

УДК 624.078:539.4

**ВЕРТИКАЛЬНІ СТИКИ ПАНЕЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ: КОНСТРУКТИВНІ РІШЕННЯ, РОЗРАХУНОК ЗА МІЦНІСТЮ**

**ВЕРТИКАЛЬНЫЕ СТЫКИ ПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ: КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ, РАСЧЕТ ПО ПРОЧНОСТИ**

**THE VERTICAL JOINS OF WALL PANELS: STRUCTURAL SOLUTIONS, STRENGTH DESIGN**

**Довженко О.О., к.т.н., доц., Погребний В.В., к.т.н., с.н.с., Чумак Є.І., студент** (Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, м. Полтава)

**Довженко О.А., к.т.н., доц., Погребной В.В., к.т.н., с.н.с., Чумак Є.И., студент** (Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, г. Полтава)

**Dovzhenko O.A., candidate of technical sciences, docent, Pogribnoy V.V., candidate of technical sciences, senior researcher, Chumak E.I, student** (Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava)

Розглянуто стан сучасного розвитку великопанельного будівництва. Проаналізовані конструктивні рішення вертикальних стиків стінових панелей. Запропоновано методику розрахунку багатошпонкових стиків, яка базується на теорії пластичності бетону.

Рассмотрено состояние современного развития крупнопанельного домостроения. Проанализированы конструктивные решения вертикальных стыков стеновых панелей. Предложена методика расчета многошпоночных стыков базирующаяся на теории пластичности бетона.

Status of the modern large-panel development discussed. Structural solutions of the wall panels vertical joints are analyzed. Method of calculation of multi key joints, which based on the theory of plasticity of concrete, was proposed.

**Ключові слова:**

Стінова панель, стик, шпонка, розрахунок за міцністю.

Стеновая панель, стык, шпонка, расчет по прочности.

Wall panel, joint, key, strength design.

**Стан сучасного розвитку великопанельного будівництва.** Проблема доступного житла в Україні може бути розв'язана лише на індустріальній основі, при цьому великопанельна система домобудівництва має розглядатися як конкурентоспроможна, про що свідчить досвід країн Європи. Наприклад, великопанельне будівництво складає у Голландії 35%, Австрії – 23%, Великобританії – 20%, Данії – 19%, Франції – 17% від загального об'єму будівництва [1]. В Україні ж цей показник менше 10%.

Сучасний стан панельного домобудівництва та технології збірного залізобетону дозволяють зводити будівлі із високим рівнем науково-технічних рішень й експлуатаційних характеристик, що повністю забезпечує умови теплового захисту та відрізняється архітектурною виразністю.

Розв'язання проблем, пов'язаних з обмеженням вибору об'ємно-планувальних рішень, характерних для перехресно-стінової системи, відбувається шляхом використання великопанельних будівель із поздовжніми несучими стінами, а також широким і змінним кроком внутрішніх поперечних стін [2]. Такі системи проектуються із використанням багатопустотних плит, які виготовляються за допомогою технології безопалубного формування.

На сьогодні існує термін «гнучка система індустріального домобудівництва», котра поєднує гнучкість об'ємно-планувальних рішень з гнучкістю виготовлення індустріальних конструкцій.

Сучасні тришарові стінові панелі (рис. 1) включають внутрішній шар із важкого бетону товщиною 80 – 200 мм, теплоізоляційний шар (мінераловатні плити ISOVER із коефіцієнтом теплопровідності  $\lambda = 0,042$  Вт/м·К, пінополістирол ПСБ-25 із  $\lambda = 0,05$  Вт/м·К, полістирол екструдований із  $\lambda = 0,028$  Вт/м·К) та зовнішній шар – декоративний або звичайний важкий бетон.

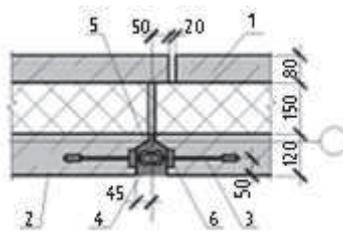


Рис. 1. Горизонтальна проекція стику тришарових панелей; 1 – зовнішній шар; 2 – несучий шар; 3 – тросові петлі; 4 – вертикальний розчинний шов; 5 – поздовжній арматурний стрижень; 6 – шпонка

Застосування утеплювача, наприклад у вигляді мінераловатних плит, забезпечує суцільне поле теплоізоляції будівлі в цілому. Технологія виготовлення передбачає таке розташування шарів панелі, при якому

утеплювач і внутрішній бетонний шар перекривають зовнішній шов і таким чином забезпечують повну відсутність продування. Крім того такі панелі є паронепроникними. Завдяки випаровуванню вологи через спеціальні вентиляційні канавки в монтажних швах, конструкція залишається сухою, а декоративне покриття не відшаровується та не тріскається [3].

Виробниками пропонуються оздоблення зовнішньо бетонного шару стінової панелі у вигляді: облицювання натуральною мармуровою або кварцовою крихтою фракції 3 – 5 мм; фарбування текстурними, акриловими складами; текстурні поверхні з використанням матричних малюнків; облицювання плиткою; кольорові бетони.

Сумісну роботу окремих панелей до вичерпання несучої здатності будівлі мають забезпечувати вертикальні стики.

**Мета та задачі досліджень** – аналіз конструкції вертикальних стиків стінових панелей і надання пропозицій щодо методів їх розрахунку.

**Результати досліджень.** За конструкцією горизонтальних в'язей вертикальних стиків великопанельних будівель (рис. 2) виділяють зварні, болтові, з механічним зачепленням за арматуру або закладні деталі та монолітні залізобетонні з'єднання [4 – 6].

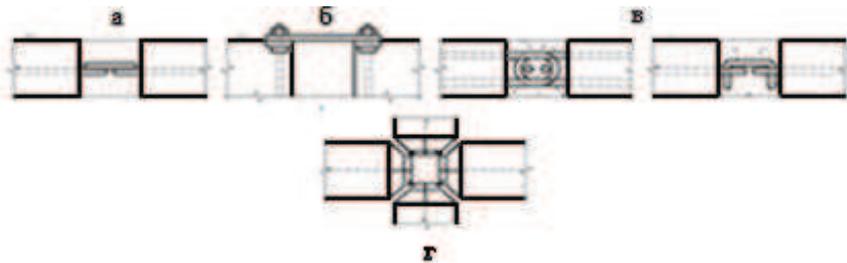


Рис. 2. Типи горизонтальних зв'язків між панелями: а – зварні; б – болтові; в – залізобетонні; г – з механічним зачепленням

Останні на даний час є найбільш розповсюдженими. Для надійного опору стиків знакозмінним зусиллям зсуву та розтягу, забезпечення сумісної роботи бетону й арматури на поверхнях, які стикаються, влаштовують шпонки, а панелі з'єднують арматурними в'язями.

До недоліків зазначеного типу стиків, у першу чергу можна віднести необхідність застосування дублюючих зв'язків або додаткових монтажних пристосувань на період набору бетоном необхідної міцності для забезпечення просторової жорсткості, складність ведення робіт у зимовий час, необхідність влаштування петельних випусків на торцях панелей, що значно ускладнює виготовлення (потрібно передбачати отвори в опалубці для пропуску петель, які можуть мати різний крок).

Прикладом вдосконалення традиційних стиків із арматурними петлями (рис. 3, а) являється конструкція, запропонована в [7]. Головна її відмінність полягає в орієнтації та розташуванні арматурних петель, котрі розміщуються у вертикальній площині із різною відстанню між ними для суміжних панелей. Аналогічно класичному рішенню наявна вертикальна арматура, крім того передбачене додаткове анкерування у горизонтальній площині стрижнями двотаврового профілю (рис. 3, б). Арматурні петлі розташовані поза межами пазів на поверхні панелей.



Рис. 3. Конструкція традиційного (а) та вдосконаленого (б) стику стінових панелей із петельними випусками

Різновидом монолітних з'єднань є розроблений фінською фірмою «Reikko» [8–10] стик із застосуванням замість стрижневої арматури тросових петель, котрі сховані на момент бетонування панелі в закритий короб. У процесі монтажу короб відкривається, петлі панелей, які стикуються, накладаються одна на одну (рис. 4), після чого через них пропускається арматурний стрижень, і стик замонолічується.

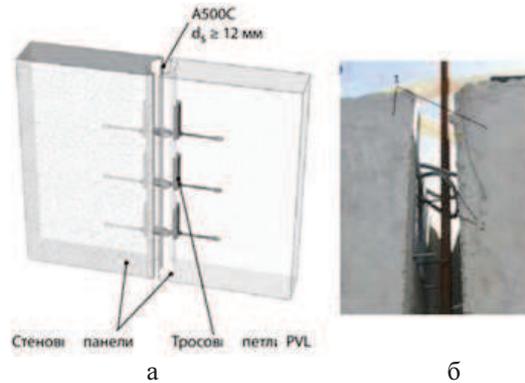


Рис.4. Шпонковий вузол з'єднання зовнішніх стінових панелей із застосуванням тросових петель «Reikko»: а – конструкція; б – процес виготовлення

Запропоноване рішення дозволяє суттєво спростити технологію монтажу та виготовлення панелей: короб із вкладеною в нього тросовою петлею

закріплюється на внутрішній стороні опалубки з визначеним кроком (рис. 5), що дозволяє використовувати її повторно. Результати теоретичних й експериментальних досліджень міцності стику наведено в [11, 12].

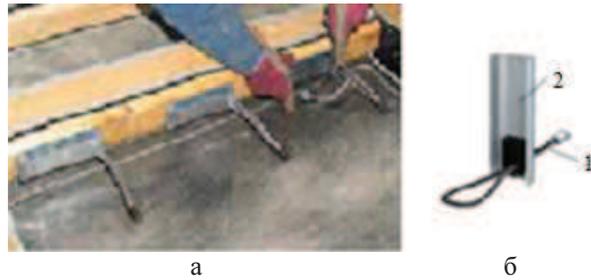


Рис. 5. Виготовлення стінової панелі (а) із застосуванням тросових петель (б):  
1 – жорстка коробка; 2 – тросова петля

В ПолтНТУ протягом 1985 – 2016 рр. проводяться системні експериментальні та теоретичні дослідження шпонкових стиків залізобетонних елементів. Зокрема виготовлені й випробувані тришпонкові стики із прямокутною, трапецієподібною і трикутною формою шпонкового профілю (кут нахилу грані завантаження від 0 до 45°), армовані в одному й двох рівнях за висотою шпонки, із змінними шириною шва 25 – 300 мм та видом бетоном замонолічування (використовувався керамзіто- і фібробетон із пропіленою фіброю). Дослідні зразки можуть розглядатися як моделі вертикального стику стінових панелей.

Виявленні форми руйнування стиків залежно від ширини шва (рис. 6): за шпонками (шляхом зрізу, що обумовлено прийнятими розмірами шпонок); за шпонками і за швом та за швом [13]. Перші два випадки описувалися і в [7].

Для розрахунку міцності стику запропонована розроблена в ПолтНТУ методика [14], котра базується на теорії пластичності бетону, варіаційному методі та принципі віртуальних швидкостей, розглядає стадію руйнування та враховує сукупність факторів впливу: вид і клас бетону, форму шпонкового профілю і поперечного перерізу, обтиснення й місце його прикладання, армування (кількість арматури, її розташування, можливий нагельний ефект), ширину шва та кількість шпонок у ньому.

Більш спрощений варіант застосування теорії пластичності до розрахунку міцності стиків використано в [7, 11]. Бетон тут розглядається як модифікований матеріал із нульовою міцністю при розтягу на відміну від застосування умови міцності бетону Баландіна–Генієва в [14]. При розв'язанні задач простого деформування енергія, витрачена на одиниці площі поверхні руйнування, підраховується за [15]. Несуча здатність стиків визначається шляхом пошуку мінімуму енергії, необхідної для реалізації прийнятого механізму руйнування.

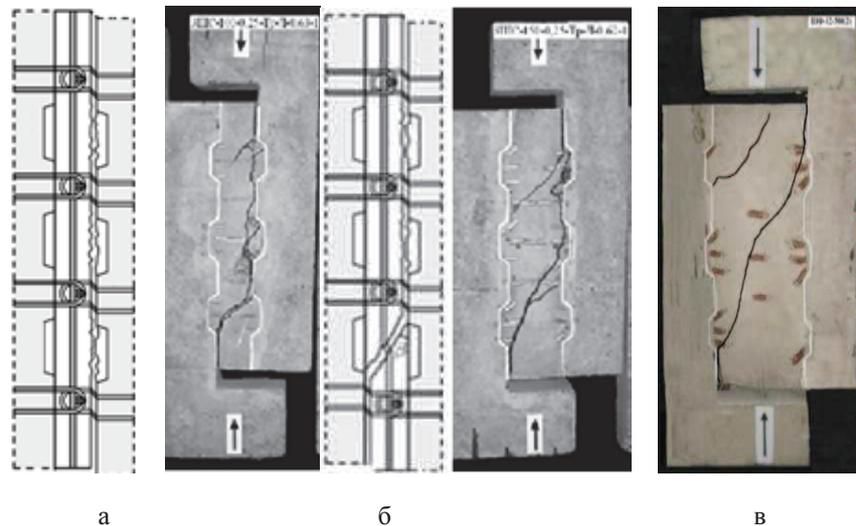


Рис. 6. Руйнування тришпонкових стиків: а – шляхом зрізу шпонок [7]; за шпонками та за швом [7, 13]; за швом [13]

Методика [14] є більш точною порівняно із [7, 11] за рахунок розгляду більшої кількості випадків (кінематично можливих схем) руйнування, факторів впливу, а також відсутності емпіричних коефіцієнтів, наявних в [7, 11].

Результати застосування зазначених методик [7, 11, 14] свідчить про перспективність застосування теорії пластичності до розрахунку міцності залізобетонних елементів при зрізі.

**Висновки.** При розв'язанні проблеми доступного житла в Україні потрібно використовувати можливості модернізованого великопанельного будівництва.

Для надійного опору вертикальних стиків зусиллям зсуву та розтягу, забезпечення сумісної роботи окремих елементів системи ефективним є влаштування шпонок на поверхнях, які стикаються, із з'єднанням панелей арматурними в'язями. Відбувається постійне вдосконалення вертикальних стиків стінових панелей, направлене на спрощення технології їх виготовлення та монтажу і покращення умов експлуатації будівель. Монолітний стик із використанням тросових петель для з'єднання стінових панелей має ряд переваг, котрі можуть сприяти його широкому розповсюдженню.

Для розв'язання задач міцності залізобетонних елементів при зрізі перспективним є застосування теорії пластичності. В ПолтНТУ

запропонована загальна методика розрахунку шпонкових стиків залізобетонних стінових панелей, котра враховує характеристики міцності бетону замоноличування, параметри шва, поперечне й поздовжнє армування. Методика є доволі точною, добре збігається з дослідом і дозволяє оптимізувати конструкцію й армування стиків.

**1.** Галінський О. М. Відновлення та розвиток панельного домобудівництва – шлях до масового спорудження доступного та соціального житла в Україні / О. М. Галінський, В. О. Іваненко, А. А. Франівський, В. П. Омельчук // Новітні технології в будівництві. – 2012. – №1 – 2 (23 – 24). – С. 58-60. **2.** Потерщук В. А. Конструктивные системы индустриального домостроения на основе современной гибкой заводской технологии // В. А. Потерщук, Т. М. Петцольд // Современные методы индустриального домостроения: энергоэффективные системы и конструктивно-технологические решения: матер. межд. научн.-практ. конф. 13-14 июля 2011 г. – Минск. – С. 5-11. **3.** Технологии и производство сборных железобетонных изделий: Гатчинский ССК: буклет. – 52 с. **4.** Прочность и жесткость стыковых соединений крупнопанельных конструкций. Опыт СССР и ЧССР / Е. Горачек, В. И. Лишак, Д. Пуме и др.; Под ред. В. И. Лишака. – М.: Стройиздат, 1980. – 192 с. **5.** Маклакова Т. Г. Конструкции гражданских зданий: учебник / Т. Г. Маклакова, С. М. Нанасова. – М.: АСВ, 2000. – 280 с. **6.** Розанов Н. П. Крупнопанельное домостроение / Н. П. Розанов. – М.: Стройиздат, 1982. – 224 с. **7.** Jesper H. Sørensen Construction-friendly ductile shear joints for precast concrete panels / Jesper H. Sørensen, Linh C. Hoang, Gregor Fischer and John F. Olesen// Technical University of Denmark. – Lyngby, 2015. **8.** Киреева Э. И. Крупнопанельные здания с петлевыми соединениями конструкций// Жилищное строительство. – 2013. – №9. – С. 47-50. **9.** Суур-аскола П. Технологически усовершенствованный продукт от компании Peikko – тросовая петля PVL // Жилищное строительство. – 2013. – №3. – С. 21-25. **10.** Bjarne Chr. Jensen. On the ultimate load of vertical, keyed shear joints in large panel buildings / Bjarne Chr. Jensen // Technical University of Denmark. DK-2800. – Lyngby, 1975. **11.** Jørgensen Load carrying capacity of keyed joints reinforced with high strength wire rope loops/ Jørgensen, Henrik B.; Hoang, Linh Cao. In Proceedings of fib Symposium Concrete – Innovation and Design, Copenhagen May 18-20, 2015. **12.** Дербенцев И. С. Несущая способность и деформативность шпоночных соединений с петлевыми гибкими связями в стыках крупнопанельных многоэтажных зданий: дис. на соискание ступеня кандидата техн. наук: спец. 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» / И. С. Дербенцев; Южно-Уральский государственный университет, 2014. – 158 с. **13.** Довженко О. О. Міцність шпонкових з'єднань бетонних і залізобетонних елементів: експериментальні дослідження: Монографія. – Полтава: ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, 2015. – 181 с. **14.** Довженко О. О. Методика розрахунку шпонкових з'єднань залізобетонних елементів // О. О. Довженко, В. В. Погрібний, Ю. В. Чурса // Вісник національного університету «Львівська політехніка». Серія «Теорія і практика будівництва». – Львів, 2013. – №755. – С. 111 – 117. **15.** Nielsen, M. P. Limit Analysis and Concrete Plasticity / M. P. Nielsen, and L. C. Hoang. 3rd edition – CRC Press, Taylor & Francis Group. – 2011.