органічної природи. Просторові залізобетонні конструкції, розроблені видатними інженерами і архітекторами в 60-ті роки, вийшли за межі свого початкового інженерно-раціонального змісту. Вони стали формою втілення нових ідей в архітектурі та будівництві. Прикладами є термінал аеропорту ім. Кеннеді, збудованого в 1962 р. за проектом арх. Е. Саарінена, К. Роша, С. Пеллі та інж. Ч. Уїтні, Б. Андерсона в Нью-Йорку (рис. 12, *а, б*) та будівля оперного театру в м. Сідней, Австралії, збудована за проектом арх. Й. Утзона в 1959...1973 рр. (рис. 13, *в*). Аеровокзал ім.

Джона Кеннеді символізує політ і за формою нагадує великого птаха з розправленими крилами (рис. 13, *а, б*). Покриття споруди утворюють чотири склепіння з монолітного залізобетону з попередньо напруженою арматурою, товщиною 180...1000 мм, що спираються на чотири величезні Y-подібні залізобетонні опори. Вся споруда нагадує гігантську парасольку, яка підіймається вгору на 15,2 м і, вигинаючись, перекриває внутрішній простір загальною довжиною 96 м, який не має чітких граней, перегородок і стін, приміщення неначе перетікають з одного в друге і символізують постійний рух. У 2005...2008 роках приміщення терміналу аеропорту були реінкорновані – перетворені на 5-ти зірковий готельний комплекс.

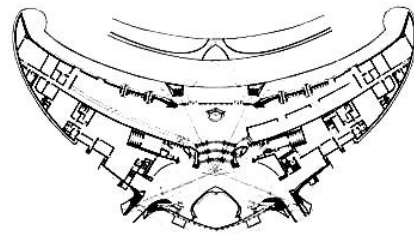
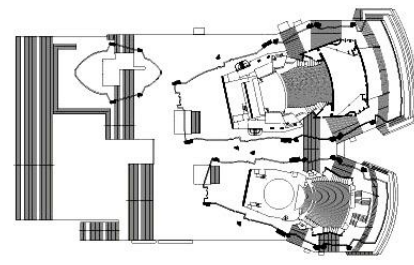
*а**б*

Рис. 13. Залізобетонні оболонки складної форми:
а – термінал аеропорту ім. Кеннеді, м. Нью-Йорк, США, 1956...1962 рр..
б – оперний театр, м. Сідней, Австралія, арх. Й. Утзон, 1959...1973 рр.

Fig. 13. Reinforced concrete shells of complex shape:
а – the terminal of the airport. Kennedy, New York, USA, 1956... 1962,;
б – Opera House, Sydney, Australia, arch. J. Utzon, 1959... 1973

ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Проаналізовані авторами етапи розвитку залізобетонних конструкцій показують широкі можливості для його практичного використання у сучасному будівництві.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Гетун Г. В.** Архітектура будівель та споруд. Книга 1. Основи проектування: Підручник для вищих навчальних закладів. – Видання друге, перероблене та доповнене / Гетун Г. В. – К.: Кондор-Видавництво. 2012. – 380 с.: іл.

2. **Гохарь-Хармандарян И. Г.**, Большепролетные купольные здания / *Гохарь-Хармандарян И. Г.* – М., *Стройиздат*, 1972, – 150 с.: ил.
3. **Голосов В. Н., Ермолов В. В., Лебедев Н. В.** и др. Инженерные конструкции: Учебник для вузов / *Голосов В. Н., Ермолов В. В., Лебедев Н. В. И др. под общ. ред. Ермолова В. В.* – М.: *Высшая школа*, 1991. – 408 с.
4. **Гуляницкий Н. Ф.** Архитектура гражданских и промышленных зданий: Учебник для вузов. В 5-ти т. Т. 1. История архитектуры / *Гуляницкий Н. Ф.* – М.: *Стройиздат*, 1984. – 334 с., ил.
5. **Дыховичный Ю. А., Жуковский Э. З., Ермолов В. В.** и др. Современные пространственные конструкции (железобетон, металл, дерево, пластмассы): Справочник / *Дыховичный Ю. А., Жуковский Э. З., Ермолов В. В.* – М.: *Высш. шк.*, 1991, –543 с.: ил.
6. **Дыховичный Ю. А.** Большепролетные конструкции сооружений «Олимпиады-80» в Москве: (конструкторский поиск, исследование, проектирование, возведение) / *Ю. А. Дыховичный.* – М.: *Стройиздат*, 1982. – 277 с.: ил.
7. **Куліков П. М., Плоский В. О., Гетун Г. В.** Архітектура будівель та споруд. Книга 5. Промислові будівлі: Підручник для вищих навчальних закладів / *Куліков П. М., Плоский В. О., Гетун Г. В.* – Кам'янець-Подільський: *Видавництво «Рута»*. 2020 р. – 820 с.: ил.
8. **Куліков П. М., Плоский В. О., Гетун Г. В.** Конструкції будівель і споруд. Книга 1: Підручник для вищих навчальних закладів / *Куліков П. М., Плоский В. О., Гетун Г. В.* – К.: *Видавництво «Ліра-К»*. 2021 р. – 820 с.: ил.
9. **Маклакова Т. Г.** История архитектуры и строительной техники. Т. 1. Зодчество доиндустриальной эпохи: Научное издание. М.: *Издательство АСВ*, 2006, – 408 с., ил., Т. 2. Современная архитектура: Научное издание. М.: *Издательство АСВ*, 2009, – 372 с., ил.
10. **Плоский В. О., Гетун Г. В.** Архітектура будівель та споруд. Книга 2. Житлові будинки: Підручник для вищих навчальних закладів. – Видання третє, перероблене і доповнене / *Плоский В. О., Гетун Г. В.* – Кам'янець-Подільський: *Видавництво «Рута»*. 2017 р. – 736 с.: ил.
11. **Плоский В. О., Гетун Г. В., Віроцький В. Д.** Архітектура будівель та споруд. Книга 3. Історія архітектури і будівництва: Підручник для вищих навчальних закладів. – Видання друге, перероблене і доповнене / *Плоский В. О., Гетун Г. В., Віроцький В. Д.* – К.: *Видавництво «Ліра-К»*, 2016 р. – 816 с.: ил.
12. **Орельская О. В.** Современная зарубежная архитектура: учебное пособие для студ. Высш. Учеб. Заведений / *Орельская О. В.* – М.: *Издательский центр «Академия»*, 2006. – 272 с., ил.
13. **Раафат Али Ахмед** Железобетон в архитектуре / *Раафат Али Ахмед.* – М.: *Стройиздат*, 1963. – 203 с.
14. **Юрген Едике** История современной архитектуры / *Юрген Едике.* – М.: *Искусство*, 1972. – 247 с.
15. **Всеобщая история архитектуры в 12 томах.** Главн. редактор Баранов Н. В. – М.: *Издательство литературы по строительству*, 1970...1977.

REFERENCES

1. **Getun G. V.** Arkhitektura budivel' ta sporud. Knyha 1. Osnovy proektuvannya: Pidruchnyk dlya vyshchyykh navchal'nykh zakladiv. – Vydannya druhe, pereroblene ta dopovnene / *Getun H. V.* – K.: *Kondor-Vydavnytstvo*. 2012. – 380 s.: il.
2. **Gokhar-Kharmandaryan I. G.**, Large-span domed buildings / *Gokhar-Kharmandaryan I. G.* – M., *Stroyizdat*, 1972, – 150 pp: ill.
3. **Holosov V. N., Ermolov V. V., Lebedev N. V.** y dr. Ynzhenernye konstruksyy: Uchebnyk dlya vuzov / *Holosov V. N., Ermolov V. V., Lebedev N. V. Y dr. pod obshch. red. Ermolova V. V.* – M.: *Vyssshaya shkola*, 1991. – 408 s.: il.
4. **Hulyanytskyu N. F.** Arkhytektura hrazhdanskykh y promyshlennykh zdanyy: Uchebnyk dlya vuzov. V 5-ty t. T. 1. Ystoryya arkhytektury / *Hulyanytskyu N. F.* – M.: *Stroyyzdat*, 1984. – 334 s., yl.
5. **Dykhovichny Y. A., Zhukovsky E. Z., Ermolov V. V.** et al. Modern spatial structures (reinforced concrete, metal, wood, plastics): Handbook / *Dykhovichny Y. A., Zhukovsky E. Z., Ermolov V. V.* – M.: *Higher. school*, 1991, –543 p.: ill.
6. **Dykhovychnyy Y. A.** Bol'sheproletnye konstruksyy sooruzhenyy «Olympyady-80» v Moskve: (konstruktorskyu poysk, yssledovanyya, proektyrovanye, vozvedenye) / *Y.A. Dykhovychnyy.* – M.: *Stroyyzdat*, 1982. – 277 p.: ill.
7. **Kulikov P. M., Plosky V. O., Getun G. V.** Architecture of buildings and structures. Book 5.

Industrial buildings: A textbook for higher education / Kulikov P.M., Plosky V.O., Getun G.V. – Kamyanets-Podilsky: Publishing House «Ruta». 2020 – 820 p. : ill.

8. **Kulikov P. M., Plosky V. O., Getun G. V.** Constructions of buildings and structures. Book 1: Textbook for higher education / Kulikov P. M., Plosky V. O., Getun G. V. – K. : Publishing House «Lira-K». 2021 – 820 p. : ill.
9. **Maklakova T. H.** Ystoryya arkhitektury y stroytel'noy tekhniky. T. 1. Zochestvo doynustrial'noy épokhy: Nauchnoe yzdanye. M.: Yzdatel'stvo ASV, 2006, – 408 s., ill., T. 2. Sovremennaya arkhitektura: Nauchnoe yzdanye. M.: Yzdatel'stvo ASV, 2009, – 372 p.: ill.
10. **Plosky V. O., Getun G. V.** Arkhitektura budivel' ta sporud. Knyha 2. Zhytlovi budynky: Pidruchnyk dlya vyshchykh navchal'nykh zakladiv. – Vydannya tretye, pereroblene i dopovnene / Plosky V. O., Hetun H. V. – Kam"yanets'-Podil's'ky: Vydavnytstvo «Ruta». 2017 r. – 736 p.: il.
11. **Plosky V. O., Getun G. V., Virots'ky V. D.** Arkhitektura budivel' ta sporud. Knyha 3. Istoriya arkhitektury i budivnytstva: Pidruchnyk dlya vyshchykh navchal'nykh zakladiv. – Vydannya druhe, pereroblene i dopovnene / Plosky V. O., Hetun H. V., Virots'ky V. D. – K: Vydavnytstvo «Lira-K», 2016 r. – 816 p.: il.
12. **Orel'skaya O. V.** Sovremennaya zarubezhnaya arkhitektura: uchebnoe posobye dlya stud. Vyssh. Ucheb. Zavedenyy / Orel'skaya O. V. – M.: Yzdatel'sky tsestr «Akademya», 2006. – 272 s., yl.
13. **Raafat Aly Akhmed** Zhelezobeton v arkhitekture / Raafat Aly Akhmed. – M.: Stroyizdat, 1963. – 203 p.: il.
14. **Yurhen Edyke** Ystoryya sovremennoy arkhitektury / Yurhen Edyke. – M.: Yskusstvo, 1972. – 247 p.: il.
15. **Vseobshchaya ystoryya arkhitektury v 12 tomakh.** Hlavn. redaktor Baranov N. V. – M.: Yzdatel'stvo literatury po stroytel'stvu, 1970...1977.

STAGES OF THE DEVELOPMENT OF CONCRETE AND EXPERIENCE IN THE USE OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

*Galyna GETUN,
Iryna BEZKLUBENKO,
Victoria KOSHEVA,
Inna KOSHEVA*

Summary. This days the use of concrete and reinforced concrete structures in construction is common. Their widespread use has been made possible by the achievements of engineers and architects of past centuries. The authors consider the main defining stages of development of concrete and reinforced concrete structures and their widespread popularization in the world. A consistent historical overview of the development of structural forms of reinforced concrete in residential and non-residential buildings was made. Numerous examples illustrate the path of development of reinforced concrete structures - from strut-beam systems to curvilinear spatial forms.

The works of prominent civil engineers and architects are considered: F. Gennebique, M. Keneth, O. Perre, R. Mayar, D. Mate Trucco, V. Bonade Bottino, R. Piano, E. Fressine, M. Berg, G. Trauer, E. Torroha, P. Luigi Nervi and others [2, 13, 15].

The article analyzes the development of architecture, building structures and construction technologies in the crucial phases of historical development based on the use of architectural research, which is based on the analysis of objective features of buildings and structures, namely their functional purpose and design capabilities. The experience of designing and construction of unique constructions with large-span coverings, the search for rational constructive decisions are traced, recommendations for the further perspective development of reinforced concrete designs are given.

Keywords. Monolithic reinforced concrete; reinforced concrete structures; frame-monolithic buildings; construction objects; thin-walled shells; dome coverings; reinforced cement; thin-walled vaulted coverings; asymmetric surfaces.

Стаття надійшла до редакції 28.04.22