

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерно-технологічний

Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти
магістр

на тему: «Розробка механізованого комплексу для створення підземних об'єктів
агропромислового виробництва»

Виконав: здобувач вищої освіти
за освітньо-професійною програмою
«Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва»
спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»
ступеня вищої освіти магістр
групи 133ГМмз_21
ПЕТРАШ Олександр
Керівник: канд. техн. наук, доцент
БІДА Сергій

ВСТУП

У середині 1960-х років у Швеції в Шведському геотехнічному інституті та в Японії в Науково-дослідному інституті портів і гаваней почалися лабораторні та польові дослідження технології глибокого змішування з використанням сухих і вологих в'язучих речовин. Метою цього дослідження була розробка нового методу покращення властивостей м'яких ґрунтів [1]. Класифікація, прийнята Технічним комітетом з поліпшення ґрунту 211 Міжнародного товариства механіки ґрунтів та геотехнічної інженерії, визначає глибоке змішування як метод поліпшення ґрунту з додатками типу цементування [2].

Класифікація методів поліпшення ґрунту прийнята TC211, раніше TC 17:

- цементация на основі частинок – цементация зернистого ґрунту, пустот чи тріщин у ґрунті чи скелі шляхом ін'єкції цементу чи інших розчинів на основі частинок для підвищення міцності або зменшення проникності ґрунту чи землі;
- хімічне цементування - розчини двох або більше хімічних речовин реагують у порах ґрунту з утворенням гелю або твердого осаду, щоб підвищити міцність або зменшити проникність ґрунту чи землі;
- методи змішування (включаючи попереднє змішування або глибоке змішування) - обробіть слабкий ґрунт, змішавши його з цементом, вапном або іншими в'язучими на місці за допомогою змішувальної машини або перед розміщенням;
- струменеве цементування - високошвидкісні струмені на глибині розмивають ґрунт і впорскують розчин для формування колон або панелей;
- ущільнювальна цементация - дуже жорстка цементна суміш, схожа на розчин, вводиться в окремі зони ґрунту та залишається в однорідній масі, щоб ущільнити пухкий ґрунт або підняти осілий ґрунт;
- компенсаційне цементування - суспензія твердих частинок середньої та високої в'язкості вводиться в землю між підземним виїмкою та спорудою, щоб запобігти або зменшити осідання конструкції внаслідок поточних виїмок.

Було запропоновано декілька систем класифікації для різних технологій та обладнання, що використовується для глибокого змішування (FHWA, 2000; CDIT,

2002 та AFNOR, 2005). Класифікація Topolnicki (2004) базується на трьох параметрах (рис. 1-1):

- форма, в якій в'язучий вноситься в ґрунт (вологий або сухий),
- метод, який використовується для змішування в'язучого (механічне змішування за допомогою інструменту, впорскування під високим тиском (струминний) або обидва (механічний + струменевий),
- місце, де відбувається змішування (на кінці або вздовж вала).

Велику кількість методів, визначених на малюнку 1-1, можна частково пояснити необхідністю адаптації до місцевих геологічних умов і різноманітністю проектів і застосувань.

Рисунок 1-1 Загальна класифікація змішування ґрунту на місці на основі (а) форми в'язучого, (б) принципу змішування та (в) місця дії змішування, з вибраними прикладами методів, розроблених у різних країнах (Topolnicki, 2004).

Основні відмінності між глибоким перемішуванням і обробкою ґрунту для будівництва насипних і покривних шарів підсумовано в таблиці 1-2. При будівництві елементів глибокого змішування не проводиться ущільнення; ґрунтово-в'язучі суміші повинні бути достатньо текучими, щоб самоущільнюватися.

Таблиця 1-2 Основні відмінності між глибоким перемішуванням і обробкою ґрунту для земляних робіт

Параметр	Глибинне змішування	Обробка ґрунту перед земляними роботами
Виймка	Змішування виконується на місці на непорушених ґрунтах, попередніх розкопок немає	ґрунт розкопують перед обробкою, перемішують виконується на переформованих ґрунтах
Глибина	Перемішування здійснюється на глибині	Перемішування здійснюється на поверхні
Вид в'язучого	Сухий порошок або розчин	Сухий порошок
Дозування	Кількість сполучного, що використовується в проектах глибокого змішування, як правило, вище, ніж для наповнювачів і покривних шарів (зазвичай більше 10% за масою)	Зазвичай від 1 до 7 % за масою
Ущільнення	Ущільнення не проводиться, ґрунтові в'язучі суміші повинні бути достатньо рідкими, щоб самоущільнюватися	Обробку проводять на ґрунтах відносно низької вміст вологи для полегшення ущільнення

В даний час більшість ґрунтозмішувальних робіт пов'язані з будівництвом елементів колонного типу. Однак для побудови блоків або панелей використовуються інші техніки. У наступних параграфах описано обладнання та процеси виконання, які використовуються в основних типах технік будівництва колон. Також коротко представлено обладнання, яке використовується для монтажу блоків або панелей.

Розділ I. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ, ЩО СТОСУЮТЬСЯ БУРОЗМІШУВАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

1.1. Класифікація методів підготовки основ об'єктів АПК, що проводяться без виймання ґрунту

Для методу сухого змішування будівництво колони зазвичай починається з проникнення змішувального інструменту на цільову глибину. Потім інструмент для змішування знову піднімають на поверхню. Сполучна речовина у формі порошку вводить під час фази відміни. Обертання змішувального інструменту руйнує ґрунт під час проникнення та змішує ґрунт і в'язучий під час вилучення (Eurosoilstab, 2002).

Малюнок 1-2 Процес виконання установки ґрунтозмішувальних колон із застосуванням методу сухого змішування (AFNOR, 2005).

Двома основними методами сухого змішування є скандинавський метод (вапняно-цементні колони) і японський метод (сухе струменеве змішування).

Вапняні та вапняно-цементні колони зазвичай використовуються в Скандинавії для стабілізації глин і мулів, а також органічних ґрунтів (Broms, 2004). Змішувальні машини зазвичай мають лише один змішувальний вал. Скандинавський метод сухого змішування в основному використовується для м'яких або дуже м'яких ґрунтів із недренованою міцністю на зсув приблизно нижче 50 кПа. Типові інструменти для змішування показані на малюнку 1-3. Вихідний отвір для впорскування розташований на центральному валу над нижніми

змішувальними лопатями, щоб забезпечити змішування під час підйому інструменту (Torołnicki, 2004). Стовпи можна встановлювати на глибину близько 25 м. Діаметр стовпів зазвичай становить від 0,6 до 1,0 м. Колони можуть бути нахилені під кутом до 70° (AFNOR, 2005). Швидкість обертання інструменту та швидкість вилучення варіюються в залежності від геологічних умов і проектів. Швидкість проникнення в цілому становить близько 2-3 м за хвилину. Відведення інструменту часто здійснюється зі швидкістю від 15 до 25 мм за один оберт зі швидкістю від 150 до 180 обертів на хвилину (FHWA, 2000).

Рисунок 1-3 Типові змішувальні інструменти, що використовуються для скандинавського методу сухого змішування (Torołnicki, 2004)

Спочатку вапно було найбільш часто використовуваним в'язучим. В даний час колони будуються з використанням сумішей вапна та цементу (Åhnberg and Johansson, 2005). Енергія змішування, необхідна для виробництва колони, залежить від типу ґрунту та в'язучого, а також кількості в'язучого. Було помічено, що використання цементу вимагає більше енергії, ніж змішування лише вапна (AFNOR, 2005). Вміст вапна, що використовується для обробки неорганічних м'яких глин,

коливається від 70 до 90 кг/м³ (Broms, 2004). Загалом, у стовпи вводять від 80 до 150 кг в'язучого на кубічний метр ґрунту. Міцність на стиск ґрунтів, оброблених скандинавським методом, часто становить від 0,2 до 0,5 МПа (FHWA, 2000). Стовпи зі стабілізованого ґрунту, побудовані за скандинавським методом, є напівжорсткими. Вони взаємодіють із навколишнім необробленим ґрунтом, утворюючи складну систему покращеного ґрунту (Holm, 1999). Проникність оброблених ґрунтів часто значно вища, ніж у початкового глинистого ґрунту (Broms, 1999). Тому колони також можуть виконувати роль вертикальних дренажів. В Японії розроблено багато прийомів обробки ґрунтів методом сухого змішування. Основна техніка називається сухим струминним змішуванням (DJM). Бурові установки DJM можуть бути оснащені одним або двома валами. Діаметр змішувальних інструментів може досягати 1 м. Стовпи із стабілізованого ґрунту можна встановлювати на глибину від 16 до 33 м. Сполучна речовина вводиться під час вилучення інструменту, як у скандинавському методі, але ін'єкцію також можна здійснити під час фази проникнення (AFNOR, 2005). Стандартний інструмент для змішування, як правило, складається з двох рівнів горизонтальних лопатей (Малюнок 1-4). Отвори для випуску сполучного матеріалу розташовані над і під цими лопатями. DJM використовується в м'яких глинах з максимальною міцністю на зсув 70 кПа та в пісках з показником удару SPT нижче 15 (Тераші, 2003). Швидкість проникнення інструменту зазвичай становить від 1 до 1,5 м за хвилину. Швидкість підйому зазвичай нижча від 0,7 до 0,9 м/хв (Topolnicki, 2004). Швидкість обертання інструменту відносно низька між 24 і 32 об/хв.

Рисунок 1-4 Типовий інструмент мікшування, який використовується для DJM (Topolnicki, 2004).

Сполучною речовиною, що використовується в DJM, є переважно портландцемент (Porbaha, 1998) з дозуванням від 100 до 400 кг/м³ (Bruce et al., 1999). Міцність на стиск ґрунту, обробленого японським методом, сильно варіюється залежно від типу ґрунту, але зазвичай наближається до 1 МПа (FHWA, 2000).

У наступній таблиці підсумовано та порівняно основні особливості скандинавського та японського методів змішування сухого ґрунту. Стовпи більшого діаметра можна виконати на більшу глибину за допомогою обладнання DJM. Кількість в'язучого, що вводиться в колони, вища для DJM. Параметри установки колони (швидкість проникнення, виведення і обертання) приблизно в 2-3 рази швидше для скандинавської техніки. Однак, поєднуючи ці параметри, обидва методи мають порівняні швидкості підйому (у мм на один оберт). Кількість обертів леза (обертання інструменту на метр колони) однакова для обох методів.

Основна відмінність скандинавської техніки від японської пов'язана з параметром, який вважається найважливішим для контролю процесу змішування. У скандинавському методі швидкість обертання інструменту розглядається як головний керуючий фактор, тоді як для DJM (відносно повільна) швидкість поступального руху інструменту для змішування вважається найважливішою в процесі змішування.

При методі мокрого змішування гідравлічне в'язуче змішується з водою для утворення суспензії перед тим, як його впорскувати в ґрунт. Суспензія подається під час проникнення та/або виведення змішувального інструменту. В якості гідравлічного в'язучого зазвичай використовується цемент. Цементні суміші характеризуються співвідношенням цемент-вода (C/W), тобто співвідношенням між масою сухого цементу C і масою води W. Співвідношення C/W може бути від 0,5 до 2,5, але зазвичай воно коливається між 0,8 і 1,2 для більшості методів змішування ґрунту. Значення C/W зазвичай нижчі для лікування

глин і мулів, ніж для пісків і гравію, оскільки для обробки дрібнозернистих ґрунтів потрібна більша кількість води (FHWA, 2000). Додавання розчину в ґрунт зазвичай спричиняє утворення ґрунту, який повертається на поверхню (Eurosoilstab, 2002).

В Японії метод змішування вологого ґрунту використовується як на суші, так і на морі (CDIT, 2002). Основна техніка називається глибоким змішуванням цементу (CDM). На суші машини оснащені від 1 до 4 валів. Змішувальні інструменти складаються з кількох рівнів лопатей (Малюнок 1-5).

1.2. Обладнання та технологія робіт

Діаметр змішувального інструменту зазвичай близький до 1 м. Колони можуть бути встановлені приблизно до 40 метрів (Яно та ін., 1996). Сполучною речовиною зазвичай є цемент (FHWA, 2000). Суспензії мають співвідношення W/C від 0,6 до 1,3 для вмісту в'язучого від 70 до 300 кг на кубічний метр ґрунту (Торолніскі, 2004). Швидкість проникнення інструменту зазвичай становить від 0,5 до 2 м за хвилину, а швидкість виведення – від 1 до 2 м за хвилину. Міцність на стиск, отримана на ґрунтах, оброблених CDM, зазвичай становить від 0,5 до 4 МПа (FHWA, 2000).

Рисунок 1-5 Обладнання, що використовується для CDM (Торолніскі, 2004). Сполучною речовиною, яка використовується в європейських методах глибокого змішування, зазвичай є цемент. Прикладом методу вологого змішування, який використовується в Європі, є CVR C-mix® з Бельгії. Швидкість обертання інструменту близько 100 об/хв. Залежно від ґрунтових умов, суспензію (відношення W/C від 0,6 до 0,8) вводять для додавання приблизно 350 та 450 кг сухого в'язучого на кубічний метр ґрунту.

Як і в більшості методів мокрого змішування, сполучна речовина частково (від 0 до 30%) повертається на поверхню у вигляді руйнування. Отримані колони мають діаметри від 0,43 до 1,03 м (Denies et al., 2012a). Міцність ґрунтів, оброблених цим методом, відносно висока, загалом від 2 до 10 МПа (Ganne та ін., 2010).

Як згадувалося у вступі, перше польове випробування, проведене для оцінки впливу вертикальних ґрунтово-цементних колон, побудованих за допомогою методу змішування мокрого ґрунту для зміцнення існуючої залізничної платформи, було проведено в рамках європейського дослідницького проекту Innotrack (системи INNOVative TRACK) (Ekberg, і Полссон, 2010; Ле Коубі та ін., 2008). Польові випробування проводилися на існуючій залізниці LGV з використанням змішувального інструменту під назвою Springsol, розробленого Soletanche Bachy.

Рисунок 1-6 Процедура встановлення колон за допомогою інструменту Springsol, розробленого Soletanche Bachy (Mosser and Mathieu, 2011).

Процедура встановлення колон, побудованих під існуючими рейками за допомогою інструменту Springsol, виглядає наступним чином (Малюнок 1-6):

- сталевий кожух, розміщений між шпалами, пробивається через баласт на бажану глибину (n°1),

- інструмент Springsol знаходиться всередині корпусу (№ 2). Коли він досягає кінця корпусу і проникає в ґрунт, що лежить під ним, лопаті розширюються під дією пружин,

- колона встановлюється на потрібну глибину шляхом змішування ґрунту з цементним розчином (№3),

- нарешті, сталевий корпус знімається (№4).

Введені суспензії мають співвідношення W/C від 0,5 до 1,5. Швидкість обертання інструменту зазвичай становить від 50 до 100 об/хв. Типова міцність на стиск ґрунтів, оброблених інструментом Springsol, становить від 2 до 8 МПа. Інструмент Springsol також можна використовувати для будівництва колон поблизу існуючих конструкцій або під бетонними плитами (Mosser and Mathieu, 2011).

У наведеній нижче таблиці підсумовуються та порівнюються основні характеристики європейських і японських методів змішування вологого ґрунту для наземного застосування.

Ґрунтоперемішування в Японії використовується для установки колон великих діаметрів на велику глибину. Кількість в'язучого, що вводиться в колони, як правило, вища в Європі, ніж в Японії.

Відповідно, міцність матеріалу ґрунтової суміші також вища. Швидкість проникнення інструменту однакова як для японської, так і для європейської техніки. Навпаки, швидкість вилучення та швидкість обертання інструменту перевершують європейські методи. Підхід, який використовується в Японії для вологого змішування, подібний до методу, описаного для DJM: змішування здійснюється шляхом повільного вилучення змішувального інструменту з низькою швидкістю обертання.

Існує багато інших методів обробки шляхом змішування ґрунту, які можна використовувати для будівництва блоків і панелей або стабілізації великих об'ємів ґрунту. Основні методи включають неглибоку масову обробку, змішування ґрунту фрезою та змішування траншей. Ці методи коротко описані в наступних параграфах.

Загальну масову обробку застосовують у дуже несприятливих геологічних умовах з дуже низькою міцністю ґрунтів, наприклад у випадку торфів і м'яких органічних глинистих відкладень. Машини, які використовуються для стабілізації

маси шляхом змішування ґрунту, як правило, є звичайними екскаваторами, обладнаними спеціальними змішувальними інструментами (Малюнок 1-7).

Таблиця 1-4 Основні особливості європейського та японського методів змішування вологого ґрунту (з модифікацією після AFNOR, 2005).

Параметр	Європа	Японія
Кількість елементів	1 – 3	1 – 4
Діаметр змішувального інструмента	0,4 м – 0,9 м	1,0 м – 1,6 м
Максимальна глибина змішування	25 м	48 м
Розміщення випускного клапану в'язучого	бурова колона	бурова колона і лопаті
Тиск нагнітання	500 кПа – 1000 кПа	300 кПа – 600 кПа
Швидкість проходки	0,5 м/хв – 1,5 м/хв	0,5 м/хв – 2 м/хв
Швидкість підйому	3 м/хв – 5 м/хв	1 м/хв – 2 м/хв
Швидкість обертання лопатей змішувача	50 – 100 об/хв	20 – 40 об/хв
Кількість лопатей	як правило безперервне змішування вздовж бурової колони	350 на метр
Кількість в'язучого	80 – 450 кг/м ³	70 – 300 кг/м ³
Нагнітання в'язучого	під час заглиблення та / або підняття	під час заглиблення та / або підняття

Сполучна речовина впрскується, коли змішувальний інструмент обертається і одночасно рухається вертикально і горизонтально. Стабілізація маси також може бути здійснена шляхом побудови колон, що перекриваються (Eurosoilstab, 2002). Масова обробка, як правило, обмежена невеликими глибинами від 2 до 3 м (максимальна глибина 5 м) (AFNOR, 2005).

Рисунок 1-7 Обладнання для стабілізації маси (Eurosoilstab, 2002).

Змішування ґрунту фрезою засноване на техніці зведення діафрагмових стінок (гідрофрази). Це дозволяє будувати прямокутні ґрунтозмішувальні панелі. Змішувальними інструментами є різальні диски з вертикальними ріжучими зубами. Принцип конструкції показаний на малюнку 1-8. Спочатку інструмент проникає в ґрунт на задану глибину за допомогою повороту барабанів назовні та нагнітання бурового розчину. Після досягнення цільової глибини обертання барабана змінюється на протилежне. Інструмент вилучається в міру безперервного введення цементного розчину (Lebon, 2005).

Рисунок 1-8 Процес будівництва для змішування ґрунту фрезою (Benhamou and Mathieu, 2012).

Безперервні траншеї із ґрунту, змішаного зі в'язучим, можна створити за допомогою методу Trenchmix ®. Обладнання складається зі спеціально сконструйованого зубчастого полотна типу бензопили, пристосованого до кронштейна траншеєкопача (Малюнок 1-9). Сполучна речовина може бути введена у вигляді порошку (сухий) або суспензії (вологий) (Lebon, 2005). Відвал впроваджується в ґрунт на потрібну глибину обробки (максимальна глибина 10 м). Потім траншеєкопач рухається горизонтально, створюючи суцільну стіну змішаного ґрунту. Ширина стіни зазвичай становить від 0,40 до 0,85 м.

Рисунок 1-9 Використання методу Trenchmix (Lebon, 2005).

Хоча загальні принципи змішування ґрунту однакові для різних методів, міцність матеріалу ґрунтової суміші, отриманого вологим змішуванням, зазвичай вища, ніж міцність, отримана сухим змішуванням. Міцність на стиск перевищує 2 МПа для мокрого методу, близько 1 МПа для DJM і близько 250 кПа для скандинавського методу. Ці відмінності в основному зумовлені характеристиками ґрунтів, які обробляються, і використовуваними зв'язуючими речовинами.

Відмінності у властивостях оброблених ґрунтів призводять до значних змін у загальній поведінці оброблених ґрунтових мас. Наприклад, колони, встановлені скандинавським методом, мають відносно низьку міцність і вважаються вертикальними дренажами, тоді як японські колони вважаються практично непроникними. Ці розбіжності призводять до різних призначених застосувань структур для змішування ґрунту (CDIT, 2002).

1.3. Застосування, переваги та обмеження бурозмішувальної технології

Багато авторів перерахували різні застосування змішування ґрунту (Porbaha et al., 1998; FHWA, 2000; CDIT, 2002; AFNOR, 2005; Topolnicki, 2004). Основні програми:
- поліпшення ґрунту (Broms, 2004; Stewart et al., 2004),

- підтримка фундаменту (Taki and Yang, 1991; Bahner and Naguib, 2000; Cavey et al., 2004, Kasali and Taki 2003),
- підпірні стіни (Andromalos and Bahner 2003, Denies et al., 2012a, Topolnicki, 2004),
- пом'якшення розрідження (Benhamou and Mathieu, 2012; Ryan and Jasperse, 1989),
- гідравлічні перегородки,
- відновлення навколишнього середовища (Al-Tabbaa, 2005; Al-Tabbaa et al., 2009).

Спочатку основним застосуванням глибокого змішування ґрунту було поліпшення ґрунту для підвищення стабільності та зменшення осідання конструкцій на м'яких ґрунтах із низькою міцністю на зсув і дуже високим вмістом вологи за допомогою методу сухого змішування. Сьогодні покращення міцності та деформаційних властивостей, а також водопроникності дуже м'яких ґрунтів шляхом глибокого змішування ґрунту є широко використовуваним процесом стабілізації.

Малюнок 1-10 Приклади моделей глибокого змішування ґрунту: (a), (b) стовпчастий тип (квадратне та трикутне розташування); (c) дотична стінка; (d) перекрита стіна; (e) дотичні стінки; (f) дотична сітка; (g) перекрита стіна з контрфорсами; (h) дотичні комірки; (i) кільце; (j) решітка; (k) групові стовпці; (l) група колонок без контакту; (m) блок (Topolnicki, 2004).

Пом'якшення розрідження, гідравлічні перегородки та рекультивація навколишнього середовища – новіші програми, які успішно використовуються на багатьох об'єктах. Існує зростаючий інтерес до використання техніки мокрому змішування для будівництва тимчасових і постійних фундаментів/конструктивних (несучих) елементів і підпірних стін котловану.

Залежно від призначення ґрунтозмішувальних робіт і умов майданчика ґрунтозмішувальні елементи встановлюють різними схемами (рисунок 1-10) шляхом об'єднання колон, розташованих на відстані або внахлест.

Ізольовані колони (Малюнок 1-10 (a) і (b)) зазвичай встановлюються у формі квадрата або трикутника з метою покращення ґрунту. Дотичні колони або колони, що перекриваються, часто споруджуються як зрізи або підпірні стіни (Малюнок 1-10 (c) і (d)). Сітки та комірки (рис. 1-10 (f) і (h)) можна використовувати для ізоляції забруднень, але вони також виявилися ефективними для пом'якшення розрідження.

Рисунок 1-11 Послідовність виконання панелей (Denies et al, 2012a).

Безперервні стіни, виконані методом змішування ґрунту фрезою, як правило, будуються шляхом перекриття основних і вторинних панелей. Сталеві арматури (двотаврові або двотаврові балки) можуть бути вставлені в свіжий матеріал ґрунтової суміші для протидії зсувним силам і згинальним моментам (Denies et al, 2012a).

Незважаючи на те, що переваги та обмеження методів глибокого змішування відрізняються залежно від проекту, у наступній таблиці підсумовано загальні переваги та недоліки (FHWA, 2000 та Topolnicki, 2004):

Основні переваги: Зазвичай можлива висока продуктивність, отже, економічна для великих проектів; Відстань між колонками та візерунки дуже різноманітні, аранжування з урахуванням конкретних потреб; Спричиняє

мінімальне бокове або вертикальне навантаження, яке потенційно може пошкодити суміжні конструкції; Без вібрації, середній-низький рівень шуму; Може використовуватися для наземних, набережних і морських проектів; Якість обробки, що перевіряється під час будівництва; Будівництво з мінімальним впливом на навколишнє середовище.

Основні обмеження: Обмеження по глибині (залежно від застосованого методу); Не застосовується для ґрунтів, які є дуже щільними, дуже жорсткими або містять валуни; Однорідність і якість змішаного ґрунту може значно відрізнятись в певних умовах; Значні руйнування, отримані мокрим способом; Вага обладнання може бути проблематичною для слабких ґрунтів (залежно від методу); Обмежена здатність обробки ізольованих шарів на глибині; Відсутність чітких методів і процедур забезпечення та контролю якості (QA/QC).

1.4. Висновки за розділом. Мета і завдання дослідження

Глибоке змішування — це загальний термін для різних методів, за яких в'язучі речовини механічно змішуються з ґрунтом. В'язучий, введений у сухому або суспензійному вигляді, змішується за допомогою спеціально розроблених змішувальних засобів. Глибоке змішування використовується для різних застосувань. Вибір методу змішування залежить від ґрунтових умов і застосування. Глибоке змішування спочатку було розроблено для покращення властивостей дуже м'яких ґрунтів, а тепер використовується для структурних елементів, таких як фундаменти та підпірні стіни.

В Європі глибоке змішування зазвичай здійснюється мокрим методом з використанням цементних розчинів. Інженерні параметри, необхідні для проектування, і методи, які використовуються на практиці для визначення цих параметрів, описані в наступному розділі. Оглядаються поточні знання про технічні властивості матеріалів ґрунтової суміші та досліджуються фактори, що впливають на характеристики оброблених ґрунтів.

РОЗДІЛ II. МЕХАНІЗМИ ПЕРЕМІШУВАННЯ

2.1. Класифікація механізмів змішування

Як згадувалося у вступній главі, процеси змішування зменшують неоднорідності або градієнти складу, властивостей або температури матеріалу в масі (Uhl & Gray 1966). Розуміння рухів, які забезпечують ці зменшення рідин і твердих речовин, є важливою передумовою для розробки або вдосконалення процесу змішування. Різні форми руху складають механізми змішування (Nienow та ін. 1992).

У цьому розділі розглядаються основні механізми змішування, зокрема рідин і суспензій. Оскільки пухкі ґрунти є суспензіями, і, як правило, суспензіями високої концентрації, акцент робиться на ламінарних механізмах змішування. Також розглядається процес диспергування твердих частинок у рідинах. Література, наведена в цьому розділі, походить переважно з переробних галузей, де були проведені доступні дослідження механізмів змішування. Механізми змішування у зв'язку з глибоким змішуванням будуть розглянуті в розділі 6.

Загальна класифікація процесів змішування не залежить від продукту чи галузі. Процеси змішування можна класифікувати наступним чином (Nienow et al. 1992):

- 1 Однофазне змішування рідини
- 2 Рідина-рідина
- 3 Змішування твердої та рідини
- 4 Змішування газу і рідини
- 5 Трифазне контактування
- 6 Змішування твердих речовин

Сухе глибоке перемішування за допомогою вапняних, вапняно-цементних і цементних колон містить тверді речовини (вапняні і цементні частинки), концентровану суспензію глини і газ (повітря). Фази сильно відрізняються за своїми

хімічні та фізичні властивості, і в результаті ці системи мають надзвичайно складні властивості, які можуть змінюватися в різних умовах.

У той час як більшість типів змішувального обладнання використовується для змішування матеріалів, що мають ряд властивостей плинності, властивості матеріалів важливі для конструкції змішувальної установки. Можливо, кожен тип обладнання забезпечує оптимальну продуктивність лише з вузьким діапазоном властивостей суміші.

Реологія - це наука про деформацію та властивості текучості матеріалів. З реологічної точки зору всі матеріали будуть текти, якщо чекати досить довго. Рідини (флюїди), що змішуються, можна класифікувати як (Lindley 1991a):

- 1 Ньютонів
- 2 неньютонівський
- 3 В'язкопружний

Деякі прості моделі потоку обговорюються в Додатку А. Додаткові класифікації матеріалів можуть бути (Lindley 1991a):

- 1 Зв'язні тверді тіла
- 2 Порошки
- 3 Липкі тверді речовини
- 4 Сухі речовини

2.2. Класифікація розчинів

Суспензії, такі як глиняні суспензії та суспензії частинок вапна та цементу в глині, демонструють властивості, які відрізняються від властивостей ньютонівських рідин, тобто більшість відносно концентрованих суспензій мають неньютонівські або в'язкопружні характеристики.

У нестисливому матеріалі характеристики плоских течій (відносний рух між елементами матеріалу) можна описати двома параметрами: швидкістю деформації ϵ і швидкістю обертання ω . Число R , яке характеризує тип потоку, записується як (Giesekus 1983):

$$R = \frac{(\epsilon^2 - \omega^2)}{(\epsilon^2 + \omega^2)} = \frac{(1 - r_0^2)}{(1 + r_0^2)} \quad (1)$$

Простий зсувний потік можна уявити як відносне ковзання між твердими шарами нескінченно малої товщини, див. рис. 2.1. Відстані між частинками

залишаються постійними для всіх частинок, що знаходяться в одному шарі, і змінюються лише в тому випадку, якщо вони знаходяться в різних шарах. Швидкість обертання дорівнює швидкості деформації.

У процесі змішування в неньютонівській рідині зазвичай є комбінація всіх типів течії.

Рис. 2.1 Типи плоского потоку (за Гізекусом 1983).

Реологічна поведінка матеріалу залежить від типу течії (Giesekus 1983). Таким чином, у процесі змішування різні частини суміші можуть проявляти різну реологічну поведінку.

2.3. Сили та механізми в основі змішування

Оскільки процеси змішування включають різні матеріали з різними реологічними властивостями, важливо знати фактори, які впливають на властивості суміші. Частинки матеріалів, які мають тенденцію до агломерації, мають погані характеристики текучості. Частинки агломерують або злипаються одна з одною через взаємодіючі сили. Наступні механізми можуть призвести до агломерації (Coulson et al. 1979):

а) Механічне зчеплення: маса довгих тонких частинок може стати повністю зчепленою.

б) Поверхневе притягання: це включає сили Ван-дер-Ваала; можуть утворюватися значні зв'язки (високе співвідношення питомої поверхні до об'єму).

в) Пластмасове зварювання: результат високого тиску, який може виникнути в невеликій зоні контакту між нерегулярними частинками.

г) Електростатичне притягання: рух дрібних частинок може призвести до накопичення заряду.

д) Вплив вологи. Волога збирається поблизу точок контакту між частинками та призводить до ефекту поверхневого натягу. Це може також частково частинки, які потім діють як сполучний агент при подальшому випаровуванні.

ф) Коливання температури можуть призвести до змін у структурі частинок і більшої когезії.

Ідеальне змішування - це стан, при якому всі частини суміші мають однаковий склад. Сегрегація відбувається через відмінності в розмірі частинок, щільності, формі та/або пружності. Різниця в розмірі є найважливішою; щільність іноді важлива; інші ефекти, як правило, неважливі.

Наступні механізми призводять до сегрегації (Williams 1983):

а) Траєкторії частинок, де частинки різного розміру мають різні швидкості.

б) Перколяція дрібних частинок, коли дрібні частинки рухаються між проміжками в масі частинок.

с) Підйом грубих частинок під час вібрації.

Фундаментальними процесами транспортування матеріалів у процесі змішування є: передача імпульсу в рухомих середовищах, передача тепла та перенесення маси (Geankoplis 1993).

Процес молекулярного транспорту створює перенесення або переміщення заданої властивості шляхом молекулярного руху через систему або середовище (Geankoplis 1993). Переданими властивостями можуть бути маса, тепло або імпульс. Кожна молекула в системі має певну кількість маси, тепла або імпульсу, пов'язаного з нею. Якщо існує градієнт концентрації між одним регіоном і сусіднім регіоном, відбудеться транспортування цієї властивості. Потік буде пропорційний градієнту концентрації та обернено пропорційний опору.

Схема руху навколо робочого колеса, як правило, дуже складна. Однак, згідно з Metzner & Otto (1957), опір робочому колесу можна перевірити порівнюючи з простими ситуаціями потоку. У ламінарному потоці навколо сфери немає розділення потоку, і в'язке розсіювання енергії є контрольованим фактором. Загальна сила, що діє на кулю, обумовлена силами зсуву на поверхні та різницею

тиску між передньою та задньою частинами кулі. Різниця тиску зумовлена в'язким розсіюванням енергії в потоці рідини (Metzner & Otto 1957).

Механізми змішування можна підсумувати таким чином (Lindley 1991a):

a) Турбулентність і дифузія для рідин з низькою в'язкістю

b) Розрив і рекомбінація, деформація, ламінарний потік, зсувний потік і потоковий потік для дуже в'язких рідин

c) Конвекція, дифузія та зсув для сухих незчеплених твердих тіл

Для змішування має відбуватися відносний рух між частинками або елементами потоку. Коли швидкість потоку збільшується, потік стає турбулентним. Змішування матеріалів відбувається через спонтанний рух (дифузія чи вільна конвекція) або примусовий рух (terbáček & Tausk 1965). Щоб подолати сили опору в суміші, необхідно прикласти зовнішні сили. Ці сили: сили інерції, які протистоять змінам напрямку або швидкості, а також сили опору в'язкості або сили зсуву. Для рідин з низькою в'язкістю, в яких розвинулася турбулентність, сили інерції створюють найбільший опір змішуванню.

Турбулентна течія - це гідродинамічний процес, під час якого утворюються вихори. Елементи рухаються не тільки паралельними шарами, але й непостійними траєкторіями. Це сприяє змішуванню не тільки молекул, а й також елементи рідини проходять між окремими шарами. Аналіз турбулентного потоку, напр. посудина для змішування дуже складна через швидкі тривимірні рухи. Щоб визначити, чи є потік турбулентним або ламінарним, можна використовувати критерій числа Рейнольдса, але визначити число Рейнольдса дуже складно. Для процесів змішування в посудинах максимальне значення числа Рейнольдса для ламінарного потоку становить $Re = 1020$.

Турбулентний рух можна розглядати як суперпозицію спектру флуктуацій швидкості та розмірів вихрів у суміші. Співвідношення між напругою зсуву та швидкістю зсуву в турбулентному потоці можна записати як (terbáček & Tausk 1965)

Змішування суспензій і твердо-рідинних систем залежить від великих вихорів, які містять велику кількість енергії, так званої анізотропної турбулентності (Nienow та ін. 1992). Великі вихори мають великі коливання швидкості низької частоти та мають розмір, пов'язаний з геометрією змішувального інструменту.

Вихори мають велике значення як для розподільного, так і для дисперсійного перемішування.

Як і внутрішнє тертя, швидкість дифузії також зростає, коли потік стає більш турбулентним.

Механізми, які викликають змішування, це ламінарний і турбулентний потік, вихрова дифузія і молекулярна дифузія. Внутрішні сили та сили зсуву відповідають за зменшення розміру частинок і, отже, збільшення площі розділу між компонентами. Якщо в матеріалі присутні агрегати (міцно зв'язані грудки), ламінарне змішування діє як процес диспергування, тобто високі швидкості зсуву розбивають агрегати, що призводить до гомогенізації.

Якщо необхідне швидке змішування, здатність методу змішування деформувати матеріали стає важливою (Gray 1963). Деякі рухи рідини більш ефективні, ніж інші, для деформування та змішування в'язких матеріалів.

Багато, щоб структура потоку створювала рух по всьому об'єму, що змішується. У в'язких рідинах кінетична енергія рухомої рідини витрачається на в'язкий опір. В'язкі рідини потрібно виштовхувати в усі частини об'єму та з них рухомою поверхнею або рухомою рідиною. Це зміщення повинно здійснюватися таким чином, щоб швидко деформувати форму та розширювати область між матеріалами, що змішуються (Gray 1963).

Механізми, які можуть бути активними в ламінарних потоках, це ламінарний зсув, розтяжний потік, розподільне змішування, молекулярна дифузія та напруги зсуву (Edwards 1992). Ламінарний потік зазвичай пов'язаний з високов'язкими рідинами. При типових витратах енергії в'язкість більше приблизно 10 Па·с потрібна, щоб потік був справді ламінарним (Niellow та ін. 1992). Рідина з високою в'язкістю, як правило, реологічно складні. В умовах ламінарного потоку проміжні сили швидко згасають під дією високої в'язкості. Таким чином, змішувальна камера повинна займати більшу частину об'єму, який потрібно змішати. Поруч із інструментом існують високі швидкості зсуву, де рідинні елементи можуть деформуватися та розтягуватися ламінарним потоком. Якість змішування визначається загальним зсувом, який є добутком швидкості зсуву на час.

Змішування покращується завдяки комбінації високих зсувних зусиль і тривалий час перебування. При ламінарному зсуві відбувається подовження і збільшення площі площини, яка перпендикулярна до напрямку зсуву, див. рис. 2.2.

Щоб встановити зв'язок між деформацією при ламінарних рухах і якістю змішування двокомпонентної суміші, ми можемо розглядати товщину шару як міру стану суміші. Якщо S представляє площу між двома компонентами, а t — товщину шару, отримуємо співвідношення, показане на рис. 2.3.

Рис. 2.3 Ламінарний зсувний потік (за Hold 1982)

Міжфазна площа збільшується, якщо напрямок зсуву змінюється під час процесу зсуву (Hold 1982). Тому вигідніше навмисно змінювати напрямок зсуву, ніж безперервно застосовувати односпрямоване поле зсуву. Таким чином, просте зрізання можна оптимізувати, змінюючи напрямок зсуву в кожному циклі, див. рис.

2.5. Збільшення міжфазної площі можна оптимізувати шляхом зміни напрямку зсуву так, щоб він завжди підтримував кути $\alpha = \beta = 45^\circ$, див. рис. 2.4.

Якщо провести порівняння за зміною міжфазної площі, спричиненою односпрямованим зсувом, одноосьовим подовженням і площинним розширенням, стає зрозуміло, що ефективність у створенні нової площі поверхні зростає

у порядку (Cheng 1979):

- 1) Односпрямований зсув
- 2) Одноосьове подовження
- 3) Площинне розширення

У практичних застосуваннях неможливо безперервно подовжувати матеріал: за ділянкою подовження повинна слідувати зона стиснення. У процесі змішування матеріал проходить через різні зони (Edwards 1992). Якщо змішувач має зони високого зсуву або подовження, компоненти повинні проходити через ці зони якомога частіше.

Змішування шляхом просторового перерозподілу внаслідок нарізання та заміни ілюструється ідеалізованими механізмами, показаними на рис. 2.9. Ламінарний потік через пристрій, напр. вбудований статичний змішувач, виробляє а ефект розділення потоку та гібридизації, який зменшує товщину смуг і збільшує площу поверхні між компонентами. Це називається розподільним змішуванням (Edwards 1992).

Як показано на рис. 2.9, площа поверхні між двома компонентами збільшується, а товщина смуг зменшується. З кожним застосуванням механізму якість змішування покращується. В ідеалізованій ситуації, показаній на рис. 2.9, механізм нарізання та заміни не супроводжується зсувом або розширенням. Для процесу змішування вигідно мати зони, в яких елементи піддаються зсуву та розтягуванню, з можливістю реформування між цими зонами, тобто поєднання ламінарного потоку зсуву та розподільного змішування.

У високов'язких рідинах молекулярна дифузія є повільним процесом. Лише коли зсув і деформація зменшують товщину смуг до достатньо низького значення, молекулярна дифузія стає значною.

Тверді частинки варіюються за розміром від дрібних порошків до великих частинок різного розміру, форми, щільності та шорсткості. Дрібні порошки можуть бути важко змішані через когезійні сили та більш грубі частинки через сегрегацію. Змішування однорідних, вільно рухомих твердих тіл, завдання проміжне між вищезазначеними, є легкою справою.

Рис. 2.9 Концепція розподільного змішування шляхом нарізання та обертання (за Nielow та ін. 1992).

Змішування когезійних порошків вимагає, щоб суміш була розділена на більш дрібні частини, і кожна частина вільно рухалася відносно суміші. Для таких матеріалів краще використовувати змішувачі, що створюють високі зусилля зсуву.

Три механізми пояснюють поведінку твердих частинок під час змішування:

1) Дифузія: випадкові рухи в малому масштабі. Окремі частинки рухаються окремо

2) Конвекція: випадкові рухи у великому масштабі. Грудки або групи частинок рухаються разом

3) Усадка

2.4. Дисперсія дрібних частинок у рідині

Коли до рідини додають дрібні тверді частинки, зазвичай необхідно розбити шматки частинок, які утримуються разом сильними або слабкими внутрішніми силами. Підвіски зазвичай

дуже в'язкі та мають неньютонівські характеристики течії. Грудки розбиваються за допомогою напруги зсуву, яка прикладається до рідини.

Ряд проблем виникає у зв'язку з дисперсією твердих частинок у рідині, коли частинки недостатньо зволожені, коли повітря захоплюється рідиною, коли

агломерати важко розщепити, і коли відбувається флокуляція. Детальний аналіз полів напруги в дисперсійному змішуванні дуже складний (Parfitt & Barnes 1992). Потік може включати зони високого зсуву та, ймовірно, подовження поряд із зонами, у яких може відбуватися перерозподіл. Хоча подовження є більш ефективним, обладнання, яке забезпечує високі сили зсуву, легше спроектувати.

Тверді частинки повинні пройти через чотири стани під час перетворення в дисперсію (Parfitt & Barnes 1992). Частинки повинні бути включені, поверхня частинок зволожена, агломерати розбиті, а частинки стабілізовані проти флокуляції.

Для отримання хороших результатів змішування за короткий час змішування важливо, щоб введення відбувалося таким чином, щоб включений порошок розподілявся рівномірно по всьому об'єму. Це особливо важливо при введенні порошоків у матеріали, що мають в'язкопружні властивості, високу межу текучості та високу в'язкість, оскільки диспергувати матеріал у суміші під час фази розподілу важко та займає багато часу. В'язкопружні матеріали мають високу стійкість до деформації і, отже, до руху. Хороший розподіл зв'язуючого агента означає, що масштаб сегрегації (див. Розділ 4) зменшується на ранній стадії процесу диспергування.

Частинки можуть бути первинними частинками, агрегатами або агломератами. Агрегати — це групи первинних частинок, з'єднаних гранями, площа поверхні яких менша за суму площ частинок, що їх утворюють. Сукупність первинних частинок і агрегатів, які з'єднані по краях і кутах, називається агломератом. Його площа поверхні не набагато менша за суму площ його складових (Parfitt & Barnes 1992).

Міжчасткові сили існують у сухих порошках. Сили Ван-дер-Ваальса зазвичай є притягальними і, як правило, перевищують електростатичні сили. При відносно високому вмісті вологи утворюється плівка, яка створює силу тяжіння між частинками, що контактують. Більша кількість води між частинками призводить до утворення водяних містків між частинками, які підвищують когезію (Parfitt & Barnes 1992). Можна оцінити величину найсильніших сил, сил Ван-дер-Ваальса та гравітації. Загалом, чим менші частинки, тим сильнішим є вплив сил між частинками.

Коли порошок змішується з рідиною, грудки порошку містять повітря, яке має бути замінено рідиною (McDonagh & Heywood 1986). Рідина спочатку поглинає дрібні частинки, потім більші. Більші агрегати також можуть поглинатися рідиною. Рідина буде проникати в порожнечі або пори в охопленому агломераті, але повільніше, ніж процес поглинання. При певному ступені проникнення об'ємна щільність агломерату стає більшою, ніж маса середовища, що призводить до відшарування агломерату. Якщо рідина проникає в агломерат з усіх боків, тиск повітря в порах зростатиме, доки агломерат не розірветься. Характеристики процесу змочування залежать від властивостей рідкої фази, характеру поверхні, розміру проміжків в агломератах і тиску, що чиниться на компоненти механічною системою.

Під час процесу змочування не потрібне механічне змішування, якщо (1) щільність порошку більша, ніж густина рідини, (2) рідина змочує порошок і (3) порошок не сильно агломерований. Порошок занурюється в рідину, пори заповнюються рідиною, і грудочки розсипаються, випускаючи повітря, що міститься. Якщо всі ці три умови не виконуються, процес змочування має бути сприяний механічним змішуванням. Навіть за допомогою механічної допомоги особливо важко вивільнити закрите повітря під час змішування рідини з високою в'язкістю. Одним із способів уникнути закритого повітря є попереднє змішування порошку з рідиною меншої в'язкості.

Коли порошок було введено в рідину та змочено або частково зволожено, наступним етапом є руйнування решти агломератів шляхом механічного змішування (Parfitt & Barnes 1992). The

дезагломерація відбувається шляхом зсуву, шліфування або удару. Руйнування зсувом залежить від в'язкого опору. Сила зсуву на частинку безпосередньо пов'язана із середньою в'язкістю суміші.

Високі напруги зсуву для цієї мети можуть бути досягнуті, напр. валкові млини або двошнекові преси. Висока швидкість зсуву і висока в'язкість рідини є перевагами для досягнення високого зсуву. Можна зауважити, що для досягнення високих швидкостей зсуву в рідині з високою в'язкістю потрібна велика кількість енергії. У в'язких рідинах, де не відбувається масообміну між твердою та рідкою

фазами, масштаб сегрегації (див. розділ 4.4) має велике значення. Коли масштаб сегрегації досягає досить низького рівня, молекулярна дифузія може взяти на себе дію, щоб зменшити інтенсивність сегрегації.

Залежно від реологічних властивостей складових матеріалів і типу процесу змішування, ефективність процесу диспергування під час руйнування агломератів контролюється за допомогою двох механізмів:

1. Ефективна деформація та кількість обертів змішувального інструменту або кількість обертів матеріалу;

2. Швидкість зсуву, інтенсивність перемішування. Який із цих параметрів має більший вплив на процес диспергування, залежить від ряду факторів, таких як реологічні властивості суміші та механізми змішування, що діють у використуваному змішувальному обладнанні.

У складних сумішах, таких як суспензія твердих речовин у рідині під час розчинення, розподіл дисперсної фази може залежати від інтенсивності перемішування (Rielly et al. 1994). Таким чином для визначення якості суміші важливі умови перемішування, а не час змішування, тобто швидкість обертання робочого колеса має велике значення для якості змішування. При змішуванні густих суспензій, за Schofield & Stewart (1982), ефективність процесу диспергування залежить від ефективної деформації та числа обертів робочого колеса.

Наприклад для міксера Z-Blade ступінь деагломерації не залежав від швидкості зсуву (швидкості обертання) і залежав виключно від кількості обертів. Це означає, що можна оцінити кількість обертів, необхідних для руйнування агломератів у дрібномасштабних експериментах, а потім використовувати це співвідношення для еквівалентних більш масштабних геометрій.

У виробництві бетону Педжетт (1996) пише, що швидкість зсуву має більший вплив на властивості цементного розчину, ніж загальна енергія змішування. Лабораторні змішувачі порівнювали з польовим обладнанням шляхом вимірювання вільної води та часу згущення при однаковій енергії змішування. Результати показали, що існує незначна кореляція між загальною енергією змішування та вимірними властивостями цементного розчину. З іншого боку, кількість вільної води сильно залежить від змішувального пристрою. Однією з найбільших

відмінностей між польовим і лабораторним обладнанням є швидкість зсуву в процесі змішування. Причина, чому швидкість зсуву є більш важливою, ніж загальна витрата енергії, полягає в силах, необхідних для руйнування агломератів, які утворюються під час змочування порошку.

Schofield & Stewart (1980) в ході дослідження розпаду пігменту в густих суспензіях сформулювали гіпотези про вплив ефективного напруження та інтенсивності перемішування. На думку цих авторів, існують три механізми, за допомогою яких агломерати розщеплюються. У першому початковий агломерат розпадається на два або більше менших агломератів. Ці менші агломерати розпадуться на ще менші одиниці, якщо вони піддадуться зсувній силі, яка перевищує їх зв'язувальну силу. За наявності достатнього часу для того, щоб усі агломерати зазнали достатньо великих зсувних зусиль, за сприятливих умов остаточний ступінь деагломерації буде досягнуто. Таким чином, процес деагломерації залежить від максимальної міцності зв'язків усередині агломератів і від наявного напруження зсуву. Якщо прикладена напруга зсуву або інтенсивність перемішування достатньо висока, усі агломерати розпадуться на основні частинки. Інша можливість полягає в тому, що ряд фундаментальних частинок (найменших частинок, які можуть існувати окремо), які складають великий агломерат, стають повністю дисоційованими. Третя можливість полягає в тому, що основні частинки стираються з зовнішньої сторони агломератів. Підсумовуючи аргументи Шофілда та Стюарта, агітація має бути достатньо інтенсивною та тривалою, щоб агломерати розщеплювались у необхідному ступені. Як тільки це сталося, покращення якості змішування залежить від ефективного штаму.

2.5. Висновки за розділом

На даний момент нам бракує теорій, які б описували основні механізми, що стосуються ефективної деформації та інтенсивності перемішування, а також загального впливу цих параметрів на процеси змішування. Важко на основі огляду літератури зробити загальні висновки щодо ступеня впливу різних параметрів на різні процеси змішування. Тому немає альтернативи проведенню випробувань для кожного процесу змішування та застосування.

Якщо процес змішування не був розроблений таким чином, щоб деагломерація та розподіл відбувалися одночасно, можна очікувати, що знадобиться тривалий час змішування. Таким чином, важливо, щоб тверда фаза розподілялася в максимально можливому об'ємі на стадії інкорпорації. Процес розподілу працює найкраще, якщо суміш має низьку в'язкість.

Коли порошок змочується, агломерати руйнуються, частинки відокремлюються та рівномірно розподіляються в рідині, цей стан необхідно підтримувати та уникати флокуляції. У багатьох процесах змішування це складна проблема. Однак, якщо рідина має високу в'язкість і порошок має низьку щільність, стабільність дисперсії не є основною проблемою, і тому вона не обговорюється далі в цій дипломній роботі.

Характеристики процесу змочування залежать від властивостей рідкої фази, характеру поверхні, розміру проміжків в агломератах і тиску, що чиниться на компоненти механічною системою.

Можна оцінити величину найсильніших сил, сил Ван-дер-Ваальса та гравітації. Загалом, чим менші частинки, тим сильнішим є вплив сил між частинками.

Ряд проблем виникає у зв'язку з дисперсією твердих частинок у рідині, коли частинки недостатньо зволожені, коли повітря захоплюється рідиною, коли агломерати важко розщепити, і коли відбувається флокуляція.

РОЗДІЛ III. ЗМІШУВАЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ

3.1. Дисперсія та розчинення у рідинах

За агрегатним станом речовин розрізняють змішування газів, рідин і твердих тіл. Змішування рідин можна далі розділити відповідно до їх консистенції на змішування ньютонівських рідин і змішування паст, тобто неньютонівських рідин із високим вмістом твердих речовин. Змішувальне обладнання можна розділити на чотири групи:

- 1 обладнання для змішування газів;
- 2 обладнання для змішування рухомих рідин (ньютонівських рідин);
- 3 обладнання для змішування паст та інших неньютонівських речовин;
- 4 обладнання для змішування твердих сипучих речовин.

Існує величезна різноманітність обладнання для змішування різних речовин з рідинами. Сфери застосування включають хімічну, харчову, лакофарбову та фармацевтичну промисловість. Швидкий процес змішування вимагає ефективного руху, досягнутого конвекцією. Рух матеріалу має бути достатньо інтенсивним, щоб створити турбулентність і турбулентну дифузію. Області високої турбулентності придатні для дисперсійних процесів. Змішування малов'язких рідин залежить від: ступінь турбулентності, норма циркуляції. Більшість існуючих робочих коліс передають сили та імпульс до матеріалу за допомогою напруги зсуву, тобто під прямим кутом або паралельно до руху робочого колеса. Весла, турбіни та гвинти є прикладами робочих коліс, що належать до цієї групи.

Існують різні способи надання руху матеріалам, що змішуються, залежно від їхніх реологічних властивостей. Концентровані суспензії, як правило, мають дуже складну реологію і можуть мати як еластичні властивості, так і властивості текучості. Робочі колеса працюють на різних швидкостях залежно від характеристик матеріалів, які змішуються, див. таблицю 3.1.

Пропелери, турбіни та лопаті зазвичай використовуються для змішування рідин із відносно низькою в'язкістю та працюють на високих швидкостях обертання, але їх також можна використовувати для змішування реологічно складних

матеріалів. Коли вони працюють у резервуарі, вони зазвичай мають діаметр від $1/4$ до $2/3$ діаметра резервуара.

Робочі колеса можна розрізнити відповідно до схеми потоку, який вони створюють: тангенціальний (лопаті), радіальний (турбіни), осьовий (пропелери) і складний потік, див. рис. 3.1.

Переважно тангенціальний потік створюється лопатями з прямими лопатями та лопатями з широкими лопатями, що обертаються з такою швидкістю, що радіальний потік не виникає під дією відцентрової сили. Радіальний потік створюється турбінами, а чисто осьовий — пропелерами. Потік суміші виникає, наприклад, у лопатевих змішувачах із нахиленими лопатями.

Таблиця 3.1. Застосування різних типів крильчаток значною мірою залежить від в'язкості суміші (за Edwards & Baker 1992).

Рис. 3.1 Тангенціальний, радіальний і осьовий потік

Найпоширенішим типом гвинта є морський тип, часто з трьома лопатями. Пропелери працюють як високошвидкісні насоси. Змішування залежить від руху рідини, тому потужність пропелера має вирішальне значення.

З пропелерами змішування досягається поєднанням двох рухів: осьовий потік від гвинта; спіральна турбулентна течія.

Пропелери можна використовувати для змішування рідин з в'язкістю до 2 Па·с. Вони підходять для швидкого змішування, напр. низьков'язких емульсій. Пропелерні змішувачі непридатні для суспензії важких або швидко осідають речовин і для поглинання газів.

Радіальні гвинти або осьові турбіни мають складний аксіально-радіальний потік. Вони складаються з плоских або профільованих лопатей, насаджених на вал під кутом $10 - 25^\circ$ до площини, перпендикулярної до осі вала. На відміну від звичайних гвинтів, лопаті закінчуються плоскими гранями, див. рис. 3.2, які є причиною радіального потоку. Це високошвидкісні змішувачі, які підходять для суспензій з в'язкістю до 20 Па·с.

Рис. 3.2 Радіальний пропелерний змішувач

Турбіни мають вертикально встановлені лопаті та різні конструкції. Вони вже багато років використовуються як змішувачі.

Лопаті турбіни захоплюють і викидають рідину переважно радіальним потоком від лопатей. Тому форма змішувальної ємності має велике значення для роботи турбіни.

Основна перевага турбінних змішувачів полягає в тому, що їх можна використовувати в широкому діапазоні в'язкості та щільності. Не існує певної верхньої межі в'язкості, яку можна змішувати. Коли в рідині досягнуто турбулентного потоку ($Re \gg 100$), в'язкість не має великого значення для споживання електроенергії (Ulbrecht & Patterson 1985, Edwards et al. 1992).

Форма турбінних лопаток визначається характером потоку і метою перемішування. Для рухливих рідин використовуються вертикальні плоскі лопаті. Лопаті можна нахилити для підвищення ефективності насоса.

При змішуванні високов'язких речовин бажано нахилити лопаті в бік, протилежний напрямку обертання. Якщо лопаті нахилені або профільовані, початковий імпульс буде меншим, що сприяє передачі енергії від лопатей до рідини. Лопаті можуть бути вигнутими, щоб зменшити потік від робочого колеса та полегшити запуск турбіни.

Турбіни мають широкий спектр застосування, включаючи суспензію, розчинення, хімічні реакції, поглинання газів і тепловіддача. Вони менш придатні, але їх можна використовувати для паштет і тіста.

Рис. 3.3 Типові гвинти, турбіни та лопаті

Прямокутні плечі робочого колеса, перпендикулярні або нахилені до осі вала та приводяться в рух механічною енергією, підпадають під заголовок лопатей. Лопаті та турбіни відрізняються одна від одної структурою потоку, яку вони створюють. У турбінах має переважати радіальний потік з, можливо, деяким тангенціальним потоком, див. рис. 3.1.

Лопаті як змішувальний пристрій відомі давно. Їх головною перевагою є простота і, як наслідок, низька вартість. Їх основними недоліками є невелика пропускна здатність, їх обмеження для рідин з в'язкістю до ~ 1 Па·с і обмежений осьовий потік від лопатей. Добре змішування досягається лише в тонких шарах рідини в безпосередній близькості від робочих коліс, де локальні завихрення утворюються на верхньому та нижньому краю робочого колеса.

Коли лопаті використовуються для змішування, градієнт концентрації (стратифікація) часто призводить до утворення рідини. Це є недоліком, особливо коли один із компонентів додається під час перемішування. Це можна виправити, якщо нахилити лопаті лопатей на $30-45^\circ$ до осі вала, щоб виникло осьове течія. Комбінація весла і гвинта може приймати форму, показану на рис. 3.4. Нахил лопатей у двох напрямках створює як висхідні, так і низхідні осьові потоки, що корисно, якщо потрібна циркуляція рідини.

Рис. 3.4. Крильчатка з лопатями, нахиленими в двох напрямках для забезпечення циркуляції рідини

3.2. Змішування паст та пластичних матеріалів

Існує багато типів міксерів і процесів для змішування твердих речовин і паст. Змішування пластичних матеріалів утворює перехід між змішуванням рідини та змішуванням твердих речовин. Зазвичай міксер є універсальним і може використовуватися не тільки для в'язких рідин або тонких паст, але також для рідин з низькою в'язкістю. Те саме стосується певних міксерів, адаптованих для паст, які також можна використовувати для змішування твердих речовин.

Таким чином, немає чітких меж між різними видами змішувального обладнання. Інші змішувачі розбивають тверді агломерати на пасти та пластичні маси і, таким чином, мають характер млинів.

Змішування паст і пластикових матеріалів значно складніше і складніше, ніж змішування рідин. Чим вища консистенція, тим повільніший потік матеріалу, а

отже, потенціал для турбулентного потоку обмежений. Змішувачі, як правило, сконструйовані таким чином, що робоче колесо проходить через весь об'єм бути змішаним, оскільки важко створити масовий потік по всьому об'єму.

Найпоширенішим типом обладнання для змішування паст є лопатеві змішувачі, сконструйовані таким чином, щоб забезпечити рух сумішей високої консистенції. Якірні мішалки є найпоширенішими змішувачами цього типу. Більшість цих змішувачів мають вертикальні важелі на додаток до горизонтальних важелів для сприяння вертикальному руху суміші, який важко передати, напр. у пластикових матеріалах. Якірні мішалки забезпечують велику циркуляцію. Загалом робоче колесо має діаметр того ж порядку, що й посудина, і розташоване близько до дна. На рис. 3.9 показано деякі типові якірні мішалки для змішування в посудинах.

Рис. 3.9 Деякі типові якірні мішалки

Гвинтові робочі колеса вважаються більш ефективними для змішування в'язкопружних матеріалів, ніж анкерні або багатолопатеві робочі колеса (наприклад, Nagata та ін. 1972). Причина в тому, що коли напр. лопатки обертаються в а в'язкопружний матеріал споживання енергії є високим у безпосередній близькості від лопатей, але сили не можуть поширюватися через суміш через її в'язкопружну поведінку. У результаті змішування відбувається біля лопатей, але поза межами цієї області суміш не рухається взагалі.

Рис. 3.12 Гвинтові змішувачі

Спіральні стрічки особливо використовуються в горизонтальних змішувачах, де потрібна рециркуляція потоку. Це досягається шляхом поєднання двох стрічок, що працюють у протилежних напрямках. Ці змішувачі особливо підходять для змішування сипучих твердих речовин, але також використовуються для змішування рідин, напр. порошки. Ефективність перемішування підвищується за рахунок відведення матеріалу в сторони, після чого він знову потрапляє в основний потік. Спіральні гвинти використовуються для створення сильного осьового потоку в матеріалах з високою в'язкістю.

Повне змішування можна визначити як стан, коли всі зразки, виділені із суміші, містять ті самі пропорції компонентів або ті самі властивості, що й уся суміш. Виходячи з цього, суміш на рис. 4.1b показує повне змішування двох компонентів. На практиці таку суміш реалізувати неможливо. Суміш на рис. 4.1a не складається з восьми білих і восьми чорних частинок у кожному підтомі, хоча частки розподілені випадковим чином. Цей приклад показує, що неможливо визначити повне змішування без урахування варіацій складу або властивостей і розміру зразка. У системах, що включають хімічні реакції, змішування в мікроскопічному масштабі є важливим, оскільки інакше реакція відбуватиметься лише на поверхні грудок у суміші. у напр. струменеве змішування масштаб сегрегації зменшується за рахунок турбулентного руху, тоді як масштаб сегрегації зменшується за рахунок молекулярної дифузії. Коли додаються тверді частинки, їх розмір впливатиме на масштаб сегрегації та на те, як вона зменшується.

При ламінарному змішуванні двох матеріалів товщина смуг може бути мірою якості суміші (шкала поділу), як показано на рис. 4.4. Товщина смуг може бути пов'язана з ефективністю молекулярної дифузії між двома матеріалами (інтенсивністю поділу), щоб дати уявлення про необхідну змішаність для конкретного застосування. Таким чином, результат змішування залежить від прийнятого масштабу перевірки. Якщо груба суміш дасть задовільні результати, молекулярна дифузія відіграватиме другорядну роль. Молекулярна дифузія є повільним процесом і важко досягти ефективного ламінарного змішування в'язких середовищ, напр. густі суспензії.

Рис. 4.4 Товщина смуг як міра якості суміші.

Теоретичні методи, представлені в розділах 4.4 і 4.5, забезпечують основу для оцінки однорідності суміші. Така оцінка повинна ґрунтуватися на поняттях масштабу та інтенсивності поділу або на певному визначеному індексі змішування. Вимірювання однорідності вимагає відбору проб, і на результат впливають, наприклад, кількість зразків, розмір вибірки, метод вимірювання та аналітичний метод. Кількість проб, відібраних із суміші, залежить від використовуваного аналітичного методу. Чим менше зразків аналізується, тим більш невизначеною буде оцінка однорідності. Якщо кількість вибірок невелика, довірчий інтервал середнього значення можна оцінити з відомою ймовірністю за допомогою t -розподілу Стюдента (Johnson 1994). Опубліковані таблиці надають t -розподіл як функцію ймовірності помилки. З більшою кількістю вибірок значення t зменшується, а дозволена ймовірність зростає. Однак для статистичного аналізу дисперсії концентрації потрібна відносно велика кількість зразків. Roux та ін. (1991) рекомендують взяти 2040 зразків із суміші, щоб отримати правильну інформацію про однорідність.

Існує багато способів вимірювання однорідності процесу. Деякі параметри, які часто вимірюються та використовуються в переробних галузях промисловості для оцінки однорідності та умов процесу, це (AIChE 1987): час змішування, щільність, розподіл частинок за розміром, агломерація, властивості продуктивності, хімічні/фізичні властивості, температура, тиск, швидкість потоку, об'єм, пропорції фаз. Час змішування - це час, необхідний для того, щоб суміш компонентів досягла заданого ступеня однорідності.

Після цього суміш вважається змішаною (Edwards 1992). Цей критерій використовується особливо при змішуванні рідин, що змішуються. При оцінці

результату змішування важливо ретельно розглянути методику, яка використовується для оцінки однорідності. Часто час змішування визначається процесом (наприклад, швидкість відновлення заданої кількості мм/оберт при глибокому змішуванні) і може бути дуже суб'єктивним. Час змішування має сенс, лише якщо якість суміші, досягнута в кінці процесу, чітко визначена.

3.3. Висновки за розділом

Для того, щоб дозволити розробку методів вимірювання та аналізу однорідності суміші, важливо, щоб усі практичні випробування дуже ретельно документувалися. Дослідження розвитку індексів змішування та методів вимірювання різних параметрів у переробних галузях показує важливість досліджень, які публікуються та обговорюються. Цей огляд літератури показує кількість роботи та часу, які витрачені на знання, доступні в переробних галузях. Таким чином, важливо, щоб у найближчому майбутньому був створений форум для обговорення (письмового та відкритого для вивчення) з метою створення системи відповідних критеріїв для змішування та надійних методів вимірювання для оцінки стану суміші.

У процесах змішування, де властивості продукту є функцією вхідної енергії на одиницю об'єму, важливо проводити дрібномасштабні випробування з подібною геометрією і таким чином вивчати процес змішування в масштабі. Залежність між якістю суміші та часом змішування є лінійною. Однорідність не залежить від в'язкості, але її можна зменшити за допомогою псевдопластичної або в'язкопружної поведінки. Знаючи реологічні властивості вхідних матеріалів для процесу змішування, ми можемо визначити, які механізми змішування необхідні для того, щоб продукт мав бажані властивості.

Знаючи необхідні механізми змішування, можна визначити відповідні процеси змішування. Таким чином, реологія матеріалів є відправною точкою для розробки всіх процесів змішування.

РОЗДІЛ IV. МЕХАНІЗОВАНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОСНОВ ОБ'ЄКТІВ АПК

4.1. Принцип роботи комплексу

Більш досконалим в сучасних українських умовах способом виготовлення бурових паль є буроін'єкційний спосіб. Ця технологія передбачає обсадну трубу чи шнекове буріння, лопаті якого підтримують стійке положення свердловини. Але в процесі виготовлення конструкції бетон обтискується всередині свердловини додатковим тиском, що додатково ущільнює навколишній ґрунт (рис.4.1).

Рисунок 1.3 – Технологічна схема влаштування буроін'єкційних паль «Солетанж»:
a – буріння свердловини шнеком до проектної глибини; *b* – подача розчину дрібнозернистого бетону через клапани в процесі повільного підняття шнеку; *e* – поміщення арматурного каркасу в обтиснений бетон; *z* – готова буроін'єкційна паля; *l* – свердловина;
2 – шнек; *3* – вертлюг; *4* – обтиснений бетон; *5* – арматурний каркас

Бурозмішувальна технологія виникла на початку 1950-х і полягає у розрихлюванні ґрунту прямо у свердловині використовуючи спеціальну бурову насадку та ретельну перемішування ґрунту з водоцементним розчином, який подається до свердловини через вертлюг зі шлангами розчинонасосом під тиском 0,19 – 0,49 МПа

Процеси розпушування ґрунту, подавання та перемішування розчину здійснюються робочим органом по всій довжині палі (рис.1.6). Після твердіння

грунтоцементної суміші утворюється каменеподібний матеріал, який не розмокає у водонасичених умовах, має щільність 1,8 – 1,9 т/м³, міцність 2 – 3,5 МПа

Рисунок 1.6 – Схема процесу виготовлення бурових паль за бурозмішувальною технологією: а – бурове обладнання в робочому положенні; б – розпушування ґрунту з нагнітанням водоцементного розчину; в – перемішування ґрунту з водоцементним розчином до однорідності; г – поміщення арматурного каркасу в ґрунтоцементний елемент; д – готова сталегрунтоцементна паля; 1 – автомобіль із буровим станком; 2 – силовий привід; 3 – вертлюг; 4 – бурова труба; 5 – ріжучий інструмент; 6 – напірний рукав для подачі водоцементного розчину; 7 – буровий насос; 8 – розчинозмішувач; 9 – ґрунтоцементний елемент; 10 – сталегрунтоцементна паля

До загальних плюсів бурозмішувальної технології підготовки основи об'єктів АПК можна віднести: низький рівень вібрації та шуму при їх будівництві; можливість виготовлення у вологих, просідаючих ґрунтах та при малому робочому просторі; легка зміна діаметру паль шляхом збільшення діаметру лопатей; висока мобільність шасі та необхідних машин та механізмів для спорудження паль, що відповідає щільним графікам сучасного будівництва; на якість виготовленого матеріалу не впливають фактори клімату; не має потреби у регулярному постачанні заповнювачів для суміші.

4.2. Розрахунки енергоємності комплексу

Ефективність роботи комплексу механізації виготовлення основи для об'єкту АПК визначається співставленням отриманого результату із затрати ресурсів для досягнення цього самого результату. наряду зі зниженням

матеріалоємності і ціни влаштування основи при оцінці ефективності технології ми врахували економію енергоресурсів.

Таким чином, витрати енергії для підготовки основи АПК і їх підземних споруд сягають 75-85% усіх сумарних витрат при будівництві. У сільськогосподарському будівництві для виготовлення елементів основи, бетону та цементу в заводських умовах потрібно буде 75-80% сумарних затрат енергоресурсів; для логістики: перевізка бетону та розчину до силосу, що будується будь-якими видами транспорту – 10%; для будівельно-монтажних робіт – 7-9%.

Із досвіду влаштування основ, монолітні бетонні основи за ТЕП, як правило, є кращими за збірні. Збірні основи можуть зрівнятися зі згаданими вище в плані наведених витратами лише коли їх собівартість зменшиться у два рази.

Тобто безспірним напрямком прогресу у підготовці основ АПК є удосконалення механізації влаштування їх підземних конструкцій. Тому впровадження цементогрунту підготовки основ є доцільним з огляду на заощадження матеріалів а також енергетичних ресурсів у с/г промисловості.

Енерговитрати на одиницю конструкції основи АПК, характеризуються питомою енергомісткістю, котра враховує повні витрати різних видів енергій на виготовлення, логістику, влаштування основи, інші роботи.

У табл. 18 показаний розрахунок витрат умовного палива на влаштування одиниці підготовленої основи для хопера у с/г виробництві ґрунтоцементної палі діаметром 450 мм, яка виготовлена за бурозмішувальною технологією.

Витрати енергії для доставки техніки, матеріалів та води розраховані з огляду на те, що транспорт щоденно долає відстань у 34 км (0,34 від 100 км) з бази до об'єкту АПК і у зворотньому напрямку.

Згідно розрахунку, питомі витрати для виготовлення 1 м³ цементогрунтової основи діаметром 450 мм склали $V_{\text{тцб}} = 115$ кг умовного палива. А для виготовлення м³ конструкції бетонної основи таких самих габаритів витрачається $V_{\text{бшт}} = 135$ кг умовного палива.

Табл. 19 наводить деякі значення витрат енергоресурсів на механізовані процеси різного призначення (в'язучі, сталеві вироби, збірні конструкції тощо), їх

виготовлення й логістика доставки до об'єкта АПК, а також для проведення певних БМР по влаштуванню основ.

Таблиця 18. Розрахунок витрат умовного палива

№ п.п.	Найменування процесу	Формула підрахунку	Витрати умовного палива, кг
1	Доставка розчинозмішувача та розчино-насоса до місця роботи	$0,5 \cdot V \cdot Q / \Pi_{зм.}$	0,260
2	Доставляння бурової установки до місця роботи	$0,5 \cdot V_1 \cdot Q_1 / \Pi_{зм.}$	0,272
3	Доставляння води до місця роботи	$0,5 \cdot V_2 \cdot Q / \Pi_{зм.}$	0,392
4	Доставляння арматури до місця роботи	$0,5 \cdot V \cdot Q / \Pi_{зм.}$	0,260
5	Буріння, розпушування ґрунту та перемішування його з цементною суспензією	$t_{зм.} \cdot K_r \cdot V_3 \cdot Q_1 / \Pi_{зм.}$	2,898
6	Приготування та нагнітання цементної суспензії у розпушений ґрунт з витратами на виготовлення цементу	$m_{ц} \cdot Q_2 + t_{зм.} \cdot K_r \cdot V_4 \cdot Q / \Pi_{зм.}$	13,716
7	Виготовлення і встановлення арматурного каркасу	$t_x \cdot V_5 \cdot Q / l_n$	0,198
		Разом	17,973

Відповідно до проведених розрахунків, найменші витрати умовного палива потребує бурозмішувальна технологія з розглядуваним у цій роботі комплексом механізації.

4.3. Недоліки та напрямки вдосконалення комплексу

До недоліків бурозмішувальної технології можна віднести меншу у два рази швидкість виготовлення елементів підсилення ґрунтової основи, ніж при використанні технології jet grouting. За оцінками, кількість відходів матеріалів становить близько 30% від обсягу виробленого об'єму покращеної основи. В даний час згенеровані відходи зазвичай складають поруч із будівельними майданчиками, а пізніше викидають на приміські сміттєзвалища. Поточна утилізація пульпи призводить до високих економічних витрат і спричиняє значні екологічні проблеми, такі як зайняття цінних земельних ресурсів і забруднення навколишніх ґрунтів.

Також традиційним недоліком вважається достатньо невисока міцність елементів підсиленої основи, але тут вирішальну роль грає готовність виконавця робіт піти на підвищення вмісту цементу в складі ґрунтової суміші, а також характер ґрунтового середовища навколо об'єкта АПК.

4.3. Висновки за розділом

Ґрунтоцементні палі, виготовлені механізованим комплексом за бурозмішувальною технологією в процесі замішування забезпечують самостійно стійкість стінок свердловини і бурові розчини та обсадна труба не потребують використання. Елементи обладнання для підготовки основи об'єктів АПК за цією технологією є широкодоступним для України.

Комплект механізації має велику кількість аналогів в різних країнах, котрі пропонують спектр технічних можливостей. Тим не менш в роботі показано, що з огляду на мобільність комплекту механізації та віддалений характер розташування об'єктів агропромислового комплексу, під які влаштовується основа, при виборі шасі та інших елементів комплекту механізації необхідно ставити у пріоритет ремонтпридатність у сучасних умовах української економіки. Тобто технологія працюватиме ефективно за умови використання широкодоступних деталей та механізмів, але з мінімальним зносом. У протилежному випадку будуть зростати поломки різних вузлів лінії, що підвищуватиме непродуктивний час використання установки глибинного змішувача, чим компроментуватиметься ефективність всієї технології.

РОЗДІЛ V. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1 Охорона праці

При проектуванні основи об'єктів АПК (силоси, хопери) із армованих ґрунтоцементних паль гідрогеологічні та фізико-механічні характеристики ґрунтів необхідно визначати з можливістю зміни напружено-деформованого стану ґрунтової маси в межах якої відбувається влаштування основи, що може виникнути внаслідок зміни рівня ґрунтової води чи замочування окремих прошарків ґрунту.

Контроль якості та забезпечення якості отримано з протоколів встановлення колонки та результатів відповідних лабораторних і польових перевірочних випробувань. Кожен елемент забезпечена журналом діаграми, який зазвичай містить: ідентифікацію елемента, деталі змішувального інструменту, глибину змішування, час змішування, специфікацію суспензії, швидкість потоку та тиск упорскування, загальний об'єм використаної суспензії, швидкість змішувального інструменту та оберти за хвилину під час проникнення та виведення і крутний момент валу. На основі цієї інформації розраховується енергія змішування та вміст зв'язуючого відповідно до проектних вимог. Зразки стабілізованих ґрунтів для випробувань зазвичай отримують зі свіжих стовпчиків мокрим захватом. Удосконалені колонкові свердління та інші методи польових випробувань також можуть бути використані для отримання зразків і перевірки безперервності, однорідності та жорсткості глибоких колон змішування ґрунту. Вибір відповідних методів перевірки залежить від їх відповідності, точності та застосовності щодо мети та схеми обробки ґрунту та конструктивних властивостей стабілізованого ґрунту.

5.2 Екологічна експертиза

Головним екологічним викликом техніки DSM є утворення великої кількості твердих відходів. У процесі будівництва цементне в'язуче змішується з насипним ґрунтом для створення ґрунтово-цементної суміші під землею. Під час цієї процедури велика кількість надлишкової ґрунтово-цементної суміші має тенденцію

повертатися на поверхню ґрунту та перетворюватися на глибокі залишки змішування ґрунту.

Одним із основних факторів, який впливає на вплив глибокого змішування на навколишнє середовище, є тип і кількість використовуваного сполучного. В'язучі речовини можуть мати різний хімічний склад, вуглецевий слід і вплив на властивості ґрунту та якість ґрунтових вод. Тому ви повинні вибрати в'язучий, який відповідає умовам ґрунту, проектним вимогам і екологічним нормам. Деякими прикладами в'язучих речовин, які мають менший вплив на навколишнє середовище, є летюча зола, доменний шлак, вапно та біополімери.

Іншою проблемою глибокого змішування є утворення відходів, таких як надлишок в'язучого, стружки та шлаки. Ці відходи можуть забруднювати ґрунт і водні ресурси, а також займати цінний простір на звалищах. Тому ви повинні прийняти стратегії поводження з відходами, спрямовані на мінімізацію, повторне використання, переробку або утилізацію цих матеріалів безпечним і відповідальним способом. Наприклад, ви можете використовувати систему замкнутого циклу, яка відновлює та переробляє надлишок в'язучого, або ви можете використовувати обрізки та відвали як засипку чи заповнювач для інших будівельних цілей.

Третьою проблемою глибокого змішування є високе споживання енергії в процесі змішування, транспортуванні матеріалів і роботі обладнання. Це споживання енергії сприяє викидам парникових газів, забрудненню повітря та зміні клімату. Тому вам слід оптимізувати енергоефективність ваших проектів глибокого змішування, використовуючи відновлювані джерела енергії, транспортні засоби з низьким рівнем викидів та енергозберігаючі пристрої. Ви також повинні ретельно спланувати свій проект, щоб зменшити відстань і частоту транспортування матеріалів і обладнання.

Четвертий аспект глибокого змішування, який вимагає уваги, - це моніторинг і оцінка ефективності та впливу покращеного ґрунту. Це важливо для того, щоб забезпечити відповідність ґрунту специфікаціям проекту, а також для виявлення та пом'якшення будь-яких потенційних екологічних ризиків або збитків. Тому ви повинні проводити регулярні та комплексні випробування та перевірки властивостей ґрунту, характеристик в'язучого та якості ґрунтових вод. Ви також

повинні використовувати датчики, моделі та індикатори для відстеження та оцінки довгострокової поведінки та впливу покращеного ґрунту.

П'ятий і останній спосіб вирішення проблем навколишнього середовища та сталого розвитку глибокого змішування – це впровадження інновацій та вдосконалення. Це означає, що ви завжди повинні шукати нові та кращі методи, матеріали та технології, які можуть покращити продуктивність і зменшити вплив глибокого змішування. Ви також повинні вчитися на власному та чужому досвіді, відгуках і дослідженнях, а також застосовувати найкращі практики та отримані уроки у своїх майбутніх проектах. Роблячи це, ви можете зробити свої проекти глибокого змішування більш стійкими та корисними для навколишнього середовища та суспільства.

5.3 Економічна ефективність

При проектуванні силосів, хоперів та шляхів сполучення для с/г підприємства в полтавській області у геологічних умовах лесового плато досліджувалося 3 варіанти фундаментів (рис. 5.9): буроін'єкційні палі; основа на бетоні (буронабивні конструкції); основа на армованих цементроґрунтових конструкції.

Для усіх варіантів основи справедливо наступне:

- довжина палі дорівнює 7 м;
- діаметр палі – 0,45 м;

Рисунок – 5.9. Варіанти фундаментів під середню стіну: а – армовані ґрунтоцементні палі; б – буронабивні палі; в – буроін'єкційні палі

В результаті розрахунку встановлено, що для підготовки основи необхідно 736 шт. армованих цементогрунтових паль.

Для всіх варіантів основи силосу було розраховано: об'єми земляних робіт; бетону, цементогрунту, необхідну кількість арматури. На основі отриманих обсягів матеріалів та робіт використовуючи програму АВК-5 складалася проектно-кошторисна документація за кожним із варіантів.

При економічному порівнянні варіантів підготовки основи було використано наступні нормативні документи: ресурсні елементні кошторисні норми (ДБН, РЕКН, ДБН Д.2.2 -1- 99, ДБН Д.2.2-47-99); збірники єдиних кошторисних цін (усереднених) на матеріали (ДБН IV – 4-97, ЗСКЦ – 97); індивідуальні збірники єдиних кошторисних цін на будівельні ресурси; інші збірники.

Ціна машино-годин і матеріальних ресурсів прийняті по регіональним поточним цінам на дату складання документів а також за усередненими даними Держбуду України.

Загально виробничі витрати розраховані відповідно до усереднених показників додатка 3 до ДБН Д.1.1 – 1 – 2000.

При порівнянні комплексів механізації приймався той варіант, який демонстрував мінімальну величину приведених витрат.

Результати свідчать, що влаштування основи АПК на цементогрунті є економічним варіантом, так як він має найменші приведені витрати – 2 360 тис. грн., і відповідно найбільший економічний ефект – 3 млн. грн. у порівнянні з найдорожчим способом механізації – буронабивними основами з приведеними витратами 5 300 тис. грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Змішування ґрунту ґрунтується на концепції покращення природних ґрунтів або матеріалів на забудованих територіях для відповідності вимогам проекту, усунення проблемних розкопок і заміни або більш дорогих методів глибокого фундаменту.

Глибинне змішування ґрунту – це геотехнічний метод, який використовується в будівництві для поліпшення властивостей ґрунту. Він передбачає механічне змішування ґрунту на місці з цементним в'язучим для створення більш міцного та стабільного ґрунту для роботи. Ця техніка особливо корисна при роботі з м'якою глиною, мулом або сипучим піском, які схильні до консолідації та розрідження. Глибоке перемішування ґрунту також можна використовувати для зменшення водопроникності ґрунту та зменшення потоку ґрунтових вод.

Широкий спектр застосувань і різні способи виконання змішування ґрунту дозволяють безпечні та дуже економічні рішення для землеробства. Використання нетоксичних в'язучих як добавок до ґрунту, включаючи промислові побічні продукти, і зменшення об'ємів відходів у порівнянні, наприклад, зі струменевим цементуванням або класичними буронабивними палями, твердо позиціонує змішування ґрунту як екологічно чисту технологію. У роботі було доведено, що цей спосіб: економічний, може замінити більш дорогі способи глибокого закладення, без вібрації, гнучкий у застосуванні, скорочує час будівництва, безпечний для довкілля.

Отримані результати свідчать про те, що влаштування основи АПК з використанням цементоґрунту є економічно ефективним рішенням, так як має найменшу кошторисну вартість, себто найбільший економічний ефект порівняно з найдорожчим варіантом комплексу механізації – буронабивними основами. Суттєвою виявилася також економія матеріалів – бетону і арматури, а також енергоресурсів.