

УДК: 691.413/419

*Старчук В.Н., канд. техн. наук, ст.н.сп.,
Старчук Я.В., мол. наук.сп.,
Київський національний університет будівництва та
архітектури, м.Київ, Україна*

ЕФЕКТИВНІ ЗАЛІЗОБЕТОННІ КОНСТРУКЦІЇ БЕЗОПАЛУБНОГО ФОРМУВАННЯМ ДЛЯ ЕКОНОМІЧНОГО ЖИТЛОВОГО БУДІВНИЦТВА

Одним із важливих напрямків нарощування обсягів відносно недорогого житлово-цивільного будівництва в Україні на сучасному етапі є впровадження нових, ефективних технологічних ліній безопалубного формування попередньо напружених економічних залізобетонних конструкцій (ЗБК) широкої номенклатури [1-4]. Особливе значення має виробництво наймасовіших ЗБК – пустотілих плит перекриття з високою якістю поверхні, точністю геометричних розмірів та ступенем заводської готовності. При цьому, актуальним є раціональний підбір технологічного обладнання та оптимізація складу бетонних сумішей при використанні різних формувальних агрегатів з урахуванням можливостей якісного ущільнення таких сумішей і інтенсивного тверднення бетону в конструкціях.

Згідно вимог ДСТУ Б В.2.6-2-95 [5] та інших нормативних документів, відхилення лінійних розмірів пустотілих панелей не повинно перевищувати по довжині та ширині ± 5 мм, а по товщині ± 3 мм. Панелі повинні мати прямолінійні грані; викривлення бокових поверхонь не повинно перевищувати 3 мм на довжині 2 м і не більше 8 мм по всій довжині панелі. Нижня поверхня повинна бути гладкою, готовою без додаткової обробки на будівельному майданчику до пофарбування або наклейки шпалер. На ній не допускаються місцеві напливи, жирові та плями іржі з відкритими повітряними порами діаметром та глибиною більше 2 мм. Верхня поверхня повинна бути готовою до укладання лінолеуму, або влаштування чистової підлоги з використанням інших матеріалів.

Тому ставилась задача на основі накопиченого досвіду експлуатації основного обладнання технологічних ліній безопалубного формування ЗБК на довгих настилах (стендах), інформації від виробників технологічного обладнання та ін. матеріалів виконати аналіз технологій і обладнання, виявити їхні переваги і недоліки та визначити оптимальний склад і постачальників обладнання з урахуванням особливостей використання вітчизняних бетонних сумішей. Важливо також визначити можливість виробництва окремих агрегатів та обладнання для таких ліній в Україні.

При аналізі використали матеріали таких відомих фірм, як “Spancrete” (США), “Maхrot” та “Weiler” (Німеччина), “ЕСНО” (Бельгія), РСЕ “Engineering” (Фінляндія), “Вибропресс” (РФ), “Nordimpianti” (Італія), “Prensolanda” (Іспанія) та ін., які виготовляють і поставляють багатьом країнам світу комплекти технологічного обладнання. Таке обладнання впроваджене на ряді заводів ЗБК в РФ, Білорусі, а в останні роки і в Україні та відрізняється рядом технічних параметрів, що значно впливають на техніко-економічні показники кінцевої продукції – залізобетонні конструкції, в т.ч.: якість поверхні, точність геометричних розмірів та ступінь заводської готовності виробів в процесі їх формування і тверднення.

При підготовці рекомендацій з підбору та оптимізації складу бетонної суміші оцінювали якість поверхні пустотілих панелей перекриття, виготовлених безопалубним формуванням на окремих заводах ЗБК в м. Москва (РФ) та Україні.

Як відомо, методом безопалубного формування виготовляють лінійні попередньо-напружені залізобетонні конструкції різного профілю, геометричні розміри яких відрізняються в значних межах (табл. 1). Виробництво попередньо-напружених залізобетонних конструкцій на довгих настилах включає наступні технологічні операції: очищення, в т.ч. вакуумне, змащування

формувальних настилів, розкладання та попереднє напруження арматури, формування, укріття виробів, низькотемпературний прогрів, розпилювання на необхідні розміри, зняття і складування виробів.

Таблиця 1 – Попередньо напружені залізобетонні конструкції, що виготовляються методом безопалубного формування

Найменування виробів	Геометричні розміри, мм		
	Ширина	Висота	Довжина (на замовлення)
Пустотілі панелі внутрішніх стін	300-600	50-150	До 3500
Пустотілі панелі перекриття	1200-2400	200-450	До 12000
Огороджувальні “СЕНДВІЧ” панелі	1200-2400	120-450	До 12000
Шумовідбивні стінові панелі (екрани) гладкі або профільовані	1200-2400	70-200	До 12000
Палі квадратні, прямокутні або Т-подібного перерізу	150-450	150-600	До 12000
Несучі балки, віконні перемички, стійки огорож та ін. необхідного перерізу	120-450	120-450	До 9000

Машинобудівні фірми, як правило, виготовляють та забезпечують комплектну поставку, монтаж, введення в експлуатацію і сервісне обслуговування різноманітного технологічного обладнання, в т.ч.:

- машин для чистки формувальних поверхонь настилів;
- машин для розкладання високоміцної проволочи та канатів;
- машин для безопалубного вібраційного або екструзійного формування залізобетонних конструкцій зі змінними пристроями та комплектуючими;
- стандартних напівавтоматичних, автоматичних або універсальних машин різних типів для поперечного, поздовжнього розпилю, а також розпилю під будь-яким кутом;
- формувальних настилів з різними системами підігріву;
- машин для попереднього напруження сталевих арматур;
- пристроїв для зняття напруження сталевих арматур;
- машин подачі бетонної суміші;
- різних інструментів та пристроїв для обслуговування машин;
- пристроїв для зняття готової продукції.

Серед технологічного обладнання основними, найскладнішими є машини для безопалубного формування залізобетонних конструкцій, технічні характеристики яких визначають техніко-економічну та енергетичну ефективність технологічних ліній і виготовлених на них залізобетонних конструкцій.

Як видно з даних табл. 2, одно стадійні бетоноукладчики мають просту конструкцію, надійні та енергоекономічні в роботі, їх просто переналагоджувати, обслуговувати та ремонтувати. Хороша якість нижньої поверхні таких виробів досягається в процесі їх вібраційного формування, а верхня поверхня потребує додаткового загладжування після початку процесів гідратації та структуроутворення портландцементу і набору бетоном структурної міцності. Використання таких формуючих машин обумовлює високе значення В/Ц, навіть при використанні якісних пластифікаторів, великі витрати цементу, низький темп набору міцності бетоном, відносно низькі стиранисть, морозостійкість та міцність.

БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, ВИРОБИ ТА САНІТАРНА ТЕХНІКА

В формувальних машинах зовнішні вібратори та рухлива опалубка укладають та ущільнюють бетонну суміш пошарово (2 – 3 шари). Такі машини є енерго-економічними, не дорогі та не складні в обслуговуванні. В них можуть бути використані заповнювачі середньої якості і цемент марки М 400. Для бетонів не високих марок при відповідному обґрунтуванні можуть бути використані піщано-гравійні або малощобенові суміші заповнювачів. Однак, потребують підвищених витрат цементу та значного часу для набору бетоном розпалубної міцності.

Таблиця 2 – Основні технічні характеристики формувальних машин для безопалубного формування ЗБК

Найменування	Укладання бетонної суміші	Ущільнення бетонної суміші	Витрати цементу, кг/м ³ та В/Ц	Переваги / недоліки
Одностадійний бетоноукладчик	В камеру стиску під дією власної ваги	Вібраційний пристрій	400-480, 0,38-0,42	Енергоекономічна, доступні обслуговування та ремонт / просідання бетону, низька якість поверхні, великі витрати цементу та низький темп набору міцності
Формувальна машина	Як правило, в 2-3 шари	Зовнішній вібратор та рухлива опалубка	320-370, 0,36-0,38	Енергоекономічна, доступні обслуговування та ремонт / недостатня якість поверхні, суттєві витрати цементу та термін твердіння
Компактний екструдер	Під тиском формуючих органів	Шнеки, що обертаються та вібрують	310-350, 0,35-0,37	Висока якість поверхні, економія цементу, достатній темп набору міцності / підвищені витрати на заміну шнеків
Вібраційний екструдер	Під дією вібрації та тиску формуючих органів	Зовнішня вібрація, шнеки, що обертаються та вібрують	300-340, 0,33-0,35	Висока якість поверхні, економія цементу, достатній темп набору міцності / високі витрати на заміну шнеків

Екструдери здійснюють ущільнення бетонної суміші під тиском та вібрації шнеків, що обертаються, витісняючи бетонну суміш через отвори формуючої оснастки. Формування здійснюється в горизонтальній площині, а рух формуючої машини відбувається у зв'язку з її відштовхуванням від готового виробу. Їх використання дозволяє формувати вироби висотою більше 500 мм, забезпечує високу якість поверхонь ЗБК, в т.ч. нижньої та верхньої поверхонь пустотілих панелей та відносно невисокі витрати цементу. В той же час для таких машин необхідне використання високоякісних заповнювачів та цементу, для них характерні підвищені витрати на придбання та заміну шнеків.

Вібраційні екструдери з, як правило, рухливими обмежувачами бортами та вібраційними, що обертаються, шнеками забезпечують найефективніше в порівнянні з іншими машинами ущільнення жорстких бетонних сумішей. Використання таких формуючих машин дозволяє економічно використовувати цемент та формувати пустотілі панелі з високою якістю поверхні бетон в яких при низькотемпературному прогріві інтенсивно набирає міцність. Фізико – механічні властивості таких бетонів високі: міцність на стиск 100 МПа, морозостійкість вище 300 циклів, марка по водонепроникності перевищує значення W10 тощо.

Наступним, особливо важливим чинником якості нижньої поверхні пустотілих панелей є якість поверхні формуючого настилу, який підігрівається до температури 60–70°C, якість мастил та змащення. Частіше формуючі настили монтують із секцій заводського виробництва, що включають рами, рейки, ефективні утеплювачі системи підігріву та металеві листи товщиною 12 – 14 мм. Наявність температурних деформацій вимагає спеціальних конструктивних рішень закріплення металевих листів при влаштуванні настилів. Секційні настили легко і швидко монтуються, однак мають достатньо високу вартість. Тому розроблені та отримують поширення багат шарові бетонні основи формуючих настилів. Такі настили складаються, як правило із наступних шарів: нижня бетонна стяжка; утеплювач; середня бетонна стяжка; системи підігріву; верхня бетонна стяжка; металевий лист або полімермінеральне покриття верхньої бетонної стяжки.

Таблиця 3 – Порівняння основних показників формуючих машин для безопалубного формування пустотілих панелей переkritтя із жорстких та рухливих бетонних сумішей

Показники формуючої машини	Бетонна суміш	
	Жорстка, від 21 до 35 с	Рухлива, від 10 до 20 см ОК
Вага в завантаженому бетонною сумішшю стані, тн	До 10	До 5
Органи ущільнення бетонної суміші	1. Шнеки, системи внутрішніх та зовнішніх вібраторів 2.Трамбуючий пристрій та вібратори потужністю близько 12 кВт	Вібраційний пристрій потужністю близько 1,5 кВт
Подача бетонної суміші	Двоступенева: з переднього та заднього бункерів відповідно з гідравлічним та ексцентриковим управлінням заслінкою	Одноступенева
Пристрій для переміщення по направляючих	Електричний привід з чотирма ведучими колесами та максимальною робочою швидкістю до 4 м/хв. і швидкістю холостого ходу до 15 м/хв.	Механічний привід
Швидкість формування однотипних виробів, п. м./хв.	1,2 – 4,0	1,2-2,8
Термін твердіння до набору бетоном 70% міцності на стиск, год:	8-18	28-40

Аналіз даних табл. 2 та 3 свідчить, що використання формуючих машин, здатних ущільнювати жорсткі бетонні суміші, дозволяє виготовляти більш економічні залізобетонні конструкції за рахунок зменшення витрат цементу, терміну прогріву та збільшення продуктивності технологічних ліній. Однак, нижня поверхня конструкцій із таких сумішей недостатньо гладка і в окремих випадках потребує шпаклювання. Конструкції із рухливих сумішей мають гладку нижню поверхню, але при їх формуванні спостерігається витікання через щілини між формуючим органом та поверхнею настилу цементного молочка та незначної кількості розчину, що обумовлює не щільну структуру бетону в нижніх зонах виробів. Щойно виготовлені вироби із рухливих бетонних сумішей мають низьку міцність, тому в них можливі деформації вертикальних стінок та деформації і руйнування верхніх полицок.

Виконаний аналіз фактичних даних якості поверхні пустотілих панелей, які виготовлялися безопалубним формуванням на окремих заводах ЗБК в м. Москва (РФ) та в Україні свідчить про необхідність дотримання наступних основних рекомендацій при приготуванні бетонної суміші та формуванні панелей:

- високий рівень технологічної культури: висока якість сировинних матеріалів, врахування вологості заповнювачів, точність дозування компонентів, якість приготування бетонних сумішей, армування виробів та їх формування;

- підвищення витрат піску від 0,4 до 0,43 маси заповнювачів та, відповідно, збільшення розчинної складової в бетонній суміші;

- використання щебеню фр. 5 (3) – 10 мм, які відповідають вимогам нормативних документів. Наявність в щебені, а також в піску зерен діаметром більше 10 мм не допускається через можливе зависання таких зерен і утворення раковин та каверн в структурі бетону та на його поверхні;

- нанесення після змащення на формувальний настил пластифікуючої бетонну суміш поверхнево активної композиції;

- використання дисперсних активних мінеральних наповнювачів, в т.ч. золи – винесення, молотих піску, горілих порід, доменного гранульованого та паливного шлаків тощо – не менше 15% від маси цементу;

- забезпечення жорсткого контролю технологічного процесу, особливо відповідності зручноукладальності бетонної суміші можливостям якісного її ущільнення формуючими машинами;

- загладжування після формування, при необхідності, верхньої поверхні панелей спеціальними пристроями формуючих машин, або додатковими машинами тощо.

Використання високоякісних з високою точністю геометричних розмірів панелей перекриття дозволяє вести інтенсивно монтаж перекриття з отриманням якісних поверхонь стель, які після заповнення і загладжування швів між панелями готові до пофарбування або наклеювання шпалер (рис. 1).



Рисунок 1 – Стеля із високоякісних плит перекриття безопалубного формування ПАТ «Чернігівський «Домобудівник» після облаштування стиків готова до пофарбування або наклеювання шпалер

Аналіз даних табл. 4 свідчить, що особливою перевагою пустотілих панелей перекриття безопалубного формування на довгих настилах, є їх менша на 40-50% бетоноємність і вага в порівнянні з повнотілими виробами та невеликі, в залежності від величини навантаження і довжини, витрати для їх армування високоміцного дроту Вр-II діаметром 5 мм (табл. 4), або

канатів діаметром 6 і 9 мм. Так, при довжині пустотілих панелей 3,6 м та розрахунковому навантаженні 400 кг/м², витрати сталеві арматури складуть 1,15 кг/м², а для панелей довжиною 9 м і навантаженні 1000 кг/м²- 6,28 кг/м². Це в 2,0-3,5 рази менше в порівнянні з витратами арматури для армування панелей, що виготовляються по агрегатно-поточній технології та в 4-8 разів менше в порівнянні з витратами арматури в суцільних монолітних перекриттях товщиною 20 см сучасних каркасно-монолітних житлових будинків.

Таблиця 4 – Витрати високоміцного дроту ВР II діаметром 5 мм при безопалубному формуванні попередньо напружених пустотілих панелей перекриття кг/шт/м²

Уніфіковане розрахункове навантаження кгс/м ²	ППС 90-12		ППС 72-12		ППС 60-12		ППС 48-12		ППС 36-12	
	Кількість стержнів в нижній зоні	Вага арматури (кг), виробу/м ²	Кількість стержнів в нижній зоні	Вага арматури (кг), виробу/м ²	Кількість стержнів в нижній зоні	Вага арматури (кг), виробу/м ²	Кількість стержнів в нижній зоні	Вага арматури (кг), виробу/м ²	Кількість стержнів в нижній зоні	Вага арматури (кг), виробу/м ²
1000	45	---	27	34,3/3,97	18	20,3/2,82	12	11,8/2,05	8	6,62/1,53
800	35	67,8/628	23	29,9/3,46	15	17,5/2,43	10	10,3/1,79	7	6,07/1,41
600	27	53,9/4,99	18	24,3/2,81	12	15,7/2,18	9	9,57/1,67	6	5,52/1,28
400	22	42,9/3,97	15	21,0/2,43	11	13,8/1,92	7	8,83/1,53	5	4,97/1,15

Примітка: Кількість стержнів в верхній зоні – 4.

Згідно пропозицій ряду зарубіжних виробників вартість комплексу технологічного обладнання для розміщення в приміщенні цеху 18x120 м складає від 1,5 до 3,0 млн. євро. У вартість замовлення не входять: страхові витрати при транспортуванні; митні витрати та податки. За попередніми даними окупність технологічної лінії може скласти 4–5 років. Ефективність впровадження технологічної лінії безопалубного формування та використання пустотілих панелей перекриття зростає в умовах впровадження збірно-монолітних (каркасних збірно-монолітних) житлових будинків.

Висновки. Технологія безопалубного формування найбільш масових ЗБК – попередньо напружених пустотілих панелей перекриття та інших конструкцій на довгих настилах є перспективною для впровадження на ряді заводів залізобетонних конструкцій та зниження вартості для виконання програм соціального та доступного житлового будівництва в Україні.

Витрати сталеві арматури при безопалубному формуванні пустотілих панелей в 2,0-3,5 рази нижчі, ніж при традиційному виробництві таких виробів за агрегатно-поточною технологією і в 4-8 разів менші у порівнянні з витратами арматури в монолітних перекриттях каркасно-монолітних житлових будинків.

При безопалубному формуванні отримують якісні панелі перекриття з високою точністю геометричних розмірів і якістю поверхні стелі, готовою для оздоблювальних робіт. При цьому способі збільшується продуктивність та покращуються умови праці.

Використання жорстких бетонних сумішей дозволяє зменшити витрати цементу, а відповідно, енергоємність у порівнянні з рухливими сумішами на 20-35 %, та скоротити термін тверднення до набору бетоном 70% міцності на стиск виробів на 30%. В умовах зростання вартості енергоресурсів особливо перспективними для безопалубного формування залізобетонних конструкцій на заводах ЗБВіК є формуючі машини з потужними ущільнюючими органами.

Для здешевлення технологічного обладнання та будівельно-монтажних робіт доцільно розробити типові конструкції блок-настилів, в т.ч. з елементами низькотемпературного прогріву залізобетонних конструкцій, а також окремого технологічного обладнання. При підборі складів бетонних сумішей з використанням вітчизняних матеріалів: гранітного щебеню фр. 5-10 мм, крупнозернистого піску та портландцементу М500, а також комплексних хімічних добавок, необхідно оптимізувати з урахуванням характеристик використовуваних формувальних машин та терміну транспортування і укладання склади бетонних сумішей, використання яких наряду з міцністю забезпечать високу точність геометричних розмірів та якість поверхні панелей перекриття.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рунова Р.Ф., Гоц В.І., Назаренко І.І. і ін. Конструкційні матеріали нового покоління та технології їх впровадження у будівництво. – Київ: ТОВ УВПК «ЕксОб», 2008. – С. 355.
2. Поляченко В.А., Величко В.О., Старчук В.Н. Шил юк П.С., Старчук В.Я. Спосіб зведення багатоповерхової збірно-монолітної будівлі. Патент України № 64935. – Бюлетень винаходів №3, 2004.
3. Пилипенко В.М. Перспективы развития современного индустриального домостроения в Беларуси. // Архитектура и строительство №7 – Минск, 2007, - с. 55 – 57.
4. Дмитриев А.Н. Московский опыт и перспективы реализации проекта «Доступное и комфортное жилье – гражданам России» на основе индустриальных методов строительства. // Промышленное и гражданское строительство №7 – М., 2010, - с. 40 – 42.
5. ДСТУ Б В.2.6-2-95. Конструкції будинків і споруд. Вироби бетонні і залізобетонні. Загальні технічні умови.