

# ЗАЛІЗОБЕТОННІ КОНСТРУКЦІЇ, БУДІВЛІ ТА СПОРУДИ

УДК 624.01

## АНАЛІЗ СПОСОБІВ ПОПЕРЕДНЬОГО ОБТИСКУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

М.Г.ЧЕКАНОВИЧ – к.т.н., доцент, Херсонський ДАУ

Створення попереднього обтиску в залізобетонних конструкціях має багатоваріантне вирішення. На сьогодні розроблена велика кількість пропозицій щодо здійснення попереднього напруження. Розглянути в повній мірі можливі способи попереднього напруження і передачі сил попереднього напруження, проаналізувати їх стало вже нагальною потребою для осмислення і подальшого поступу в будівництві.

Загальновідомі традиційні способи натягання арматури – “на упори” та “на затверділий бетон”. Але ними далеко не вичерпуються можливі способи попереднього напруження залізобетонних конструкцій. Розглянемо всі варіанти попереднього напруження на компоненти бетону та їх суміш. Бетон, як відомо, складається щонайменше з чотирьох компонентів: цемент – Ц, пісок – П, щебінь – Щ та вода – В. За математичною комбінаторикою, сполучення комбінацій способів передачі попереднього напруження визначається формулою:

$$C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!} \quad (1)$$

При чотирьох компонентах бетону й упорах устаткування маємо п'ять математичних елементів  $n$ , на які гіпотетично може передаватися попереднє напруження. Кількість всіх сполучень  $C$  з одного елементу  $k$  за формулою (1) становить п'ять, з двох – десять, з трьох – десять, з чотирьох – п'ять, з п'яти – одне. Сума всіх сполучень  $C_5^1 + C_5^2 + C_5^3 + C_5^4 + C_5^5$  становить 31. Біноміальні коефіцієнти  $C_n^k$  можна також визначити з так званого трикутника Паскаля. За третьою властивістю біноміальних коефіцієнтів сума їх в біномі рівна  $2^n$ . В нашому випадку при  $n=5$  відповідь становить 32. Врахувавши, що випадок, коли передача попереднього напруження не здійснюється на жоден з перелічених елементів, не має фізичного змісту, і такий випадок один ( $C_5^0 = 1$ ), одержимо вже відомий нам результат - 31. Таким чином, можна вважа-

ти, що, не враховуючи хімічні домішки та повітря в бетоні, що складають його мізерну частку, всього можливих варіантів попереднього натягу арматури “на ...” тридцять один. При цьому кількість варіантів передачі попереднього напруження на один менше, так як кінцева передача попереднього напруження на упори не має сенсу.

Для аналізу гіпотетично можливих способів попереднього напруження зручно їх представити таблицею (табл.1).

Таблиця 1 – Способи попереднього натягу арматури та їх аналіз

№ вар	На компоненти бетону в формі				На упори	Утворення кам'яного матеріалу можливе		Передача попереднього напруження на штучний матеріал технічно можлива
	Ц	П	Щ	В		без застережень	за умови введення після обтиску	
1	*						В	Так
2	*--	--*					В	Так
3	*--	--*	--*				В	Так
4	*--	--*	--*	--*		Так		Так
5	*--	--*	--*	--*	--*	Так		Так
6	*--	--*	--*		--*		В	Так
7	*--	--*		--*		Так		Так
8	*--	--*		--*	--*	Так		Так
9	*--	--*			--*		В	Так
10	*--		--*				В	Так
11	*--	--*	--*			Так		Так
12	*--		--*	--*	--*	Так		Так
13	*--		--*		--*		В	Так
14	*--			--*		Так		Так
15	*--			--*	--*	Так		Так
16	*--				--*		В	Так
17	*							Ні
18	*--	--*						Ні
19	*--	--*	--*					Ні
20	*--	--*	--*	--*				Ні
21	*--	--*		--*				Ні
22	*--			--*				Ні
23	*--			--*	--*			Ні
24	*--				--*			Ні
25			*				Ц+В (+П)	Так
26			*--	--*				Ні
27			*--	--*	--*			Ні
28			*--		--*		Ц+В (+П)	Так
29				*				Ні
30				*--	--*			Ні
31				*		Так		Так

Примітки: В таблиці наведені дані, що відображають сьогоdnішній технологічний рівень розвитку будівництва та його найближчі перспективи. Подальший прогрес в способах створення конструкцій з попереднім обтиском може розширити межі здійснених вирішень на базі нового технологічного рівня будівництва. В таблиці розглянуті лише механічні способи натягу арматури як найбільш надійні.

В таблиці елементи позначені зірочкою, а їх сполучення – пунктирною лінією. Четвертий варіант в таблиці втілює в собі два вирішення натягу арматури: на повнокомпонентну бетонну суміш та на затверділий бетон.

Звичайно, крім наведених в таблиці, можливі варіації способів, щодо особливих складів бетону, технологій його приготування, а також способи, що стосуються арматури та передачі попереднього напруження. Таких варіацій навіть тільки за патентними даними не одна сотня, тому в нашому дослідженні ми обмежилися лише тими, які є найбільш суттєвими на наш погляд. Та навіть серед цих згаданих багато таких, що технологічно роблять майже нездійсненим утворення штучного кам'яного матеріалу, сильно обмежують величину попереднього обтиску і не дозволяють зберегти попереднє напруження в готовій залізобетонній конструкції.

З тими чи іншими особливими умовами натягнути арматуру гіпотетично можливо на кожен компонент бетону та на їх суміш, якщо вони закладені в зачинену форму. Наприклад, вода повинна бути в герметичній формі для можливості натягу на неї арматури. В таблиці це варіанти 29 і 30. Але створити при цьому конструкцію зі штучного кам'яного матеріалу практично неможливо. Те саме стосується стисненого піску. Його наситити з достатньою густиною цементною пастою або розчином на сьогодні технологічно неможливо. Отже матеріал не буде мати мінімально необхідної міцності. Тому варіанти 17-24 таблиці можуть вважатися недоцільними. Введення цементного в'язучого в щебінь з водою при забезпеченні його рівномірного розподілення технологічно занадто складне. Тому варіанти 26,27 можна відкинути як нездійснені. Оскільки вказані 12 варіантів не дають можливості сформувати належної якості тіло конструкції, то звичайно й передати попереднє напруження тут неможливо (див. графу 9 табл.1). Таким чином, з гіпотетично можливих за математичною комбінаторикою 31 варіантів попереднього напруження арматури конструкцій для практики будівництва придатні не більше як 19. Але й ці варіанти способів далеко не рівноцінні, частина з них мають ряд застережень і потребують ретельного аналізу з точки зору доцільності.

Доцільність способів “на упори” та “на затверділий бетон” немає потреби розглядати. Вся практика світового будівництва - найкращий доказ їх доцільності. Останній 31 варіант натягу арматури на упори при

наявності власне тіла конструкції з штучного кам'яного матеріалу, на який передається попереднє напруження, цілком здійснений і перевірений практикою.

Якщо класифікувати за видом кам'яного матеріалу, що очікується одержати, то в варіантах 3-6, 25, 26 і 31 можна одержати повнокомпонентний бетон, в варіантах 10-13 - лише крупнопористий бетон, в варіантах 7-9 - дрібнозернистий бетон (розчин) і за варіантами 1, 2, 14-16 цементний камінь (мікробетон). Як відомо, крупнопористому бетону властива низька міцність. Концентрація напруг в місцях контакту зерен заповнювача призводить до їх руйнування при попередньому обтиску навіть низьких рівнів, що робить проблематичним застосування такого бетону як конструкційного. Тому можна вважати цілком обгрунтованим зняття з розгляду варіантів залізобетонних конструкцій з крупнопористого бетону як попередньо обтиснених. В результаті, для подальшого розгляду залишилося 15 варіантів способів попереднього напруження. При цьому спосіб обтиску бетонної суміші може мати варіацію вирішення як для рухомого 4, так і твердого 4\* станів.

Для варіантів, що включають обтиск компонентів та їх суміші, цілком справедливо ввести класифікацію "на суху" та "на зволожену суміш" (табл.2).

Варіанти способів попереднього натягу арматури на суміш, що включають повну або часткову передачу попереднього напруження на упори мають, більш високу вірогідність збереження зусилля обтиску в готовій конструкції. В таблиці 2 такими виступають варіанти 5, 6, 8, 9, 15, 16, 28. Практично виготовлення таких попередньо напружених елементів здійснюється шляхом попереднього обтиску суміші, після ущільнення якої зусилля частково або повністю передається на нерухомий упор.

Якщо обтиск зволжених сумішей більш менш досліджений, то сухих потребує вивчення. Автором були проведені експериментальні дослідження вказаних в таблиці 2 способів передачі попереднього напруження.

Проведені експериментальні дослідження засвідчили, що цементний камінь або мікробетон, обтиснений як до так і після зволоження, має високу міцність і щільність. При значних тисках виробам з обтисненого сухого цементу властива більш якісна структура, відсутність крупних пор, менші власні деформації при твердінні й можливість досягнення міцності на стиск до 150 МПа. З такого матеріалу можуть виготовлятися високоміцні деталі та дрібні елементи для будівельної галузі та машинобудування.

Таблиця 2 – Доцільність способів попереднього напруження конструкцій

№ п/п	Натяг арматури	Характеристика попередньо стисненого матеріалу			Застосування
		Назва	Склад	Вар.	
1	На суху суміш або на суху суміш та упори	Бетонна суміш	Ц:П:Щ	3 6	Товстостінні, масивні конструкції
		Розчин	Ц:П	2 9	Тонкостінні конструкції
		Цемент	Ц	1 16	Тонкостінні елементи та деталі.
		Щебінь	Щ	25 28	Масивні конструкції
2	На зволожену суміш або на зволожену суміш та упори	Бетонна суміш	Ц:П:Щ:В	4 5	Товстостінні, масивні конструкції
		Розчин	Ц:П:В	7 8	Тонкостінні конструкції
		Цементна паста	Ц:В	10 15	Тонкостінні елементи та деталі.
3	На упори	-	-	31	Визначається матеріалом тіла конструкції
4	На бетон	Бетон	Ц:П:Щ:В (твердий стан)	4*	Товстостінні, масивні конструкції

Обтиск суміші цементу та дрібного заповнювача як до так і після зволоження дає можливість отримати якісний, але менш міцний матеріал. У випадку обтиску сухої суміші складу 1:1 максимальна міцність на стиск склала 102 МПа. Зменшення витрат цементного в'язучого нижче 1:2 не дозволяє забезпечити рівномірне його розподілення і призводить до погіршення якості. Елементи з обтисненої суміші цементу та дрібного заповнювача можуть мати застосування в окремих елементах при будівництві.

Повнокомпонентний бетон, обтиснений після зволоження, може забезпечити міцність в 1,5 – 2 рази вищу, ніж звичайний. В випадку обтиску сухої суміші технологічно складно забезпечити рівномірне розподілення в'язучого матеріалу, так як частка його в об'ємі тут ще нижча, ніж в розчині. Високі витрати цементу економічно можуть бути не виправдані, і тому тут необхідні додаткові дослідження та нові пропозиції. Слід відзначити, що для всіх варіантів обтиску суміші, як сухої так і зволоженої, характерний менший вплив на міцність марки цементу і більша значимість його витрат порівняно з традиційними бетонами.

Таким чином, можна вважати виконаним попередній аналіз варіантів обтиску сумішей та їх компонентів, визначеними перспективні й доцільні способи, вперше дослідженими способи отримання будівельних елементів з обтиснених сухих цементних сумішей.