

УДК 624.154.536

ДОСЛІДНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПРОЦЕС БЕТОНУВАННЯ БУРОНАБИВНИХ ПАЛЬ

ОПЫТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПРОЦЕСС БЕТОНИРОВАНИЯ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE BASIC TECHNOLOGICAL PARAMETERS INFLUENCING THE PROCESS OF CONCRETING OF BORED PILES

Грецький Д.В., к.т.н., (Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси)

Грецкий Д.В., к.т.н., (Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси)

Gretskiy D.V., candidate of technical sciences (Cherkasy State Technological University)

В цій статті відмічається о недоліках стандартних методів бетонування буронабивних палей. Експериментально проаналізовано закономірності та головні фактори поширення бетонних сумішей при бетонуванні тіла палей напірним методом. Виконано порівняльний аналіз бетонування буронабивних палей різними методами.

В этой статье отмечается о недостатках стандартных методов бетонирования буронабивных свай. Экспериментально проанализированы закономерности и главные факторы распространения бетонных смесей при бетонировании тела сваи напорным методом. Выполнен сравнительный анализ бетонирования буронабивных свай разными методами.

In this article marked about the lacks of standard methods of concreting of bored piles. Conformities to law and main factors of distribution of concrete mixtures are experimentally analysed at concreting of body of pile by a pressure method. The comparative analysis of concreting of bored piles different methods is executed.

Ключові слова:

Бетон, буронабивні палі, методи бетонування.

Бетон, буронабивные сваи, методы бетонирования.

Concrete bored piles, concrete methods.

Вступ. У нинішній час бетонування буронабивних паль здійснюється за допомогою наступних методів: за допомогою бункерів (контейнерів), що саморозкриваються; "висхідного розчину"; ін'єкційним; вібраційним; вертикального переміщення труби (ВПТ), [1, 2, 3]. Відмінність методів полягає у наступному.

Аналіз існуючих методів бетонування буронабивних паль показує, що всі вони мають загальні принципові недоліки, найбільш істотними з яких є:

- перериви у технологічному процесі бетонування;
- неминучість змішування бетонної суміші з водою або глинистим розчином, в результаті можливість розшарування;
- великі об'єми ручної праці;
- низька інтенсивність бетонування.

Аналіз останніх досліджень. Вирішенню питань по вдосконаленню технології бетонування та підвищення якості бетону при влаштуванні буронабивних паль присвячений ряд робіт радянських і закордонних вчених І.Н. Ахвердов, В.І. Дмитрієвський, Г.А. Захарченко, С.Н. Курочкін, П.В. Проценко Д.А. Романов та інші.

Постановка мети та завдань досліджень. 1. Експериментальний аналіз закономірностей поширення бетонних сумішей при бетонуванні тіла палі напірним методом, аналіз головних факторів, що впливають на процес бетонування. 2. Порівняльний аналіз застосування бетонування буронабивних паль методом напірного бетонування та загальновідомого методу ВПТ.

Методика досліджень. Всі перелічені недоліки, що було наведено, можна усунути шляхом застосування нового сучасного устаткування та методом напірного бетонування. Згідно цього виникає необхідність експериментального дослідження бетонування буронабивних паль напірним способом.

Результати досліджень. У роботах, виконаних вітчизняними та закордонними вченими, [4, 5] основними технологічними факторами, що визначають процес подачі бетонної суміші по бетонолитним трубах є: рухливість бетонної суміші, гідростатичний тиск суміші в бетонолитній трубі та величина заглиблення бетонолитної труби в укладену бетонну суміш.

При примусовому нагнітанні бетонної суміші по бетонопроводу визначальним параметром є тиск, що створюється бетононасосною

установкою. Найповніше вплив усіх перерахованих факторів на характер руху бетонної суміші при напірному методі бетонування описує формула [6]:

$$h = \frac{D_c \cdot (P_b - \gamma' \cdot H \cdot 10^{-5})}{4 \cdot \tau - D_c (\gamma' - \gamma) \cdot 10^{-5}}, \quad (1)$$

де, h – висота підйому бетонної суміші у свердловині, м;

D_c – діаметр палі, м;

P_b – тиск на виході з напірного трубопроводу, тобто тиск, що розвивається нагнітальною установкою без врахування втрат тиску по довжині трубопроводу, МПа;

H – відстань від низу напірного трубопроводу до рівня поверхні води або глинистого розчину в свердловині, м;

γ, γ' – відповідно, об'ємна маса бетонної суміші і глинистого розчину (або щільність води), т/м³;

τ – гранична напруга на зрушення бетонної суміші, МПа.

Аналіз формули (1) показує, що вона отримана на основі припущення про тотожність закономірностей руху бетонної суміші в напірному трубопроводі і в свердловині. У ній прийнято, що суміш, яка нагнітається по бетонолитній трубі, рухається в свердловині у вигляді жорсткого недеформованого потоку [5, 6, 7]. При цьому діаметр потоку приймається рівним діаметру набивної палі D_c .

З прийнятих припущень виходить, що:

- при рівному тиску нагнітання висота підйому бетонної суміші в свердловині зростає із збільшенням діаметру свердловини;

- за наявності гідростатичного тиску стовпа води або глинистого розчину над бетонною сумішшю величина підйому рівня суміші перевищує значення, отримані для сухих свердловин. Це заперечує фізичну суть процесу руху бетонних сумішей в свердловині при їх примусовому нагнітанні, зважаючи на наступні причини. По-перше, бетонна суміш, що поступає у свердловину, на виході з напірного трубопроводу долає опір раніше укладеної суміші, піддаючись тискотропному руйнуванню своєї структури. При цьому сили гідродинамічного тиску потоку на раніше укладену суміш зменшуються по мірі віддалення від бетонолитної труби. Також, чим більший діаметр свердловини, тим більш високий тиск потрібний для того, щоб бетонна суміш розповсюдилася по усьому поперечному перерізу свердловини і відбувся підйом раніше укладеної суміші у вигляді "жорсткого недеформованого потоку" з діаметром рівним діаметру свердловини. По-друге, враховуючи, що при малих швидкостях (0.005 – 0.04 м/с) підйому бетонної суміші в свердловинах, згідно практичного досвіду, величина гідравлічного тертя в контактній зоні (стілки труби або свердловини) практично не залежить від швидкості руху суміші [6]. Тому вірогіднішим є те, що із збільшенням діаметру свердловини необхідно підвищувати тиск нагнітання на виході з бетонолитної труби для підтримки незмінної інтенсивності бетонування.

Крім того, формулою (1) не враховуються місцеві опори просування бетонної суміші в результаті тертя висхідного потоку бетонної суміші по поверхні арматурних стрижнів. Це робить неможливим застосування даної залежності для визначення основних технологічних параметрів бетонування буронабивних паль напірним методом та обумовлює необхідність проведення спеціальних досліджень по вивченню характеру розповсюдження і режимів руху бетонних сумішей в свердловинах.

Як робоча гіпотеза, було прийнято припущення, що бетонна суміш, що нагнітається в свердловину, розповсюджується по всьому поперечному перерізу до тих пір, поки сили гідродинамічної дії потоку не урівноважаться структурними та інерційними силами раніше вкладеної суміші. Це можливо тільки в початковий момент бетонування при незначному заглибленні бетонолитної труби в укладену суміш. При подальшому збільшенні заглиблення труби бетонна суміш, що нагнітається, розповсюджується по лінії найменшого опору руху, тобто вихід потоку відбувається в зоні тиксотропного руйнування структури укладеної суміші. Таким чином, при сталому режимі нагнітання утворюється ядро висхідного потоку, в якому напруга зрушення і в'язкість бетонної суміші мінімальні, зона нерухомої бетонної суміші з максимальними значеннями характеристик реологій, на верхні шари якої з ядра поступають порції суміші. Геометричні розміри ядра і нерухомої зони залежать від структурно-механічних характеристик бетонних сумішей, що нагнітаються так і тих, що раніше вкладені; ступеня тиксотропного руйнування структури суміші в ядрі; швидкості нагнітання по бетонолитній трубі та підйому суміші в свердловині; діаметру трубопроводу і свердловини. Причому структурно-механічні характеристики бетонної суміші в ядрі і нерухокій зоні залежать від швидкості і тиску нагнітання, діаметру бетонолитної труби і свердловини. Також ці характеристики є змінними у часі, що робить теоретичне рішення даної задачі досить складним і можливим лише на основі розробки спеціальних питань фізики і гідравліки. Крім того, при теоретичній розробці врахувати вплив характеристик складових бетонної суміші на режими її руху без експериментальних даних не є можливим. У зв'язку з цим для перевірки робочої гіпотези про характер розповсюдження бетонних сумішей, що нагнітаються у свердловину, та визначення параметрів процесу напірного бетонування були проведені комплексні експериментальні дослідження в лабораторних і натурних умовах.

Схема закономірності поширення бетонних сумішей при їхньому безперервному нагнітанні в свердловину під динамічним тиском зображено на рис. 1.

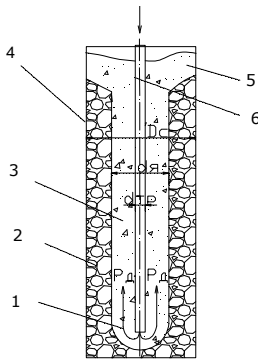


Рис. 1. Схема закономірності поширення бетонних сумішей при їхньому безперервному нагнітанні в свердловину під динамічним тиском P_d :
 1 – зона нагнітання; 2 – зона нерухомої бетонної суміші; 3 – ядро висхідного потоку бетонної суміші; 4 – стінка свердловини; 5 – вершина бетонного стовбура палі; 6 – напірний трубопровід.

D_c – діаметр буронабивної палі, що бетонується м;
 d_y – діаметр ядра висхідного потоку бетонної суміші, м;
 d_{mp} – діаметр напірного трубопроводу, м.

Стратегія експериментальних досліджень базувалась на отриманні даних, що є достовірними з практичними результатами і забезпечують можливість обґрунтування основних параметрів напірного методу бетонування буронабивних паль при мінімально можливій кількості дослідів.

Правомірність використання лабораторних результатів для практичних цілей перевірялася шляхом проведення вибірових виробничих дослідів з бетонними сумішами при використанні нагнітального устаткування (бетононасосна установка), обсадних і бетонолитних труб. На основі коригування за результатами перевірки лабораторних даних встановлювалися закономірності руху бетонних сумішей, що нагнітаються в свердловину, та визначалися залежності для визначення основних параметрів, що характеризують даний процес.

При проведенні дослідів на бетонних сумішах вивчався також вплив основних параметрів напірного бетонування на фізико-механічні властивості бетону.

Для вивчення характеру і виявлення закономірностей розповсюдження бетонних сумішей в свердловині при їх безперервному нагнітанні під дією гідродинамічного тиску були створені експериментальні стенди, що дозволяють моделювати процес бетонування буронабивних паль напірним методом в лабораторних умовах (рис. 2).

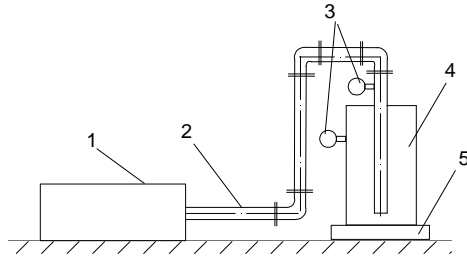


Рис. 2. Лабораторний стенд для дослідження напірного бетонування:
1 – нагнітальна установка, 2 – змінний напірний трубопровід,
3 – манометри, 4 – інвентарний роз'ємний циліндр, 5 – герметичний піддон

Експериментальні дослідження з використанням бетонних сумішей здійснювалися на лабораторному стенді (рис. 1, 2) який складався з нагнітальної установки 1, змінного напірного трубопроводу 2, з манометрами 3, інвентарного роз'ємного циліндра 4 і герметичного піддону 5. В якості нагнітальної установки використовувався бетононасос С–296, який передавав тиск на бетонну суміш до 3,0 МПа і інвентарні роз'ємні циліндри висотою 1200 мм діаметром 600 мм.

Відповідно до розробленої методики, дослідження проводилися в наступній послідовності.

Нагнітальний трубопровід встановлювався в інвентарний циліндр так, щоб між піддоном і нижнім його кінцем залишався зазор не менше 60 мм, циліндр заповнювався безперервно бетонною сумішшю до відмітки 1000 мм.

При цьому через кожних 250 мм підйому бетонної суміші в циліндрі проводилися виміри величини гідродинамічного тиску в напірному трубопроводі за показниками манометра. Досліди проводилися з використанням напірних трубопроводів діаметром 100, 125 і 150 мм. Швидкість нагнітання бетонної суміші в напірному трубопроводі змінювалася в межах від 0,4 – 1,0 м/с, що забезпечувало сталий режим нагнітання [6, 7].

Для виявлення характеру впливу арматури на величину опору підйому бетонної суміші в циліндр встановлювався просторовий арматурний каркас круглого перерізу. При цьому величина зазору між стінками циліндра і арматурним каркасом складала 30 мм, яка встановлювалася з урахуванням товщини захисного шару бетону і геометричної подібності моделі натурним умовам.

Арматурні каркаси склалися з 10 штук вертикальних стержнів періодичного профілю діаметром 6 мм загальною площею перетину $1,96 \text{ см}^2$ і хомутів з дроту діаметром 1,2 мм, що встановлювалися через 50 мм по

висоті. В результаті проведення експерименту були відібрані головні технологічні чинники, що впливають на процес бетонування буронабивних паль напірним методом – це гідродинамічний тиск на бетонну суміш; структурно-механічні характеристики бетонних сумішей (рухливість, концентрація дрібного заповнювача в суміші заповнювачів, вміст цементу), діаметри свердловин паль і напірних трубопроводів.

Таблиця 1

Порівняння основних властивостей бетону буронабивних паль, що виготовлені за допомогою різних методів

Метод бетонування	Відстань від дна свердловини, м	Міцність бетону на стиснення, R, МПа	Щільність вложеного бетону, кг/м ³	Водонепроникність бетону
Контрольні зразки	–	28,0	2,21	B4
ВПТ	0,75	13,5	1,6	B2
	1.5	15,0	1.8	B2
Напірний метод	0,75	32,0	2,31	B8
	1.5	32,5	2,32	B8

Аналіз результатів випробувань за визначенням фізико-механічних характеристик бетону, укладеного методом напірного бетонування, показав, що створюваний гідродинамічний тиск на бетонну суміш при її нагнітанні в свердловину робить істотний вплив на основні властивості бетону, приріст міцності, також підвищення щільності і водонепроникності бетону прямопропорційно тиску нагнітання (табл. 1 – 2).

Щільність бетону палі, виготовленої напірним методом p_n , перевищує щільність контрольних зразків p_k на 4,5% і щільність бетону палі, виготовленої методом ВПТ $p_{впт}$ на 33.3%.

Згідно з табличних даних (табл. 2) найбільша інтенсивність приросту міцності на стиснення бетону, що вложений напірним методом, спостерігається в діапазоні зростання гідродинамічного тиску від 0,5 до 2,0 МПа. Причому із збільшенням рухливості бетонної суміші інтенсивність приросту міцності бетону в цьому діапазоні знижується. Подальше збільшення тиску нагнітання бетонної суміші понад 2,0 МПа веде до незначного приросту міцності бетону.

Таблиця 2

Підвищення міцності бетону на стиснення при бетонування напірним методом з різним тиском нагнітання

№ складу (таблиця 2.4)	Міцність бетону при стисненні контрольних зразків через 28 діб, МПа	Рухливість бетонних сумішей, см	Міцність бетону через 28 діб після бетонування напірним методом, МПа			
			Гідродинамічний тиск на бетонну суміш, МПа			
			1,0	2,0	3,0	4,0
2	21,2	14	23,5	23,9	24,2	24,5
3	20,5	18	22,6	22,7	22,9	23,0
4	30,8	20	33,5	33,8	34,2	34,2

Висновки

Отже, в результаті натурального дослідження методу напірного бетонування при розробці технології влаштування буронабивних паль було встановлено:

- арматурний каркас не створює значного опору при підйомі бетонних сумішей, тому його можна занурювати у свердловину до початку робіт по бетонуванню палі;
- оптимальну рухливість бетонних сумішей при напірному бетонуванні;
- згідно дослідного впровадження методів бетонування було експериментально доведено підвищення щільності, міцності, водонепроникності укладеного бетону.

1. Ермошин П.М. Устройство буронабивных свай / П.М. Ермошин – М. : Стройиздат, 1982. – 232 с. 2. Метелюк Н.С. Сваи и свайные фундаменты. Справочное пособие / Н.С. Метелюк. – К. : Будівельник, 1977. – 132 с. 3. Черненко В.К., Ярмоленко М.Г. та інші. Технологія будівельного виробництва : Підручник / В.К.Черненко . – К. : Вища школа, 2002. – 460 с. 4. Ахвердов И.Н., Лохвицкий Г.З. О подводном бетонировании методом "восходящего раствора" / И.Н.Ахвердов // Гидротехническое строительство. – 1988. – № 6. – С. 26–27. 5. Дмитриевский В.И. Подводное бетонирование / В.И. Дмитриевский. – М.: Транспорт, 1972. – 309 с. 6. Руководство по укладке бетонных смесей бетононасосными установками, ЦНИИОМТП Госстроя СССР, Народное предприятие строительного-монтажного комбинат "ОСТ". – М. : Стройиздат, 1978. – 145 с. 7. Руководство по устройству буронабивных свай большого диаметра, ЦНИИОМТП Госстроя СССР. – М. : Стройиздат, 1977. – 300 с.