

*О.О. Довженко, к.т.н., доцент
В.В. Погрібний, к.т.н., с.н.с., доцент
Л.В. Карабаи, к.т.н., старший викладач
А.О. Бігдан, магістрант, Н.В. Дакало, магістрант
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ СТИКОВИХ З'ЄДНАНЬ ЗБІРНО-МОНОЛІТНИХ КОНСТРУКТИВНИХ СИСТЕМ ПІД ДОСТУПНЕ ЖИТЛО В УКРАЇНІ

Розглянуто збірно-монолітні конструктивні системи багатопверхових будівель. Запропоновано методика розрахунку міцності залізобетонних (бетонних) шпонкових стиків їх елементів, яка базується на розгляді специфіки напруженого стану зони руйнування та врахуванні визначальних факторів. Наведено таблиці для практичного застосування методу.

Ключові слова: шпонка, з'єднання, зріз, міцність, пластичність, бетон.

*О.А. Довженко, к.т.н., доцент
В.В. Погребной, к.т.н., с.н.с., доцент
Л.В. Карабаи, к.т.н., старший преподаватель
А.О. Бигдан, магистрант, Н.В. Дакало, магистрант
Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка*

МЕТОДИКА РАСЧЁТА СТЫКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ СБОРНО-МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ СИСТЕМ ПОД ДОСТУПНОЕ ЖИЛЬЁ В УКРАИНЕ

Рассмотрены сборно-монолитные конструктивные системы многоэтажных зданий. Предложена методика расчета прочности железобетонных (бетонных) шпачных стыков их элементов, основанная на рассмотрении специфики напряженного состояния зоны разрушения и учете определяющих факторов. Представлены таблицы для практического применения метода.

Ключевые слова: шпонка, соединение, срез, прочность, пластичность, бетон.

*A. Dovzhenko, PhD, Associate Professor
V. Pogrebnoy, PhD, Associate Professor
L. Karabash, PhD, senior lekturer
A. Bigdan, master student, N. Dakalo, master student
Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University*

THE METHOD OF CALCULATION OF THE JOINT KEYS OF COLLAPSIBLE-MONOLITHIC CONSTRUCTION SYSTEMS UNDER AFFORDABLE HOUSING IN UKRAINE

Collapsible-monolithic construction systems of multistory buildings have been considered. The method of calculating the strength of reinforce-concrete (concrete) of the joints of the key its elements, based on consideration of the specific stress state and fracture zones taking into account the determining factors. Tables for practical application of the method have been presented.

Keywords: joint, connection, cut, strength, plasticity, concrete.

Вступ. Останнім часом найбільш динамічно розвиваються інноваційні технології в будівництві, що пов'язано зі значним попитом населення на доступне (соціальне) житло для громадян середнього рівня матеріального забезпечення. На увагу заслуговують конструктивні системи збірно-монолітних каркасних багатопверхових будівель, серед яких «Delta», «Сочі», «АРКОС», «Казань–ХХІ», «Ducore», «КУБ 2,5». Їх застосування дозволяє здешевити вартість 1 м^2 житла за рахунок зменшення трудомісткості будівельних робіт унаслідок майже вдвічі меншого терміну зведення порівняно із цегляними та панельними будівлями.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Конструктивна система «Delta» (Фінляндія) складається з колон (крок 6, 9 м), до котрих на рівні перекриттів приєднуються сталезалізобетонні ригелі (рис. 1), на які вкладаються збірні багатопорожнисті залізобетонні плити. Ригелі з листової сталі товщиною 6 мм мають суцільнозварний гнутий переріз трапецієподібного профілю з висотою, що дорівнює товщині перекриття. Після укладання плит, які встановлюються на консольні частини нижньої полиці ригелів, останні замонолічуються бетоном [1]. Похилі бокові стінки гнутих профілів перфоровані, штамповані з дискретно розташованими отворами, котрі забезпечують затікання бетону у внутрішній об'єм ригеля. Сумісна робота ригеля з плитами забезпечується шпонковим з'єднанням, утвореним за рахунок заповнення порожнин ригеля та панелей перекриття при вкладанні бетону.

Перекриття у системі «Сочі» [1] являє собою плоску збірно-монолітну конструкцію, опертую на колони, розміщені в плані з максимальним кроком 7,2 м в обох напрямках, та складається зі збірних багатопорожнистих плит з відкритими з обох кінців порожнинами, в котрих на глибину не менш 50 мм установлені заглушки (рис. 2). Між торцями плит у створах колон улаштовані монолітні залізобетонні ригелі. Передбачено також армування поздовжніх міжплитних швів. Розширені армовані шви між плитами та монолітні несучі ригелі утворюють жорстку перехресну систему головних і другорядних балок. Спирання плит на ригелі передбачено через бетонні шпонки в торцях та на бічних гранях плит. Шпонки утворюються при бетонуванні ригелів за рахунок замонолічування бетоною сумішшю в отвори й поглиблення плит.

Конструктивну систему «АРКОС» (серія Б1.020.1-7) розроблено в Білорусії у вигляді збірно-монолітного каркаса з плоскими дисками перекриттів [2, 3]. Збірні залізобетонні плити розміщені в межах замкнутої горизонтальної рами, утвореної монолітними залізобетонними ригелями (несучими та в'язевими) прольотом 6 м, опертими на колони будівлі (рис. 3). Спирання плит на несучі ригелі здійснено за рахунок бетонних шпонок, утворених у порожнинах плит з їх торців при бетонуванні ригелів. Крім того, плити між собою та з в'язевим ригелем сполучуються також за допомогою зазначеного з'єднання.

Конструктивна система «Казань–ХХІ» [4] включає збірні залізо-бетонні колони з проміжками на рівні перекриття, збірні ригелі, багатопорожнисті плити перекриття за серією 1.141-1, вип. 63, з деякою відмінністю в опалубкових формах та збірні діафрагми жорсткості. Ригелі виготовляються як без попереднього напруження, так і попередньо напруженими при прольотах до 9 м, на торцях вони мають випуски поздовжньої, а на верхній грані петльові випуски поперечної арматури за всією довжиною та штроби для вкладання опорної арматури. Торці плит на ділянці спирання на ригелі виконані зі скосами у протилежні сторони, що дозволяє збільшити зручність укладання арматурних стрижнів у верхній зоні монолітної частини ригеля. При бетонуванні в плитах перекриття по торцях утворюються шпонки за рахунок вдавнених бетонних вкладишів у порожнину на глибину 150 мм. З'єднання елементів каркаса між собою забезпечується за рахунок замонолічування проміжків колон із вставленими в них збірними ригелями та одночасним заповненням бетоном порожнин на торцях плит (рис. 4). Петльові випуски поперечної арматури після укладання плит перекриттів і опорної арматури об'єднуються замкнутими хомутами. Для збільшення просторової жорсткості будівель підвищеної поверховості (16 і більше поверхів) передбачено влаштування шпонкового з'єднання між діафрагмою жорсткості та колоною для забезпечення їх сумісної роботи.

Збірно-монолітний каркас системи «Ducose» (США) (рис. 5) [1] складається з поверхово розташованих безконсольних колон, комплексних плитних ригелів перекриттів, складених із нижніх збірних та верхніх монолітних частин, збірних багатопорожнистих плит і бетону замонолічування. Багатопорожнисті плити виконані з відкритими порожнинами та встановлені на збірну частину плитних ригелів, які є незнімною опалубкою для монолітної частини. Спільна робота елементів забезпечується силами контактного зчеплення бетону й арматурними випусками.

Безригельний каркас системи «КУБ 2,5» (рис. 6) складається з колон квадратного перерізу, розташованих переважно із сіткою 6х6 м, і плоских плит з уніфікованими розмірами 3х3 м. Розмір плит прийнятий з умови розташування стиків у зоні мінімальних згинальних моментів. Шпонкові з'єднання утворюються в місцях з'єднання колон і надколонних плит, частіше за все виконуються із дрібнозернистих бетонів. Ця система з успіхом застосовується в Україні [5].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. У всіх вищезгаданих конструктивних системах наявні шпонкові з'єднання елементів каркаса та перекриття, які забезпечують міцність і надійність усієї системи будівлі. Як правило, вони виконуються одношпонковими (з'єднання багатопорожнистих плит із ригелями, а також надколонної плити з колоною в безбалкових перекриттях). При згині плит шпонки обтискуються.

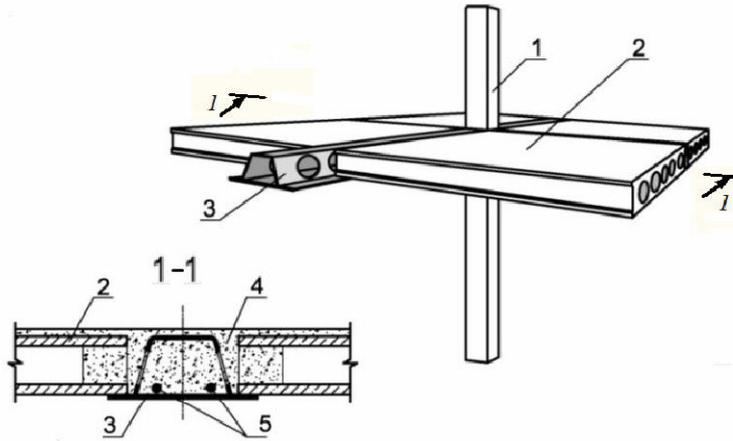


Рис. 1. Загальний вигляд та вузол з'єднання з плитою ригеля збірно-монолітного каркаса «Delta»:
1 – колона; 2 – багатопорожнисті залізобетонні плити;
3 – сталезалізобетонний ригель; 4 – бетон замонолічування;
5 – додаткове армування (за необхідності)

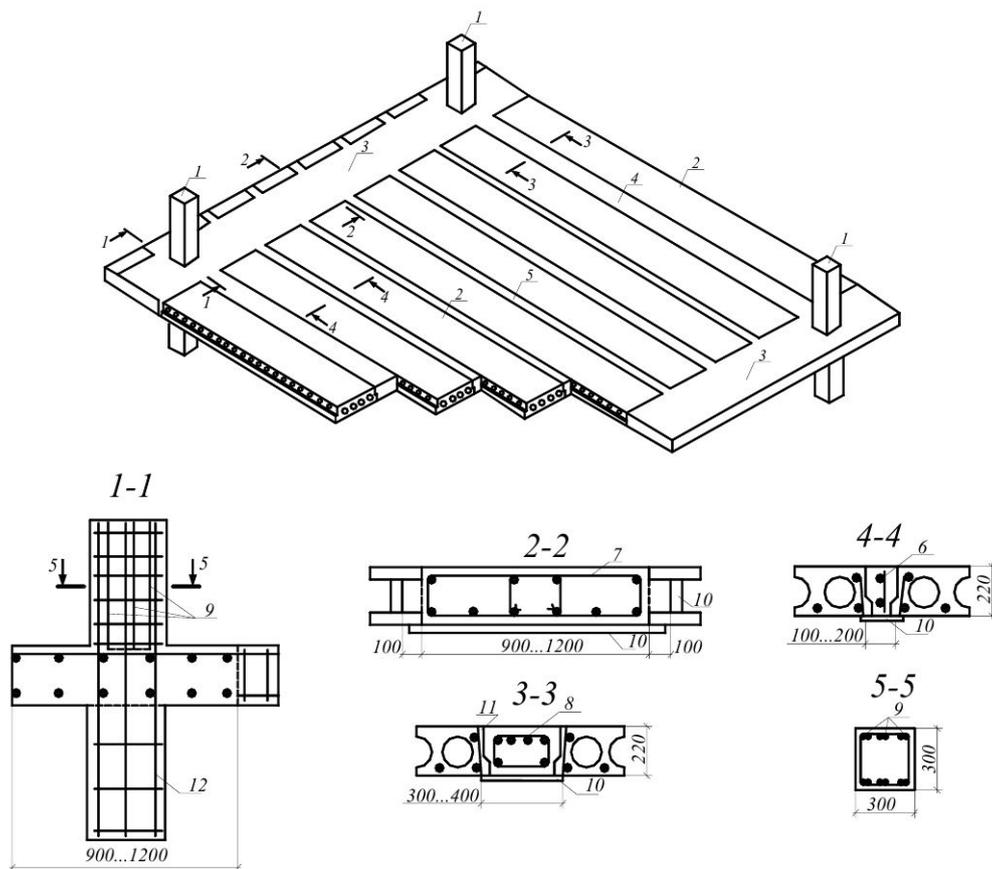


Рис. 2. Збірно-монолітне перекриття типу «Сочі»:
1 – колони; 2 – збірні плити перекриття; 3 – монолітні ригелі;
4, 5 – монолітні балки між колонами та збірними плитами;
6 – 8 – каркаси; 9 – стикові стрижні; 10 – опалубка;
11 – шпонка; 12 – арматурний каркас колони

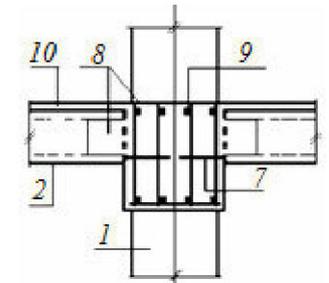
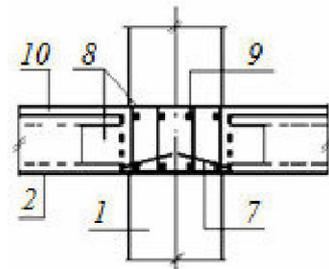
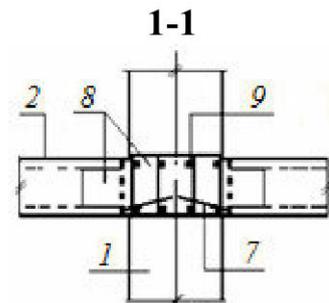
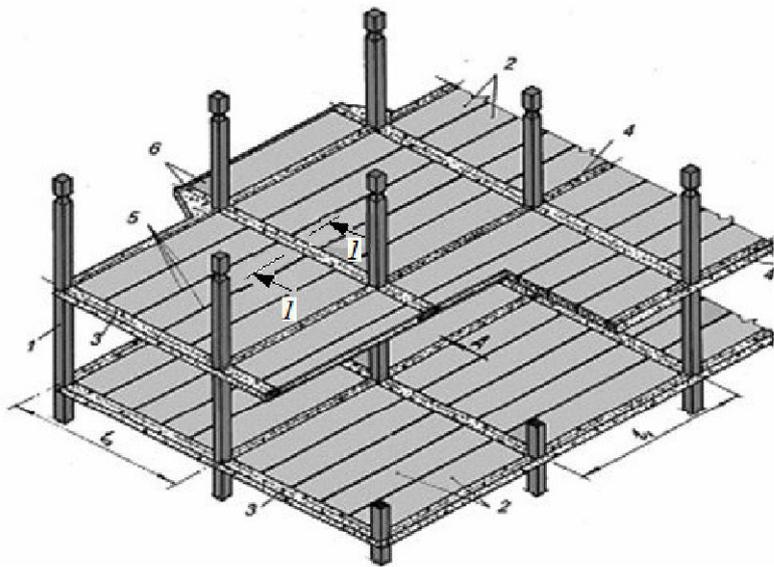


Рис. 3. Конструктивна система «АРКОС»:
 1 – колони; 2 – збірні багатопорожнисті плити;
 3 – монолітні несучі ригелі; 4 – монолітні в'язеві ригелі; 5 – міжплитні шви замонолічування;
 6 – консолі для балконів та еркерів;
 7 – арматурні випуски з плит; 8 – монолітний бетон;
 9 – арматура монолітних ригелів;
 10 – додаткове набетонування

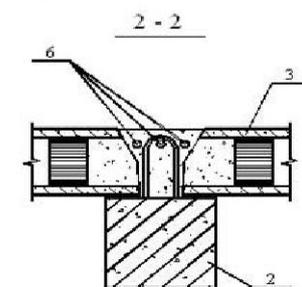
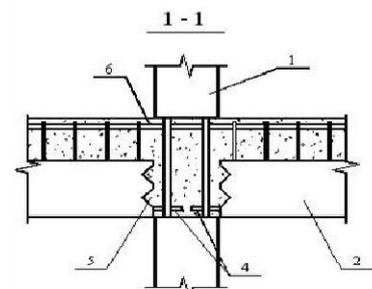
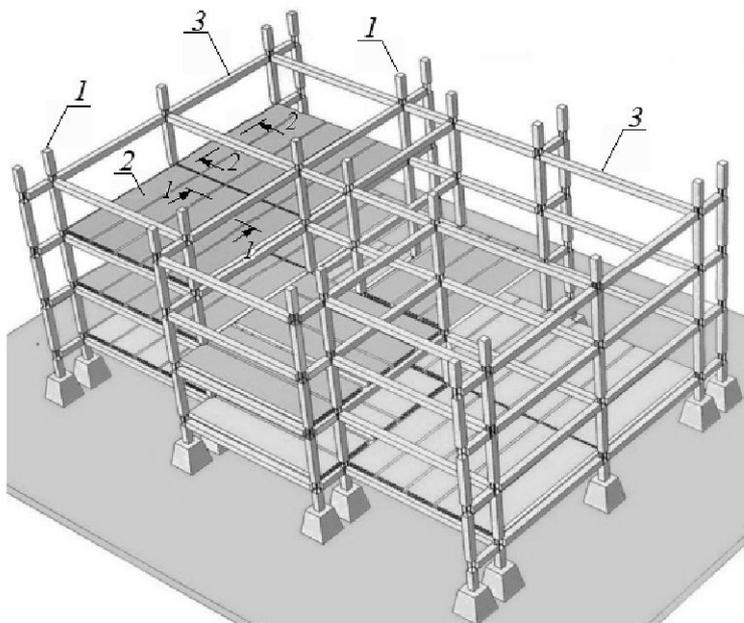


Рис. 4. Конструктивна система «Казань–XXI»:
 1 – колона; 2 – багатопорожниста плита перекриття;
 3 – збірний ригель; 4 – випуски поздовжньої робочої арматури;
 5 – шпонки в торці ригеля; 6 – опорна робоча арматура збірно-монолітного ригеля

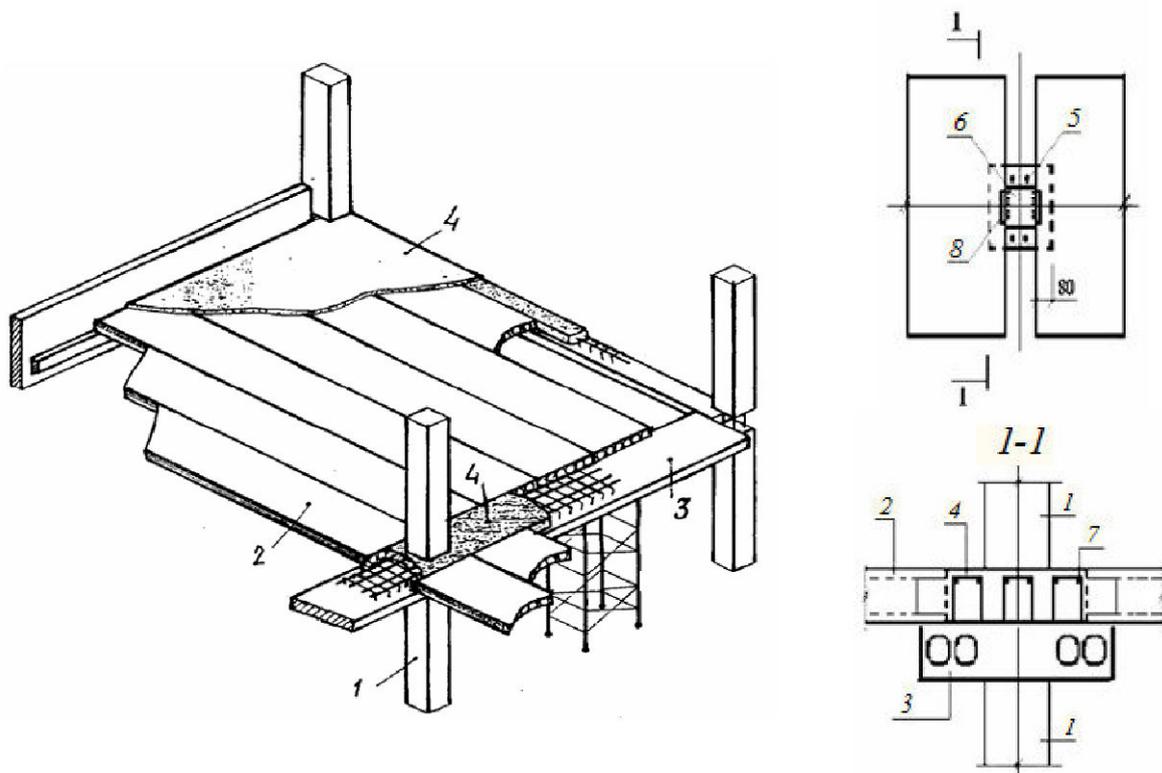


Рис. 5. Каркас системи «Ducore»:

- 1 – колона; 2 – багатопорожниста плита;
 3 – нижній збірний елемент ригеля; 4 – бетон замонолічування;
 5 – випуски арматури колони; 6 – закладна деталь колони;
 7 – надпорна арматура плитного ригеля;
 8 – закладна деталь плитного ригеля

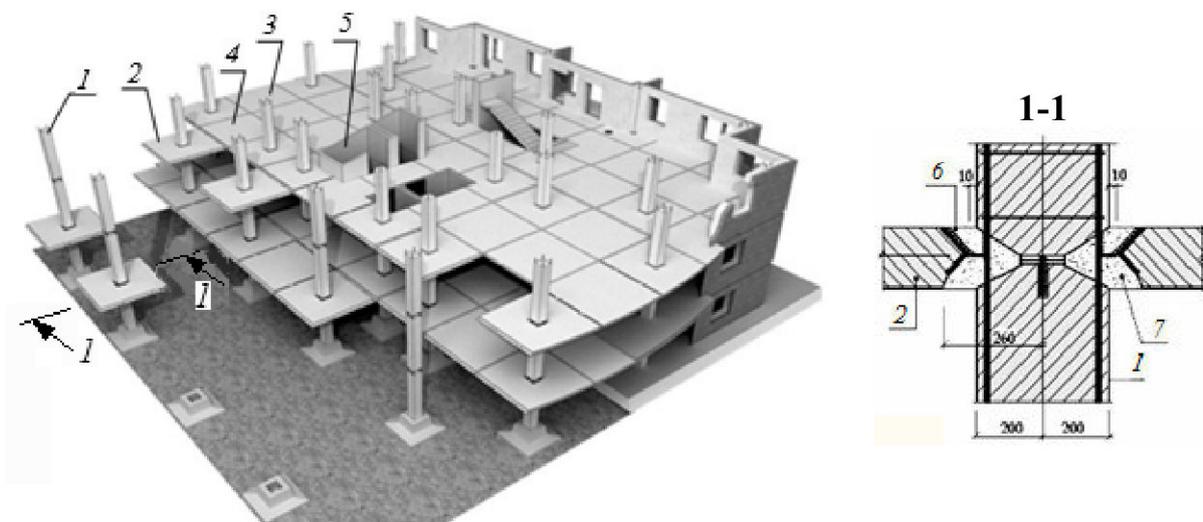


Рис. 6. Безригельний каркас «КУБ 2,5»:

- 1 – колона 400 x 400 мм; 2 – надколонна плита;
 3 – середня плита; 4 – міжколонна плита; 5 – діафрагма жорсткості;
 6 – приварений до обичайки плит з'єднувальний кутик;
 7 – бетон дрібнозернистий (шпонка) С 25/30

Нормативні методи їх розрахунку [6, 7] базуються на емпіричній основі і не враховують повної сукупності факторів, котрі обумовлюють міцність шпонок (геометричні розміри та їх співвідношення, форма шпонкового профілю, кут нахилу опорних поверхонь, характеристики міцності (вид і клас) бетону, ступінь обтиснення (розтягання), армування (кількість та особливості розташування арматури, нагельний ефект у ній), умови на опорних поверхнях.

У ПолтНТУ запропоновано методику розрахунку міцності шпонкових стиків [8], яка базується на єдиній основі – варіаційному методі у теорії пластичності бетону, враховує характер руйнування та сукупний вплив визначальних факторів міцності й дозволяє здійснювати оптимальне проектування стиків.

Постановка завдання. Метою роботи є пропозиції щодо методики розрахунку шпонкових з'єднань залізобетонних елементів збірно-монолітних конструктивних систем багатоповерхових будівель.

Основний матеріал і результати. Кінематичну схему руйнування, на базі якої розв'язується задача міцності прямокутної залізобетонної (бетонної) шпонки, наведено на рис. 7. Обтиснення враховується як зовнішнє рівномірно розподілене за висотою шпонки навантаження σ (існує можливість урахування обтиснення, котре прикладено не за всією висотою шпонки, що виникає при згині плити). Армуння для одноярусного розташування арматури (A_{sw}) розглядається як зосереджене зовнішнє навантаження, за умови текучості арматури в стадії руйнування. При двоярусному розташуванні арматури ($A_s = A'_s$) враховано нагельний ефект в арматурі нижнього ярусу [8]. Міцність шпонки при зрізі обчислюється за алгоритмом, наведеним на рис. 8.

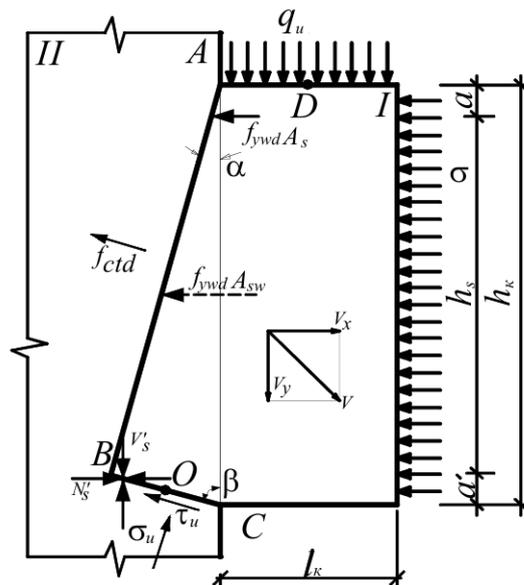


Рис. 7. Кінематично можлива схема руйнування окремих прямокутних залізобетонних (бетонних) шпонок при зрізі

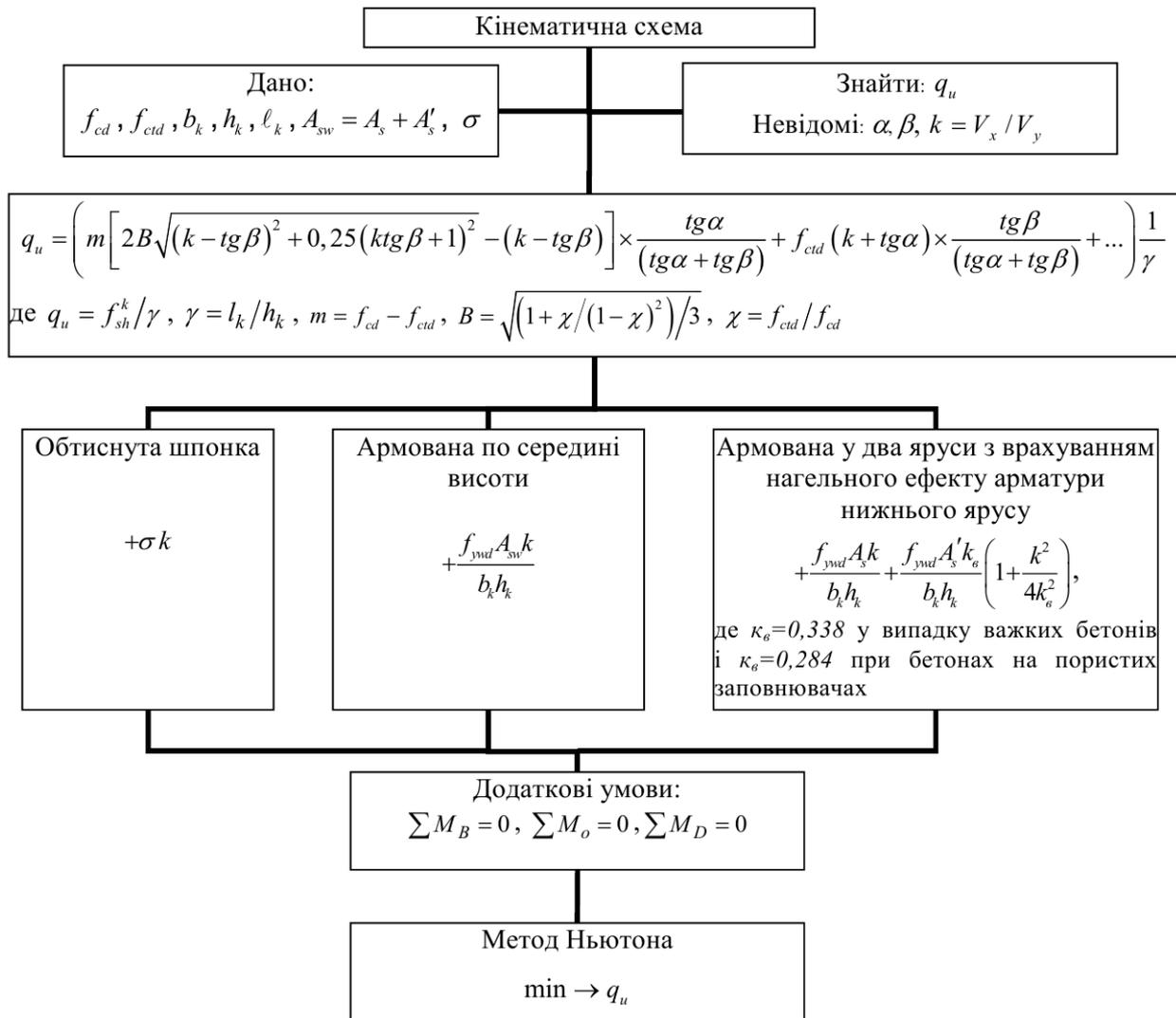


Рис. 8. Алгоритм для визначення граничного навантаження бетонної (обтиснутої, залізобетонної) прямокутної шпонки

Для практичного використання варіаційного методу в інженерних розрахунках запропоновано таблиці 1 – 3 та рис. 11, за допомогою яких можна визначити міцність залізобетонних $f_{sh,s}^k$ (бетонних $f_{sh,c}^k$ та обтиснутих $f_{sh,\sigma}^k$) шпонок залежно від співвідношення розмірів шпонки l_k/h_k , класу бетону за монолічування, рівня обтиснення σ/f_{cd} та площі поперечної арматури A_{sw} .

Таблиця 1. До визначення $f_{sh,\sigma}^k$ при $l_k/h_k = 0,25$

σ/f_{cd}	$f_{sh,\sigma}^k / f_{cd}$								
	C12/15	C16/20	C20/25	C30/35	C32/40	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
0,1	0,322	0,311	0,305	0,307	0,304	0,3	0,294	0,296	0,296
0,2	0,401	0,395	0,39	0,391	0,39	0,387	0,384	0,385	0,384
0,3	0,455	0,451	0,448	0,449	0,448	0,446	0,444	0,445	0,444
0,4	0,489	0,487	0,486	0,486	0,486	0,485	0,484	0,484	0,484
0,5	0,507	0,507	0,507	0,507	0,507	0,506	0,506	0,506	0,506

Таблиця 2. До визначення $f_{sh,\sigma}^k$ при $l_k/h_k = 0,5$

σ/f_{cd}	$f_{sh,\sigma}^k/f_{cd}$								
	C12/15	C16/20	C20/25	C30/35	C32/40	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
0,1	0,235	0,226	0,220	0,220	0,216	0,211	0,213	0,212	0,213
0,2	0,305	0,299	0,295	0,295	0,292	0,289	0,290	0,290	0,290
0,3	0,353	0,349	0,347	0,347	0,345	0,343	0,344	0,343	0,344
0,4	0,384	0,382	0,381	0,381	0,380	0,379	0,379	0,379	0,379
0,5	0,401	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400

Таблиця 3. До визначення $f_{sh,s}^k$ при $A_{sw} = 101 \text{ мм}^2$ (найчастіше армування залізобетонних шпонок здійснюється 2Ø8 А240С)

$\frac{l_k}{h_k}$	$f_{sh,s}^k/f_{cd}$								
	C12/15	C16/20	C20/25	C30/35	C32/40	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
0,2	0,467	0,419	0,383	0,346	0,327	0,308	0,300	0,291	0,283
0,3	0,419	0,373	0,338	0,302	0,285	0,266	0,259	0,250	0,243
0,4	0,378	0,333	0,300	0,266	0,249	0,232	0,225	0,217	0,210
0,5	0,342	0,299	0,268	0,236	0,220	0,204	0,198	0,190	0,184
0,6	0,311	0,270	0,241	0,211	0,196	0,181	0,176	0,169	0,163
0,7	0,284	0,246	0,218	0,190	0,176	0,162	0,157	0,151	0,145
0,8	0,260	0,225	0,198	0,172	0,160	0,147	0,142	0,136	0,131
0,9	0,240	0,206	0,182	0,157	0,146	0,134	0,129	0,124	0,119
1,0	0,222	0,190	0,167	0,144	0,134	0,122	0,118	0,113	0,109

Граничне навантаження одношпонкового стику $V_{sh}^k = f_{sh}^k A_{sh}$, де $A_{sh} = b_k h_k$ – площа зрізу (b_k – ширина шпонки).

Розглянемо приклад розрахунку шпонкових стиків багатопорожнистих плит перекриття шириною 1200 мм з монолітним несучим ригелем збірно-монолітної конструктивної системи «АРКОС» (рис. 9).

За результатами статичного розрахунку каркаса житлового будинку в ПК SCAD Office отримано поперечну силу на опорі плит $V_{Ed} = 110,44 \text{ кН}$.

Шпонки мають круглу форму поперечного перерізу, котру зводимо до квадратної з розміром $b_k = h_k = 0,9 \times 159 \text{ мм} = 143,1 \text{ мм}$.

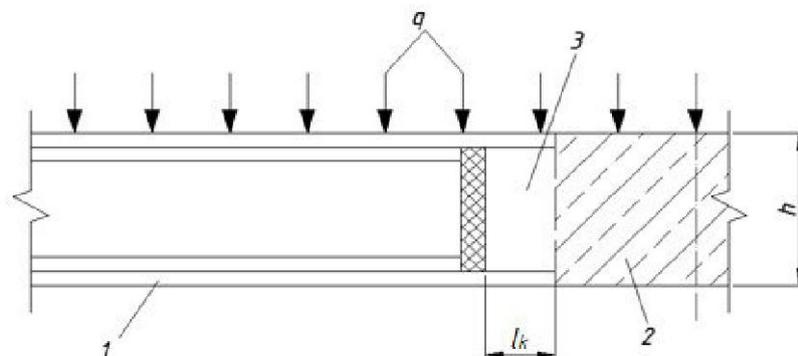


Рис. 9. До розрахунку стику багатопустотних плит з несучим ригелем на дію вертикального навантаження (загальний вигляд стику): 1 – багатопорожниста плита; 2 – несучий ригель; 3 – бетонна шпонка

Згідно з отриманими даними [9], характер руйнування (зминання, зріз, згинання), а також граничне навантаження визначаються відношенням розмірів шпонки $\gamma = l_k / h_k$. Для досягнення максимальної міцності стику його слід передбачити 0,25 (точка сполучення випадків руйнування зминання і зрізу).

При натурних дослідженнях шпонкових стиків спостерігається локалізація пластичних деформацій, що свідчить про зрізовий їх характер руйнування, котрий реалізується в межах $l_k / h_k \leq 0,5$.

При замонолічуванні стиків зрозуміло прагнення проектувальників збільшити площадку обпирання плит на ригель. Однак у цьому випадку поперечна сила буде передаватися на шпонку нерівномірно, тому при розрахунку приймаємо максимально можливе співвідношення $l_k / h_k = 0,5$ для реалізації зрізової форми руйнування ($l_k = 72$ мм).

Результати розрахунку міцності шпонки з бетону класу C25/30 наведено в таблиці на рис. 10 (за алгоритмом рис. 8).

Відомі параметри								
Характеристики:								
міцності бетону					шпонки			
Клас бетону	f_{cd} , МПа	f_{ctd} , МПа	χ	m , МПа	B	h_k , мм	b_k , мм	γ
C25/30	17	1,200	0,0706	15,8	0,600476942	143,1	72	0,5
Невідомі параметри								
	tga	α^0	$tg\beta$	β^0	k			
	0,063214786	3,617127445	0,554963523	29,02867685	0,554963523			
						$f_{sh,c}/f_{cd} =$	0,113820837	
						$f_{sh,c} =$	1,934954224	МПа

Рис. 10. Результати розрахунку міцності бетонної шпонки

Одна шпонка сприймає $V_{sh,c}^k = 1,935 \times 143,1^2 = 39,62$ кН. Плита шириною 1200 мм, що має 6 порожнин, витримує $V_{Rd} = 39,62 \times 6 = 237,72$ кН

Міцність шпонки можна визначити за таблицею або графіками на рис. 11.

Згідно з діючими нормами [7], міцність однієї шпонки плити обчислюється як $V_{Rd} = c f_{ctd} = 0,5 \times 1,2 \times 143,1^2 = 12,29$ кН, усього з'єднання $V_{Rd} = 12,29 \times 6 = 73,74$ кН, що менше ніж $V_{Ed} = 110,44$ кН, отже, міцність шпонкового стику не забезпечена.

Однак натурні випробування фрагмента будівлі [2] засвідчили надійність зазначеного з'єднання, що підтверджується і запропонованою методикою.

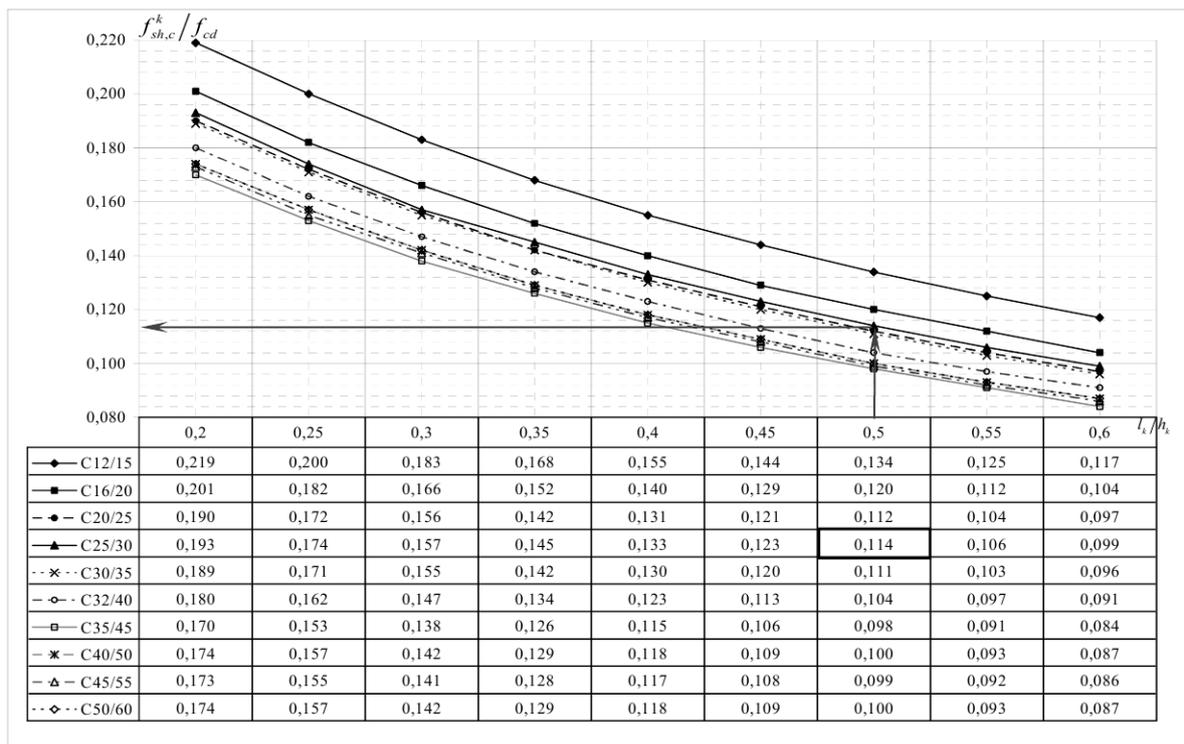


Рис. 11. До визначення відносної міцності прямокутних бетонних шпонок $f_{sh,c}^k / f_{cd}$

Висновки. На основі варіаційного методу теорії пластичності бетону розроблено загальну методику розрахунку міцності залізобетонних (бетонних) шпонок, яка базується на розгляді специфіки напруженого стану зони руйнування та враховує основні визначальні фактори: характеристики міцності бетону f_{cd} і f_{ctd} , співвідношення глибини та висоти шпонок l_k / h_k , ступінь обтиснення σ , особливості армування (характер розташування арматури за висотою шпонки, нагельний ефект у ній). Розроблені графіки і таблиці спрощують використання методики в інженерних розрахунках.

Література

1. Гуров, Е.П. Сборное домостроение. Стратегия развития / Е.П. Гуров // СтройПРОФИЛЬ. – 2010. – № 5 (83). – С. 10 – 15.
2. Эффективные конструктивные системы многоэтажных жилых домов и общественных зданий (12...25 этажей) для условий строительства в Москве и городах Московской области, наиболее полно удовлетворяющие современным маркетинговым требованиям: отчет о научно-исследовательской работе / НИЭП УП «Институт БелНИИС». – Минск, 2002. – 117 с.
3. Унифицированная открытая каркасная система зданий с плоскими перекрытиями. Серия Б1.020.1-7 / А.И. Мордич, Р.В. Вигорик, В.Н. Белевич, Ю.А. Иващенко // Архитектура и строительство. – 1999. – № 6. – С. 24 – 26.

4. Мустафин, И.М. Универсальная несущая сборно-монолитная каркасная система «Казань – XXI» / Мустафин И.И., ООО Проектно-конструкторская фирма «Каркас». – Казань, 2005. – 21 с.
5. Павліков, А.М. Безкапітельно-безбалкова каркасно-конструктивна система будівлі: особливості та досвід використання під доступне житло / А.М. Павліков, Є.М. Бабич, Б.М. Петтер // Будівельні конструкції: міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво) / Державне підприємство «Державний науково-дослідницький інститут будівельних конструкцій» Міністерства регіонального розвитку та будівництва України. – Вип. 78: у 2-х кн.: Книга 1. – Київ: ДП НДІБК, 2013. – С. 28 – 46.
6. Пособие по проектированию жилых зданий / ЦНИИЭП жилища Госкомархитектуры. Вып. 3. Конструкции жилых зданий (к СНиП 2.08.01-85). – М.: Стройиздат, 1989. – 304 с.
7. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону: ДСТУ Б В.2.6. – К.: НДІБК, 2010. – 156 с.
8. Карабаи, Л.В. Міцність прямокутних залізобетонних шпонок з урахуванням особливостей армування і обтиснення: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Карабаи Л.В.; Полтав. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – Полтава, 2010. – 186 с.
9. Погребной, В.В. Прочность бетонных и железобетонных элементов при срезе: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Погребной В.В.; Полтав. гос. техн. ун-т им. Юрия Кондратюка. – Полтава, 2000. – 236 с.

Надійшла до редакції 16.09.2013

© О.О. Довженко, В.В. Погрібний, Л.В. Карабаи, А.О. Бігдан, Н.В. Дакало