

ЗАСТОСУВАННЯ СТРУМЕНЕВОЇ ЦЕМЕНТАЦІЇ ҐРУНТІВ У ПІДЗЕМНОМУ БУДІВНИЦТВІ

З стрімкою урбанізацією і розширенням міст зросла потреба у твердій, придатній для несення важких споруд поверхні. Природні ґрунти не завжди задовольняють цим вимогам – піщані і гравійні ґрунти не відповідають потребам забудовників, що дало розвиток технології струменевої цементациї ґрунтів.

Струменева цементация, набувши розповсюдження у сфері містобудівництва, поширилась і на інші сфери і була схвально прийнята у підземному будівництві. Сукупність властивостей ґрунтобетону та його вплив на оточуючі породи сприяли застосуванню технології у підземних виробках, іноді навіть в тих ситуаціях, де звичайні варіанти протистояння водопритокам не могли бути ефективно використані. Найбільші обсяги міського підземного будівництва зосереджені в слабких гірських породах (ґрунтах), які формують переважно сприятливі умови для розміщення сучасних підземних споруд і комплексів, але вартість і ризики підземного будівництва залишаються високими, що стримує масштабне освоєння міського підземного простору. Серед найбільш амбітних завдань сталого розвитку сучасних міст світової інвестиційні фонди вбачають переведення міського автомобільного транспорту в підземний простір (зокрема проект Лона Маска й компанії The Boring Company, презентований на Світовому саміті в Дубаї в 2017 р.) [1], але це потребує якісних змін технології спорудження тунелів.

Серед перспективних напрямків інноваційного розвитку будівництва тунелів у ґрунтових масивах можна зазначити технологію струминної цементациї ґрунтів, яка позитивно зарекомендувала себе в цивільному й промисловому будівництві (ґрунтоцементні палі, основи, захисні конструкції) та отримала перший, наразі обмежений, досвід при освоєнні підземного простору. На нашу думку ця технологія має значний потенціал для інноваційного розвитку підземного будівництва.

Сутність технології струменевої цементациї полягає у використанні цементного розчину, що під високим тиском вдавлюється у ґрунтову масу, руйнуючи структуру ґрунту і водночас заміщаючи її фрагменти цементом, утворюючи ґрунтобетон – новий матеріал, що має високі характеристики міцності і деформаційної стійкості, а також значні протифільтраційні властивості, що важливо для підземного будівництва. (рис. 1).

Інколи також може використовуватися струмінь води, вже після якого заливається бетон.

Струменева цементация традиційно застосовується для підготовки основ будівель і споруд, а також для зміцнення фундаменту вже існуючих. При цьому зберігається значний потенціал для підземного будівництва.

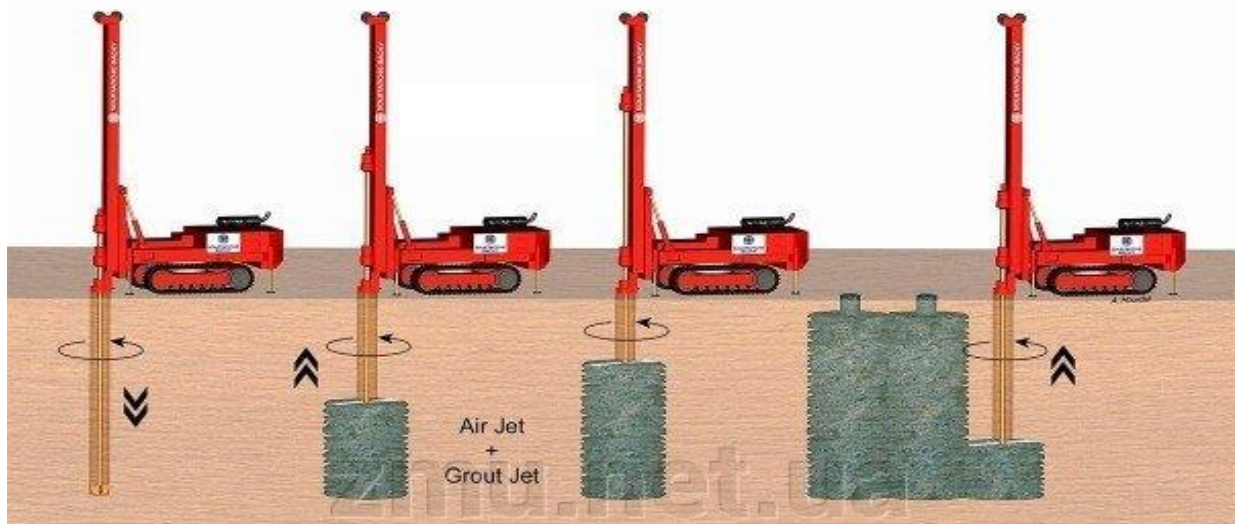


Рис. 1. Техніка та технологія струминної цементациї ґрунтів [2]

Існує три основних варіанти технології (рис. 2):

1) Однокомпонентна технологія – ґрунт руйнується струменем цементного розчину, причому одразу відбувається утворення ґрунтобетону. Це найпростіший спосіб, недолік якого полягає у малій, порівняно з іншими способами, колоні ґрунтобетону.

2) Двокомпонентна технологія – використовуються окремі шланги – в одних повітря, в іншому бетонна суміш, причому повітряні шланги в ідеалі розташовані так, щоб утворити оболонку навколо суміші. Мета розподілу – збільшити розмір (діаметр) утворюваних колон.

3) Трьохкомпонентна технологія – спочатку досягається утворення порожнини в ґрунті, а вже потім за допомогою води і бетонної суміші формуються колони.

Застосування технології у підземному будівництві. Одним із найскладніших завдань підземного будівництва є прокладання тунелів у рухливих, нестійких породах із значними фільтраційними властивостями. Значний

водоприток у таких умовах робить недостатньо ефективним використання традиційних конструкцій опор: корозія металу й залізобетону, гниття деревини швидко знижує носійну та гідроізоляційну спроможність кріплення.

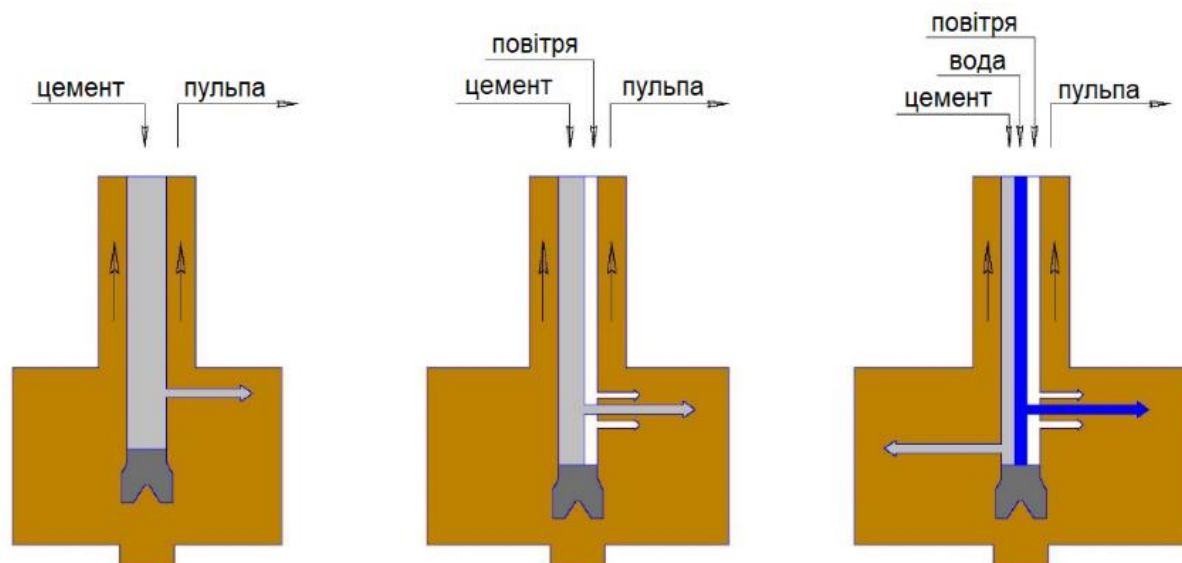


Рис. 2. Варіанти струменевої цементация ґрунтів

У таких випадках струменева цементация знаходить своє застосування, значним чином завдяки високим гідроізоляційним здатностям як самої суміші, так і оточуючих порід (ґрунтів), які вона залучає до спільної роботи, причому надлишки суміші розходяться навколо колони у тріщини та пори. Таким чином, досягається подвійний ефект: основна колона зв'язує нестійкі породи, а бетонна суміш, що розходить в сторони закорковує отвори і тріщини масиву, блокуючи надходження води у виробку.

Найбільшу складність, і відповідно потенціал для струменевої цементация представляють м'які пластичні глини, що під дією значної вологи приймають пливучу консистенцію. Через рухомість таких порід зростає ймовірність підвищення гірського тиску на окремій ділянці, і як наслідок, деформації і можливі руйнування тунелю. У такій важкій, ситуації, максимально реалізуються такі переваги струменевої цементация як укріплення ґрунту, припинення фільтрації води по тріщинам, підвищення консистенції масиву до твердого стану з високими носійними властивостями.

Застосування технології ґрунтоцементного кріплення тунелю

1) Цементация верхньої частини (покрівлі) виробки – для тих випадків, коли лише покрівля виробки представлена нестійкими породами. При незначній глибині залягання і можливості доступу доцільно використати цементацию з поверхні та утворення ґрунтоцементного екрану за аналогією з наведеними вище способами (рис. 1, 2).

2) Для кріплення ті гідроізоляції вертикальних виробок (рис. 3) використовують короткі похилі свердловини, які формують шар ґрунтоцементної оправи по всьому периметру стовбура. Роботи ведуться під захистом існуючої конструкції кріплення, що призводить до високої вартості комбінованої оправи.

3) Застосовують також спосіб спорудження тунелю, в якому струминне замонолічування слабких порід (ґрунтів) навколо виробки здійснюється з внутрішнього простору тунелю шляхом буріння поздовжніх горизонтальних свердловин з утвореної ніші (камери) з подальшим руйнуванням ґрунтів енергією високонапірного струменю цементного розчину з формуванням навколо виробки кільцевої ґрунтобетонної конструкції. Це позитивно впливає на гідроізолюючі властивості утвореної оправи, але її товщина її у більшості випадків не забезпечує вимог до самостійного кріплення тунелю, що потребує застосування комбінованої оправи і значно збільшує вартість тунелю.

Перспективним напрямком бачиться удосконалення способу спорудження тунелю зі струминним замонолічуванням ґрунтів із середини виробки, шляхом формування ґрунтобетонної оправи тунелю необхідної товщини при струминному замонолічуванні ґрунтів через свердловини й отвори в хвостовій частині щита, що забезпечить необхідну носійну здатність і гідроізоляційну спроможність ґрунтобетонної оправи без додаткових конструкцій кріплення.

Список літератури:

1. Панкратова Н.Д., Гайко Г.І., Савченко І.О. Розвиток підземної урбаністики як системи альтернативних проектних конфігурацій: Монографія. – К.: Наукова думка, 2020. – 134 с.
2. <https://zmu.net.ua/uk/products/dzhet-svai-jet-grouting-f183277785/>
3. Croce, P., Flora, A., & Modoni, G. (2014). Jet Grouting: Technology, Design and Control. CRC Press.
4. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2015.08.002>.

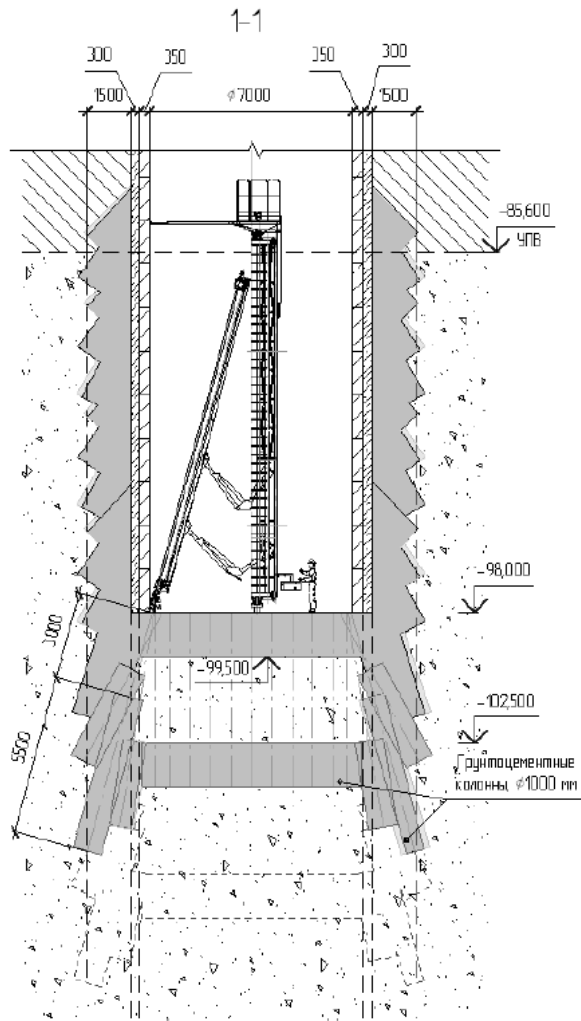


Рис 3. Застосування струминної цементації ґрунтів для гідроізоляції стовбура