

МЕТОДИ ВИПРОБУВАННЯ РОЗЧИНІВ ДЛЯ ІН'ЄКТУВАННЯ В КАНАЛИ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

Бабяк І.П.,
Терещенко Т.А.

Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна

Вступ

В сучасному будівництві набувають поширення технології попередньо напруженого залізобетону. Розрізняють два основних види залізобетонних конструкцій з попереднім напруженням: з натягом арматури до і після бетонування. Другий спосіб (метод пост-напруження) передбачає виготовлення залізобетонних конструкцій або елементів конструкцій з поздовжніми каналами для пропуску арматури, яку до бетонування розташовують в каналоутворювачах. Каналоутворювачі до бетонування встановлюють в проектне положення і закріплюють. Після бетонування та досягнення бетоном необхідної міцності виконують натяг арматури на бетон і здійснюють важливу технологічну операцію - цементування відкритих та закритих порожнин систем пост-напруження: каналів, місць анкерування тощо, де для цементування закритих порожнин застосовують метод ін'єктування. Головними функціями розчину, що використовується для цементування, є захист металевих елементів від корозії та перерозподіл стискальних напружень.

Більшість національних стандартів європейських країн, Азії та США встановлюють подібні критерії придатності таких розчинів та величини нормативних вимог до розчинів і методів їх випробування. В основу стандартів [1-3] системи Європейських норм (EN) покладено загальні положення та вимоги, наведені у практичному посібнику FIP – Міжнародної федерації з попередньо напруженого залізобетону (FIP – **Fédération Internationale de la Précontrainte**) [4]. В основу аналогічних стандартів ASTM (США) покладено вимоги, розроблені РТІ (Post-Tensioning Institute) [5]. Згідно стандартів EN та ASTM до визначальних властивостей таких розчинів віднесено текучість, зміну об'єму, водовідділення та механічну міцність. Важливо, що згідно цих стандартів зазначені показники підлягають обов'язковому контролю не тільки при встановленні відповідності продукту вимогам до розчинів для цементування, але і при виконанні робіт з цементування. В Україні важливим нормативним документом з цього напрямку є [6]. В табл. 1 зведено показники властивостей розчинів для цементування та види їх контролю згідно стандартів різних систем.

Стандартні методи випробування розчинів для цементування

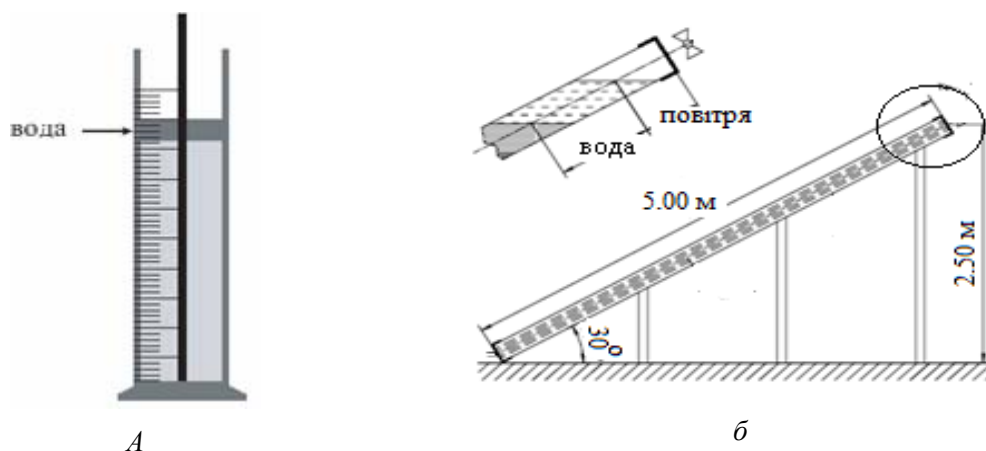
Важливою характеристикою розчинів, яка визначає якість заповнення каналів, є показник водовідділення. Явище водовідділення призводить до накопичення вільної води з подальшим утворенням порожнин-дефектів у вищих точках розташування каналу за наявності перепаду висот або в найвищій точці поперечного перерізу горизонтального каналу. У певних випадках водовідділення також спричиняє блокування двигуна насосної системи при виконанні робіт. Водовідділення розчину в робочих умовах значно підвищується внаслідок фільтрувального ефекту арматурних стрижнів, який пов'язаний із прискореним проходженням води через внутрішні порожнини арматури (у випадку використання канатів) та значно підсилюється при накладанні тиску при ін'єктуванні.

Таблиця 1 – Показники властивостей розчинів для цементування та види їх контролю згідно нормативних документів різних систем

Система стандартів	Властивості розчинів для цементування							
	Водовідділення	Змінювання об'єму	Текучість	Час тужавіння	Міцність на стиск	Густина	Морозостійкість	Проникненість хлоридами
Українські НД	—	*	*	—	*	—	*	—
EN	**	**	**	—	**	**	—	—
ASTM	**	*	**	*	**	**	—	*

* – визначення відповідного показника є обов'язковим при випробуванні на відповідність нормативним вимогам;
 ** – визначення відповідного показника є обов'язковим також при виконанні робіт з цементування.

В зв'язку з цим стандартні методи визначення показника водовідділення передбачають вплив цього чиннику. Такі методи встановлено стандартами [1] та [7]. Перший метод полягає у визначенні відносної кількості води, яка виділяється із розчину за певний проміжок часу, за допомогою мірного циліндру, в якому розташовано відрізок арматурного стрижня (рис. 1, а); цей метод придатний для випробувань у польових умовах. Стандартизовано також суто лабораторний метод, який характеризується як повномасштабний (рис. 1, б) [1].



а – визначення за допомогою мірного циліндру; *б* – визначення методом “нахиленої труби”.

Рис. 1. Стандартні методи визначення водовідділення

При випробуванні згідно другого методу дві нахилені пластикові труби відповідно до рис. 1б з арматурними стрижнями заповнюють шляхом ін'єктування розчину та протягом 24 год. кілька разів визначають показники водовідділення і зміни об'єму. Ці два зразки різняться послідовністю операцій ін'єктування. На першому зразку моделюють одноразове ін'єктування, на другому – вторинне ін'єктування свіжим розчином через певний проміжок часу. Такий метод дозволяє визначати водовідділення та стабільність об'єму розчину за умов, наближених

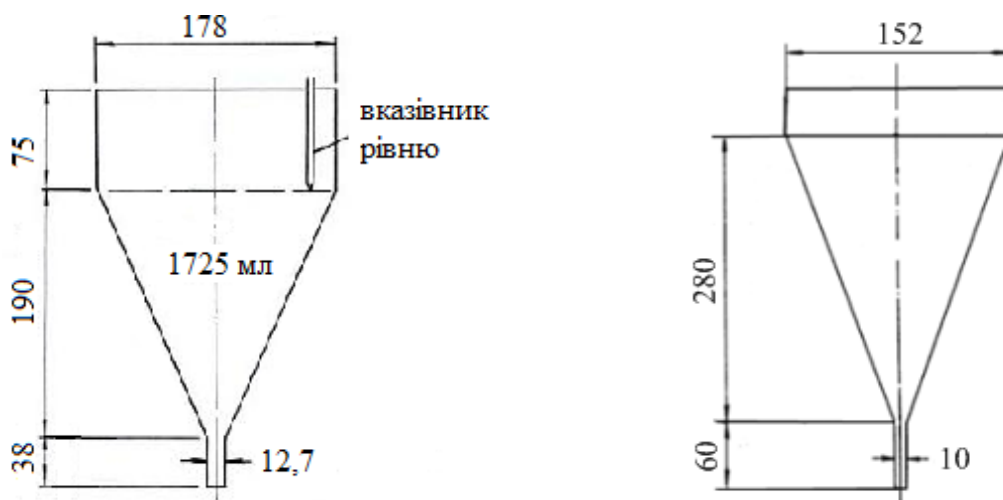
до робочих, у тому числі при повторному ін'єктуванні. Для усунення негативних наслідків водовідділення дозволяється застосування добавок, які збільшують об'єм розчину в пластичному стані та не змінюють об'єм затверділого розчину [8]. Дозволяється також застосування добавок, що зменшують водовідділення.

Другою важливою характеристикою розчинів є показник змінювання об'єму. Змінювання об'єму спричиняється явищами усадки та/або седиментації розчину. Обмеження факторів, які спричиняють водовідділення (зменшення водоцементного відношення, застосування належного типу добавок), у більшості випадків дозволяє уникнути седиментації. Змінювання робочого об'єму розчину внаслідок усадки зазвичай не є значущим, проте виникнення усадки в сукупності з водовідділенням погіршує експлуатаційні якості розчинів, тому значення показника усадки в складі показника зміни об'єму розчину жорстко обмежується. Методи визначення показника змінювання об'єму розчину встановлено стандартами [1] та [9], проте метод згідно стандарту [9] не призначений для випробувань розчину у польових умовах. Згідно [1] змінювання об'єму визначається за певний проміжок часу як відносне змінювання загального об'єму зразка розчину, який застосовується при визначенні водовідділення (рис. 1а).

Метод визначення показника текучості (fluidity) для розчинів, які не є тиксотропними, полягає у визначенні часу витікання певного об'єму розчину з воронки (flow cone). Такий метод встановлено стандартами [1] та [10]. В зазначених стандартах розміри, форма воронки та об'єм дослідного зразка розчину різняться (див. рис. 2). Відповідно різняться нормовані значення показника текучості розчину.

Густина свіжого розчину визначається згідно [1, 11, 12] традиційним визначенням залежності «вага/об'єм»; при випробуванні у польових умовах ця задача вирішується застосуванням належним чином каліброваних важільних терезів (терези аналогічної конструкції застосовуються, наприклад, для дослідження ґрунтів при виконанні геотехнічних робіт).

Згідно з [2, 5] при виконанні робіт з ін'єктування обов'язковою є перевірка відповідності показників текучості та густини розчину на вході та на виході із каналів. Ідентичність цих показників є важливим критерієм якості робіт з ін'єктування.



а

б

Рис. 2. Стандартні розміри (в мм) воронки для визначення текучості розчинів в стандартах ASTM C 939 (а) та BS EN 445 (б)

Вимоги до розчинів для цементування

Нормовані значення показників властивостей розчинів для цементування згідно стандартів різних систем наведено в табл. 2. Чинні в Україні стандарти на відповідні методи випробувань за винятком випробувань на міцність принципово відрізняються від методів EN, ASTM.

Таблиця 2 – *Окремі показники властивостей розчинів для цементування згідно нормативних документів різних систем*

Нормативний документ	Нормативні показники, одиниця вимірювання						Максимальний вміст СІ від маси цементу, %
	Водовідділення протягом 3 год. при 20 °С, %	Змінювання об'єму протягом 24 год. при 20°С, %	Текучість розчину безпосередньо після приготування при 20 °С, с	Час тужавіння при 20 °С, год	Міцність на стиск, МПа		
					7 діб	28 діб	
[6]	–	≤2	40±2	–	≥20	≥30	
[3]	<0,3	від мінус 1 до плюс 5	<25	–	–	>30	0,1
[5]	<0,3	від 0 до плюс 0,1 ¹	від 11 до 30	початок ≥3 кінець ≤12	≥21	≥35	0,1

¹ – визначається протягом 3 год.

Поширена практика застосування розчинів для цементування, які приготують на місці виконання робіт шляхом змішування цементу, добавок та води, призводить до низької відтворюваності показників властивостей розчинів і визнана незадовільною. Як свідчать дані технічних звітів [13, 14], дотримання вимог більшості національних та міжнародних стандартів щодо цементу не забезпечує якість розчинів даного призначення. Причиною є розбіжність певних характеристик цементу (вік цементу, питома поверхня, вміст хлоридів, трьохкальцієвого алюмінату С₃А та інші). Наприклад, нормовані значення показника питомої поверхні за Блейном варіюються в різних системах стандартів від 250 до 450 м²/кг; цей показник також різниться для різних партій цементу від одного виробника. Цементи з малою питомою поверхнею здатні до флокуляції, що призводить до сегрегації розчинів; цементи з великою питомою поверхнею потребують значної кількості води і характеризуються прискореним тужавінням. В розчинах для цементування бажано застосовувати цементи з показником питомої поверхні за Блейном від 300 до 380 м²/кг. Також значно варіюється нормований вміст С₃А – від 2 до 12 %. Оскільки С₃А характеризується високою реакційною здатністю відносно багатьох добавок, цементи з середнім та високим вмістом С₃А потребують детальних досліджень щодо сумісності з конкретними добавками.

Таким чином, запорукою якості розчину та робіт з цементування є дослідження всього комплексу фізико-хімічних властивостей розчину. В зв'язку з цим набуває поширення практика застосування фабричних розчинових сумішей для ін'єктування із сталими характеристиками.

У відділі цементобетонних конструкцій ДерждорНДІ виконувались дослідження розчинів для ін'єктування. Добір матеріалів та випробування зразків здійснювали відповідно до вимог [6] та з врахуванням вимог [1]. За результатами добору складів та за рекомендаціями виробників було випробувано на відповідність зазначеним вимогам суміші з добавками Intraplast A і Ferrogard фірми Sika та суміш Centricrete FB із добавкою Centricrete Additive фірми Bauchemie MC,

що постачається у вигляді двокомпонентного складу. За результатами досліджень встановлено, що суміш Centricrete FB задовольняє вимоги [6]. Результати випробувань Centricrete FB наведено в табл. 3.

Таблиця 3 – Результати випробувань суміші Centricrete FB

Показник, одиниця вимірювання	Значення показника	Стандартні методи випробувань
Час тужавіння при 25 °С, год., хв. початок – кінець –	4 год.45 хв. 9 год.	[15]
Водовідділення розчинової суміші, %	0	[1, 16]
Зміна об'єму, %	0	[1]
Рухомість, см	14	[17]
Густина розчинової суміші, кг/м ³	1680	[17]
Середня густина розчину, кг/м ³	1719	[17]
Міцність на згин, МПа 2 доби – 7 діб – 28 діб –	1,97 2,74 3,49	[18]
Міцність на стиск, МПа 2 доби – 7 діб – 28 діб –	22,40 31,33 40,46	[17]
Деформація усадки, % (3 доби)	0,01	[19]

Були також випробувані методи визначення водовідділення і зміни об'єму згідно [1] (рис. 3).



Рис. 3. Визначення водовідділення цементного розчину з урахуванням фільтруючого ефекту арматурного стрижня

Для сумішей з добавками Sika, для яких спостерігалось явище водовідділення, спостерігався також фільтрувальний ефект арматурного стрижня. Так, показник водовідділення, визначений без урахування фільтрувального ефекту арматурного стрижня (відповідно до [16]) становив 5 %, визначений відповідно до вимог [1] – 8 %.

Таким чином, на даний час актуальною задачею є розвиток нормативно-технічної бази України в напрямку вимог до матеріалів для ін'єктування в канали попередньо напружених залізобетонних конструкцій та стандартних методів випробування таких матеріалів з урахуванням сучасних тенденцій та світового досвіду в галузі дорожнього будівництва.

Література

1. BS EN 445:2007. Grout for prestressing tendons. Test methods.
2. BS EN 446:2007. Grout for prestressing tendons. Grouting procedures.
3. BS EN 447:2007. Grout for prestressing tendons. Basic requirements.
4. Grouting of tendons in prestressed concrete. FIP Guide to Good Practice. – Federation Internationale de la Precontrainte (FIP), Thomas Telford, London, 1990. – 117 p.
5. Specification for Grouting of Post-Tensioned Structures. Guide Specification. – Post-Tensioning Institute (PTI), Phoenix, Arizona, 2001. – 76 p.
6. ДБН В.2.3-20-2008. Споруди транспорту. Мости та труби. Виконання та приймання робіт.
7. ASTM C940-10. Standard Test Method for Expansion and Bleeding of Freshly Mixed Grouts for Preplaced-Aggregate Concrete in the Laboratory.
8. Schokker, A. J., Hamilton, H.R., Schupak, M. Estimating Post-Tensioning Bleed Resistance Using a Pressure-Filter Test // PCI Journal. – 2002. №2. – P. 32-39.
9. ASTM C 1090-10. Standard Test Method for Measuring Changes in Height of Cylindrical Specimens of Hydraulic-Cement Grout.
10. ASTM C 939-10. Standard Test Method for Flow of Grout for Preplaced-Aggregate Concrete (Flow Cone Method).
11. ASTM C185. Standard Test Method for Air Content of Hydraulic Cement Mortar.
12. API Recommended Practice 13B-1: Standard Procedures for Field Testing Water-Based Drilling Fluids.
13. 5 VSL report series: Grouting of post-tensioning tendons – VSL International LTD, Switzerland, 2002. – 46 p.
14. Schokker, A. J., Koester, B. D., Breen, J. E., Kreger, M. E. Development of high performance grouts for bonded post-tensioned structures. Research report 1405-2. – Center for transportation research. Bureau of engineering research. The University of Texas at Austin, 1999. – 69 p.
15. ДСТУ EN 196-3:2007. Методи випробування цементу. Частина 3. Визначення строків тужавіння та рівномірності зміни об'єму.
16. ДСТУ Б В.2.7-114-2002 (ГОСТ 10181-2000). Будівельні матеріали. Суміші бетонні. Методи випробувань.
17. ГОСТ 5802-86. Растворы строительные. Методы испытаний.
18. ДСТУ Б В.2.7-187:2009. Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення міцності на згин і стиск.
19. ДСТУ Б В.2.7-216:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення деформацій усадки та повзучості.