

## СТУМЕНЕВА ЦЕМЕНТАЦІЯ ҐРУНТІВ В ТРАНСПОРТНОМУ БУДІВНИЦТВІ

*Розовенко О.М. ДМ-51-21 , Опашко Д.К. ДМ-26т1-18  
Науковий керівник: к.т.н., доцент Ігнатенко А.В.  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Будівництво транспортних споруд, здійснюване в даний час, передбачає проведення робіт також в умовах складної гідрогеологічної обстановки, на слабких, обводнених або структурно нестійких ґрунтах різного генезису, складу і стану. При цьому виникає необхідність в зміцненні стін і укосів глибоких котлованів, основ і фундаментів шляхопроводів, мостів і тунелів, у влаштуванні підтримувальних і огорожувальних конструкцій, протифільтраційних і протівосуфозійних завіс і ін.

З цією метою використовують буронабивні палі і інші конструкції з бетонних або залізобетонних елементів, а також різні технології зміцнення ґрунту, такі, як заморожування, силікатизація, цементация або смолизація. Однак, зазначені технології, як правило, пов'язані зі значними обсягами земляних робіт, вимагають істотних матеріальних і фінансових витрат, великих площ і перенесення існуючих комунікацій або транспортних потоків, характеризуються тривалими термінами зведення конструкцій і динамічним впливом на прилеглі будівлі і споруди, а також значне екологічне навантаженням на природне середовище.

Позбавленої багатьох зазначених недоліків є струминна технологія цементации ґрунтів (jet-grouting). Вона високопродуктивна, дозволяє створювати ґрунтоцементні конструкції різних розмірів і форм (палі, горизонтальні або похилі площадки, стінки, склепіння та ін.) на різній глибині, проводити роботи з денної поверхні або з підвалів і т. п. приміщень, що особливо важливо в обмежених міських умовах, не погіршує екологічну обстановку. Безсумнівною перевагою струминної технології є її гнучкість,

маневреність, можливість оперативно, по мірі необхідності, коригувати прийняті технологічні режими.

Однак, при всіх достоїнствах технології jet-grouting, в даний час її застосування стримує відсутність надійного прогнозу міцності і геометричних розмірів одержуваного матеріалу і конструкції, що істотно ускладнює призначення розрахункових параметрів і проектних характеристик. Крім цього, не визначені умови застосування jet-технології в поєднанні з традиційними технологіями геотехнічного будівництва. Практично не використовується такий резерв підвищення ефективності, як хімічні добавки, незважаючи на їх широке застосування в інших областях будівництва.

Принципово, сутність технології полягає в тому, що в товщі ґрунту влаштовуються деякі конструктивні елементи з укріпленого ґрунту (ґрунтобетону), за допомогою яких можуть вирішуватися всі виникаючі проблеми, як пов'язані з будівництвом нових або реконструкцією (посиленням) існуючих самих транспортних споруд, так і із забезпеченням безпеки або посиленням існуючих будівель на прилеглих територіях.

Ця технологія передбачає розмив, руйнування ґрунту під впливом енергії струменю (що має тиск до 80,0 МПа) твердіючою цементною суспензією, при одночасному змішуванні і частковому заміщенні ґрунту цементною суспензією. В результаті, після затвердіння цієї ґрунтоцементної маси, утворюється ґрунтобетон, в якому роль заповнювача грає частки і агрегати розмиваного ґрунту. За своїм складом одержуваний ґрунтобетон може бути близький до дрібнозернистих бетонів, особливо якщо ґрунт, що руйнується, представлений піщаними різницями. Однак на відміну від звичайних бетонів ґрунтобетон, одержуваний за струминною технологією, характеризується істотно меншою однорідністю, навіть в тих випадках, коли для її підвищення використовуються спеціальні пластифікуючі домішки. Проте, якщо враховувати відповідним чином цю неоднорідність, одержуваний матеріал можна з успіхом використовувати для створення тих чи інших елементів інженерних конструкцій.

Зі світової практики відомі три варіанти струминної технології: однокомпонентна (jet-1), двокомпонентна (jet-2) і трикомпонентна (jet-3). У кожному варіанті використовується своя конструкція встановлюваного робочого органу (монітора).

Струминна технологія (її однокомпонентний варіант, jet-1) передбачає буріння технологічної свердловини на задану глибину і подачу в ґрунт водоцементного розчину по каналах бурової штанги при безперервному або шаговому її підйманні. Струмінь водоцементного розчину при певному тиску формується і направляється струминним (свердловинним) гідромонітором, що розташований в нижній частині бурової штанги і має, як правило, дві діаметрально розташовані насадки (сопла, форсунки). Під напором струмінь розмиває ґрунт, що знаходиться в природному консолідованому температурно-вологісному стані, дезагрегує (руйнує) його і перемішує з цементом і водою. В результаті подальшого гідратаційного твердіння цементу виходить укріплений (стабілізований, оброблений) цементом ґрунт або ґрунтобетон. Зазначена дія струменю (розмив ґрунту і одночасне його перемішування з водоцементним розчином) обмежена в підземному просторі певними межами, окреслює, з певною точністю, контур створюваної ґрунтобетонної конструкції.

При обертанні струминного гідромонітора навколо осі технологічної свердловини виходить ґрунтобетонна колона (паля), при піднятті гідромонітора без обертання – плоский елемент конструкції (наприклад, протифільтраційна завіса).

Струминна технологія передбачає не тільки перемішування ґрунту, що розмивається, з водоцементним розчином, але також часткове його видалення разом з частиною отримуваної ґрунтобетонної суміші на поверхню через спеціальний канал бурової штанги або через окрему свердловину у вигляді пульпи, яка самопливом спрямовується до спеціального пульпоприймача, траншею або зумпф (утворюються «виливи»).

Наявність виливів є непрямим індикатором стаціонарної, стабілізаційної стадії струминної технології, коли водоцементний розчин, що подається в

грунт, перемішуючись з ґрунтом або частково витісняючи його, повністю заповнює простір майбутньої ґрунтобетонної конструкції (наприклад, колони). При цьому енергія струменя витрачається на розмив і перемішування ґрунту з водоцементним розчином в деяких певних геометричних межах майбутньої конструкції і її вистачає також на транспортування деякої частини утвореної ґрунтобетонної суміші на поверхню. У певному сенсі виливи – деякий аналог «відмови» при забиванні готових залізобетонних паль в ґрунт, показник стабільності процесу струминної технології.

Обсяги виливів визначають з досвіду, на стадії пробного бетонування (влаштуванні експериментальної палі). Відхилення величини виливів від очікуваної величини свідчить про зміну встановлених технологічних параметрів (тиску, складу водоцементного розчину, швидкості обертання або підняття монітора) або стану і властивостей зміцнюваного ґрунту.

Наприклад, якщо виливів менше, ніж очікується, то ймовірно, що водоцементний розчин витрачається на заповнення будь-яких порожнин в ґрунтовому масиві або, коли в міру руху монітора зустрічається слабший або більш обводнений ґрунт і утворюється ґрунтобетонна конструкція більших, ніж передбачалося, поперечних розмірів. У свою чергу, більший, ніж передбачалося, обсяг виливів може бути пов'язаний з підвищенням тиску в моніторі або проходженням монітором шару більш щільного і міцного ґрунту. В останньому випадку ймовірно також зменшення розмірів конструкції в перерізі.

Двокомпонентна технологія, jet-2, передбачає одночасну з водоцементним розчином подачу через спеціальну співвісно розташовану форсунку гідромонітора стисненого повітря, що створює штучний повітряний потік навколо струменя розчину. При цьому розмитий ґрунт виноситься по свердловині в потоці аерованого розчину.

Трикомпонентна технологія, jet-3, передбачає розмив ґрунту водяним струменем в штучному повітряному потоці, винос розмитого ґрунту через свердловину в складі водоповітряної пульпи і подавання водоцементного

розчину у вигляді окремого струменя через форсунку, розташовану нижче співвісних розмиваючих форсунок гідромонітора.

Використання технологій jet-2 і jet-3 дозволяє істотно збільшити поперечний розмір одержуваних конструкцій (діаметр ґрунтобетонних колон та ін.). Однак, як правило, при цьому міцність ґрунтобетону виявляється нижче, ніж при однокомпонентному варіанті струминної технології, при використанні jet-1.

В Японії тонкі плоскі стінки виконують зазвичай за допомогою трикомпонентної технології. При цьому максимальна довжина однієї секції, спорудженої за наскрізною схемою, досягає 1,25-1,8 м [1]. Так, японська компанія «Каджима корпорейшн» використовувала струминну технологію при спорудженні протифільтраційної завіси глибиною 7м для захисту від підтоплення майданчика підприємства з вироблення ядерного палива в Японії, префектура Ібараджи [2]. В іншому випадку, при будівництва шосе в Йокогамі, цією ж компанією, спільно з компанією «Кемікал граутінг Ко» була виконана тонка стінка висотою 30м для перекриття відкритого прольоту шириною 5,5м в вертикальній підпірній стінці зі сталевих труб.

Європейські компанії споруджують тонкі плоскі конструкції, як правило, за однокомпонентною технології і за тупиковою двосторонньою схемою. При цьому довжина односторонньої секції не перевищує 0,6 м. Так, компанією «ГКН Келлер», на греблі Сезе, Німеччина, була виконана таким чином протифільтраційна мембрана [3], що примикає по всій бічній поверхні до раніше спорудженої бетонної діафрагми в тілі земляної греблі. У 1989р компанія «Паккіозі Норт Америка Інк.» виконала за струминною технологією протифільтраційні завіси в основах двох дамб, що обгороджують котлован машинної будівлі гідроелектростанції «Ла Гранде 1» в Канаді [4]. Компанії «Ейруп Джеотекнікс» і «Келлер Колкрет» виконали в Джерсі, Англія, ґрунтобетонну плиту при реконструкції будівлі банку «Мідленд» за допомогою трикомпонентної струминної технології [5]. Ґрунти були представлені шарами пісків, торфу, алювіальних відкладень.

Широко поширеною областю застосування струминної технології є посилення фундаментів існуючих будівель рядами ґрунтобетонних колон, що перетинаються один з одним і які виконуються через свердловини, пробурені під невеликим кутом через тіло фундаменту.

Досвід застосування струминної технології з метою зміцнення ґрунту переконливо показав її переваги в порівнянні з альтернативними технологіями, головним чином, в силу менших витрат і високої продуктивності.

### Література:

1. Yahiro, T., Yoshida, H. and Nishi, K. Soil improvement method utilizing a high speed water and air jet on the development and application of columnar solidified construction method (column jet method). 6-th International Symposium on Jet Cutting Technology 6-8 April 1982, Surrey, U.C., paper J2, pp. 397-427.
2. Jet grouting doesn't cut it. Engineering News Record (1986) February 27, p. 15.
3. Keller. Soilcrete jet grouting, (проспект фірми)
4. Pacciosi drill. Dam Rehabilitation works. Lavori di consolidamento e impermeabilizzazione di dighe pervfienti e provvisorie. John Hart Dam (British Columbia, Canada) James Bay (Quebec, Canada).
5. Newman, R.I., Essler, R.D. and Covil, C S. Jet grouting to enable basement constructions in difficult ground conditions. Proc. of the Conf. «Grouting in the ground» 25-26 Nov. 1992. Edited by A. L. Bell. London, Institution of Civil Engineers, pp. 385-402.