

ПОВЫШЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ГРУНТОВ МЕТОДОМ НАПОРНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ

Ю.А. Полозов, ГОАО "Спецтампонажгеология", Украина

А.Ю. Лазебник, ООО «Специализированное предприятие по тампонажным и геологоразведочным работам», Украина

Д.А. Сенин, ООО «Востокспецсервис», Украина

В статье приведен опыт на примере выполненных работ по повышению несущей способности слабосвязных и неустойчивых грунтов методом напорной цементации в основании висячих опор путепровода при строительстве путепровода ПК 66+58,75 II очереди автодороги М-04 (Киев – Луганск – Изварино)

В результате выполнения большого объема исследований по проблеме улучшения физико-механических свойств грунтов и несвязных пород, в ГОАО "Спецтампонажгеология" разработаны и успешно внедрены следующие прогрессивные методы искусственного улучшения свойств пород и грунтов:

- закрепление пород на месте их естественного залегания путем инъекционного уплотнения и инъекционного упрочнения;
- обработка грунтов химическими веществами;
- перемешивание с неорганическими вяжущими: портландцемент, силикат натрия и другие.

В настоящее время наиболее широко внедрена технология, базирующая на инъекционном уплотнении и упрочнении несвязных грунтов суспензионными растворами, которые используются как для повышения прочности и несущей способности несвязных грунтов, так и для их уплотнения. В этом случае, применяются суспензии портландцемента с добавками структурообразователей. Уплотнение достигается инъектированием тампонажных растворов, что приводит не только к повышению несущей способности, но и к резкому снижению проницаемости грунтов.

Инъекционное уплотнение и упрочнение несвязных, слабосвязных, обводненных песчаных и лессовых грунтов для решения различных инженерных задач в области тоннелестроения, ремонта фундаментов зданий способом устройства новых и усиления существующих фундаментов с использованием буро-инъекционных свай и нормативно узаконены ДБН В.3.1-1-2002 «Ремонт и усиление несущих и ограждающих строительных конструкций и оснований промышленных зданий и сооружений».

На основании результатов изысканий выполненных ЗАО «Планета-Буд» и Отчета «Оценка эксплуатационной надежности опор путепровода на ПК 66+58,65 автодороги М-04 Киев- Луганск- Изварино на участке от квартала Южный до пос. Хрящеватое в обход г.Луганска. II очередь», предусматривается цементация грунтов с целью повышения несущей способности фундаментов опор №1 и №2 и усиления несущей способности грунтов под подошвой буронабивных свай опор №3 методом напорной инъекции грунтов с целью возможного дополнительного уплотнения грунтов под действием динамических нагрузок. Повышение несущей способности цементируемого горного массива достигается за счет создания армоцементного несущего каркаса в интервале «основание буронабивной сваи (железобетонной плиты) – мергель выветрелый до состояния щебня с супесчаным заполнителем» и уплотнением слабосвязных грунтов между слоями цементного раствора (рис.1).

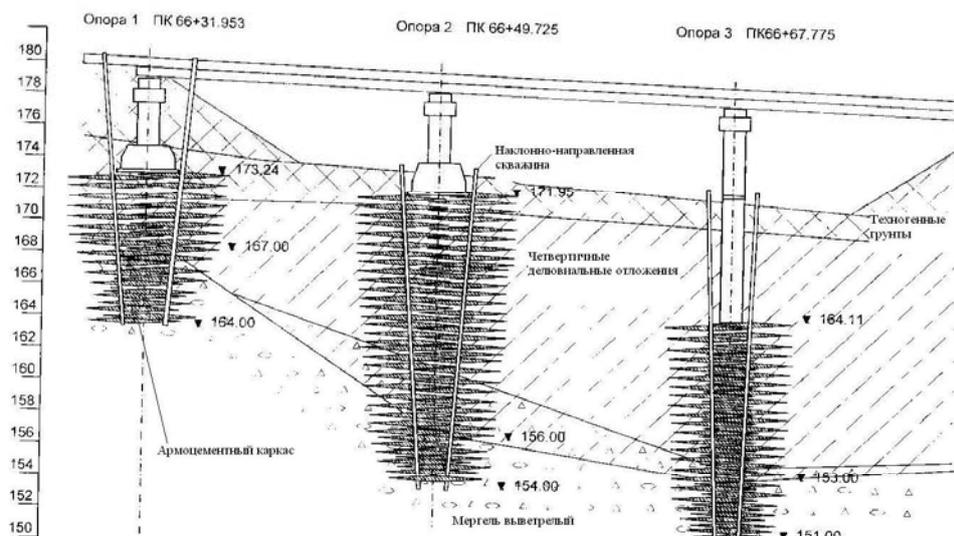


Рис.1. Расположение опор путепровода на ПК 66+58,61 автодороги Киев-Луганск-Изварно со схемой укрепления грунтов через наклонно-направленные скважины

Строительная площадка путепровода расположена на левом пологом склоне р. Вильхова северной части Донецкого края. В геологическом строении участка до разведанной глубины 26м принимают участие современные техногенные грунты, четвертичные отложения и отложения кампанского яруса меловой системы.

Современные техногенные грунты представлены насыпными суглинками, твердыми и полутвердыми с включениями щебня, насыпными мелкими песками средней плотности, общей мощностью 1,2-9,0м.

Четвертичные делювиальные отложения представлены суглинками от твердых до текучих, с гнездами карбонатов, с включениями щебня и дресвы. Общая мощность четвертичных отложений 2,8-17,4м.

Отложения кампанского яруса представлены мергелем выветрелым.

По результатам камеральных и лабораторных работ выделено 9 инженерно-геологических элементов (ИГЭ):

- насыпной грунт: суглинок желто-серый, твердый и полутвердый, с включениями щебня 10-20% (ИГЭ-1) t_{iv} ;

- насыпной грунт: песок мелкий серо-коричневый, малой степени водонасыщения, средней плотности (ИГЭ-2) t_{iv} ;

- насыпной грунт: суглинок коричневый, светло-коричневый с сероватым оттенком, твердый и полутвердый (ИГЭ-3) t_{iv} ;

- суглинок коричневый и светло-коричневый: 4а – полутвердый и твердый, 4б – тугопластичный, 4в – от мягко-пластичного до текучего, с гнездами карбонатов до 10%, с включениями щебня и дресвы 10-20% (ИГЭ-4а,б,в) d_{iii-iv} ;

- мергель выветрелый до состояния суглинка серо-белого, полутвердого и тугопластичного, с включениями щебня 10-20% (ИГЭ -5) K_{2cp} ;

- мергель выветрелый до состояния суглинка щебнистого (щебня 20-30%), серо-белый, от твердого до туго-пластичного единичными глыбами мергеля (ИГЭ -6)

K_{2cp} ;

- мергель выветрелый до состояния щебнисто-глыбового грунта: щебень и глыбы мергеля с супесчаным пластичным и текучим заполнителем 30-40% (ИГЭ-7) K_{2cp} .

Грунты ИГЭ – 4а и ИГЭ-4б слабо и средне набухающие.

Водоносный горизонт приурочен к четвертичным делювиальным отложениям и отложенный кампанского яруса меловой системы. Его уровень зафиксирован на абсолютных отметках 157,0±170,0. при этом сезонные колебания уровня составляют 0,5-1,0м. Подпитка осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и перетоков с ниже залегающих водоносных горизонтов. Водоносный горизонт безнапорный. По химическому составу вода слабоагрессивная

В пределах участка расположения опор №1 и №2 выявлено локальное замачивание насыпных грунтов ИГЭ-1,3 и суглинков ИГЭ-4б. Причиной этого явления является:

- дренирование поверхностных вод вниз по склону;
- насыпь сооружалась из мерзлых грунтов в осеннее – зимний период.

Основные технические решения по напорной инъекции, предложенные специалистами ГОАО «Спецтампажгеология» предусматривают:

По опоре №1 – бурение 16 вертикальных скважин с поверхности путепровода глубиной 16 м вокруг железобетонной плиты основания. Интервал цементации –173,24-165,0м (от подошвы основания плиты до мергеля выветрелого до состояния щебня с супесчаным заполнителем).

По опоре №2 - бурение 16 наклонно - направленных скважин глубиной 20м под путепроводом вокруг железобетонной плиты основания. Интервал цементации–171,91-154,0м (от подошвы основания плиты до мергеля выветрелого до состояния щебня с супесчаным заполнителем).

По опоре №3 – бурение под путепроводом вокруг 3-х буронабивных свай опоры 12 наклонно - направленных скважин глубиной 22м. Интервал цементации – 164,11-151,0м (от подошвы буронабивной сваи до мергеля выветрелого до состояния щебня с супесчаным заполнителем).

Устройство наклонно-направленных скважин выполнять с продувкой сжатым воздухом до уровня подземных вод и «мокрым» способом ниже уровня подземных вод.

Средневзвешенное значение модуля деформации массива грунтов после их цементации оценена величиной не менее 10 МПа. Данная технология по напорной инъекции цементных растворов выполнена в соответствии с ДБН В. 3.1-1-2002 «Ремонт и усиление несущих и ограждающих строительных конструкций и оснований промышленных зданий и сооружений» и ДБН В.2.1.-10-2009 «Основания и фундаменты сооружений. Основные положения проектирования». Бурение скважин производилось самоходными буровыми установками типа МРК-1М, УРБ-ЗАМ. В качестве инъекционного раствора применялись цементные составы с водоцементным отношением 1/1 на сульфатостойком портландцементе марки 500. Водоцементное отношение корректировалось при контрольном нагнетании. Нагнетание цементного раствора осуществлялось поинтервально заходками «снизу-вверх». Приготовление и нагнетание раствора предусматривается с использованием мобильного тампонажного оборудования, включающего поршневые насосы типа НБ-4 с электроприводом, цементировочный насосный агрегат УНБ-160/40, растворомешалки РМ-500, цементно-смесительные машины УС-6/30. Нагнетание цементного раствора производилось через манжетную перфорированную колонну, опущенную до забоя скважины.

Конструкция инъекционной скважины: диаметр бурения - 190мм, обсадная перфорированная манжетная колонна диаметром 89мм крепились путем цементации затрубного пространства. Расположение тампонажных скважин приведено на рис.1. В качестве тампонажного материала применяли цементный тампонажный раствор, состав и свойства которого приведены в табл.1.

Таблица 1

Состав и свойства тампонажного раствора

Состав тампонажного раствора	Состав цементного раствора вес.часть		Плотность кг/м ³	Выход кам-ня, %	Расте-кае-мость, см	Сроки схватывания час-мин		Проч-ность при сжатии, МПа	
	цем.	вода				нач.	конец	1сут	28с ут
Сульфатостойкий портландцемент М 500-750 кг на 1м ³ раствора Вода техническая 750 л на 1м ³ рас-твора	1	1	1500	65	35	8-00	11-00	0.2	35. 0

Сульфатостойкий портландцемент М500 отвечал ГОСТу 22266-76. Вода соответствовала ГОСТу «Вода техническая» (ГОСТ 23732-79).

Допустимое давление нагнетания тампонажного раствора определяется по формуле:

$$P_{\partial} = P_{\sigma} + \tau_{кр} \quad (1)$$

где: P_{∂} – допустимое давление на забое скважины, МПа;

P_{σ} – горное давление грунтов, МПа;

$\tau_{кр}$ – предельное сопротивление сдвигу грунтов, МПа

$$P_{\sigma} = \gamma * g * h * 10^{-6} \quad (2)$$

где: γ – плотность грунта, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

h – глубина залегания слоя грунта, м

$$\tau_{кр} = C + P_{\sigma} * tg \varphi \quad (3)$$

где: C – удельное сцепление грунта, МПа; φ – угол внутреннего трения, град.

Мощность уплотняющего слоя при допустимом давлении:

$$\Delta h_{max} = \frac{m * P_{\partial}}{E} \quad (4)$$

где: m – мощность слоя грунта, м;

E – модуль деформации грунта, МПа

Объем нагнетания тампонажного раствора в один уровень перфорации:

$$V_n = \frac{1}{3} \pi * \Delta h_{max} * R^2 \quad (5)$$

Объем нагнетания тампонажного раствора в одну скважину составит:

$$V_{скв} = \frac{M}{l} * V_n \quad (6)$$

где: M – мощность укрепляемого слоя грунта, м;
 l – расстояние между уровнями укрепления, м
 Общий объем нагнетания тампонажного раствора составит:

$$V_o = V_{скв} * n \quad (7)$$

где: n – количество тампонажных скважин

Результаты расчетов необходимых объемов нагнетания тампонажного раствора приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Объемы тампонажного раствора
 для усиления несущей способности грунтов в основании опор

Номер опоры	Глубина скважины, м	Интервал тампонажа, м	Расчетный радиус распространения тампонажного раствора из отдельной скважины, м	Объем нагнетания раствора в одну скважину, м ³	Количество скважин	Общий объем нагнетания тампонажного раствора, м ³
№1	16	2,0-16,0	1,2	1,2	16	19,2
№2	22	2,0-22,0	1,2	1,4	16	22,4
№3	22	2,0-22,0	1,2	1,4	12	16,8

Конечное рабочее давление нагнетания, характеризующее достижение расчетной величины радиуса распространения тампонажного раствора из отдельной скважины и определяется по формуле:

$$P_m = P_o + \Delta P_{mp} + P_k - P_z \quad (8)$$

где: P_m - конечное рабочее давление нагнетания, МПа;

P_o - допустимое давление нагнетания, МПа;

ΔP_{mp} - потери напора при течении тампонажного раствора в нагнетательном трубопроводе, МПа;

P_k - напор подземных вод, МПа;

P_z - гидростатическое давление столба тампонажного раствора в скважине, МПа.

Допустимое давление нагнетания тампонажного раствора определяется по формулам:

Потери напора в нагнетательном трубопроводе:

$$\Delta P_{mp} = P_{nm} \cdot \ell \quad (9)$$

где: P_{nm} - потери напора на 1 п.м. трубопровода при заданном режиме нагнетания, МПа;

ℓ - протяженность трубопровода, м

Гидростатическое давление столба тампонажного раствора в скважине:

$$P_z = (\gamma g * H) * 10^{-6} \quad (10)$$

где: γ – плотность тампонажного раствора, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

H – высота столба тампонажного раствора в скважине, м

Результаты расчетов конечного рабочего давления нагнетания приведены в таблице 3.

Таблица 3.

Данные расчетов конечного рабочего давления

Интервал тампони- рования, м	Допустимое давление на забое скважи- ны, ΔP , МПа	Потери напора в трубо- проводе, ΔP_{mp} , МПа	Напор подземных вод, P_k , МПа	Гидростатиче- ское давление тампонаж-ного раствора, P_z , МПа	Конечное ра- бочее да- вление нагнетания P_m , МПа
2,0-8,0	3,38	0.26	0.0	0.14	2,5 -3,5
8,0-16,0	4,42	0.36	0.0	0.28	3,5 - 4,5
16,0-22,0	5,39	0,46	0,0	0,35	4,5 - 5,5

Выводы. Выполненные работы по цементации грунтов под опорами позволили предотвратить дальнейшие деформации путепровода. Экономические расчеты показали, что стоимость работ по цементации малосвязных и неустойчивых грунтов методом напорной инъекции в два раза меньше по сравнению с сооружением буронабивных свай и в три раза дешевле по сравнению с сооружением железобетонной плиты под фундаментами зданий и сооружений.

Список литературы

1. Ю.А. Полозов, А.Ю. Лазебник «Укрепление и стабилизация несвязных грунтов под фундаментами зданий и сооружений находящихся в аварийном состоянии», Академия Строительства Украины «Технология и проектирование подземного строительства: Вестник. – Донецк: Норд Пресс, 2003. – Вып.3. -198с.
2. Ю. А. Полозов, А. Ю. Лазебник, С. В. Пожидаев, С.И.Головко « Опыт закрепления просадочных грунтов методом напорной инъекции» », Академия Строительства Украины, «Технология и проектирование подземного строительства: Вестник. – Донецк: Норд Пресс, – Вып.9. 2009г.- 212с.
3. ДБН В.2.1.-10-2009 «Основания и фундаменты сооружений. Основные положения проектирования», Киев, Минрегионстрой Украины, 2009. - 108 с.

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

В.Е. Волкова, Государственный ВУЗ «Национальный горный университет», Украина

Статья посвящена развитию методов мониторинга технического состояния элементов конструкций и сооружений. Автором передоложено применение экспериментальных записей ускорений и перемещений для оценки динамических характеристик фланцевых соединений. Представлены эталонные фазовые портреты на плоскости «ускорение – перемещение» для динамических моделей узлов металлических конструкций.

Введение

Развитие современной строительной науки неразрывно связано с появлением новых конструктивных форм, повышением уровня эксплуатационной надежности, рациональным использованием строительных материалов, созданием принципиально методик расчета, проектирования зданий и сооружений.

Большинству современных сооружений соответствуют весьма сложные расчетные схемы, и обеспечить их надежность, с достаточной достоверностью, теоретическим путем чрезвы-