УЛИЦКИЙ В.М., ГОРОДНОВА Е.В., ШАШКИН М.А.
(ПГУПС, Санкт-Петербург)

SIKORA Z., WYROŚLAK M.
(GUT, Gdansk, Poland).

УДК 624.131

УСИЛЕНИЕ СЛАБЫХ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ ДОРОЖНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Ключевые слова: микровзрывы, динамический обмен грунта, стабилизация слабых грунтов.

Описана технология микровзрывов, применяемая в дорожном строительстве с целью стабилизации водонасыщенных несвязных грунтов, а также оснований сложенных органическими грунтами. Приведен опыт дорожного строительства в Польше с исспользованием технологии микровзрыва и динамического обмена.

Описано технологію мікровзривов, яка застосовується в дорожньому будівництві з метою стабілізації водонасичених незв'язаних грунтів, а також основ складених органічними грунтами. Наведен досвід дорожнього будівництва в Польщі з використанням технології мікровибухів і динамічного обміну.

The technology microexplosions used in road construction to stabilize the water-saturated loose soils and organic soils stacked bases. The experience of road construction in Poland with microburst technology and a dynamic exchange.

ВВЕДЕНИЕ

Вопрос усиления грунтов оснований имеет особую значимость в дорожном строительстве, поскольку стабильное земляное полотно является одним из основных гарантов безопасности движения транспортных средств, а также долговечности и сохранности дорожной одежды или верхнего строения железнодорожного пути. На сегодняшний день существует ряд технологий, позволяющих выполнить стабилизацию слабых грунтов оснований. Сопоставление результатов уплотнения оснований дорожных сооружений, при использовании различных технологий, показали, что одним из наиболее эффективных методов увеличения несущей способности слабых грунтов является их уплотнение микровзрывами (microblasting). Технология позволяет стабилизировать водонасыщенные несвязные грунты (пески, плывуны, каменные наносы), а также основания, сложенные органическими грунтами, такие как торфы, илы, сапропели.

Впервые технология нашла применение в СССР при строительстве Волжской и Горьковской ГЭС в 1951 – 1953 годах. На этих объектах поверхностными и глубинными способами успешно уплотнено более 150 тыс. м^3 песчаных грунтов, намытых под водой. В дальнейшем технология успешно применялась на различных объектах, в том числе расположенных на территории Ленинградской области [1]. В 1987 – 1988 годах уплотнение грунтов взрывами применено при строительстве комплекса защитных сооружений Ленинграда от наводнений. Несмотря на изучение данного вопроса Российскими учеными и успешный опыт применения взрывной технологии, широкого развития в России метод глубинного уплотнения грунтов взрывами до сих пор не получил. В настоящее время применение технологии микровзрывов в России стало возможным в сотрудничестве с иностранными специалистами. Метод микровзрывов внедрен и успешно развивается в Восточной Европе. При поддержке Гданьского морского института и кафедры «Геотехники» Гданьского политехнического

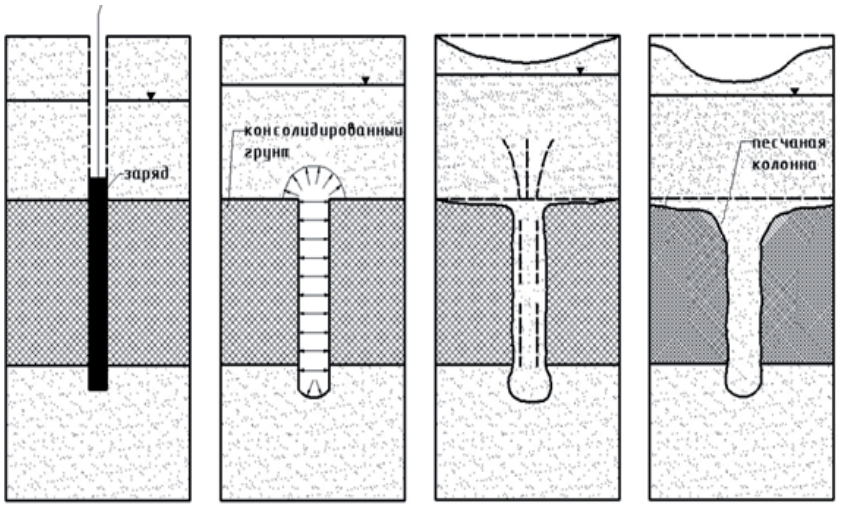


Рис. 1 Последовательность уплотнения связных и органических грунтов микровзрывами

университета удалось запроектировать и успешно реализовать ряд социально значимых объектов транспортной инфраструктуры Польши [2].

Технология микровзрывов

Результатом усиления несвязных грунтов взрывами является увеличение плотности сложения основания. Взрыв вызывает приращение давления воды в порах грунта. После временного разжижения разрыхленного материала наступает быстрое рассеивание этого давления, а частицы грунта укладываются в более плотную конфигурацию. Несколько иначе работает технология при усилении водонасыщенных связных и органических грунтов. Целью использования микровзрывов в этом случае является значительное ускорение консолидации грунта путем формирования песчаных колонн, выполняющих роль дрен (рис. 1).

Технология микровзрывов состоит из несколько этапов. Создается геодезическая сеть для размещения скважин по сетке с заданным шагом. Шаг скважин принимается равным двум радиусам эффективного действия заряда при уплотнении несвязных грунтов, либо шагу свай-дрен при стабилизации несвязных оснований. Бурение скважин с необсаженным стволом производиться до проектной отметки, с учётом заглубления в слой прочного грунта на 0,5 – 1,0 м. В пробуренную скважину погружают упакованный заряд или группу зарядов. После выполнения проектной захватки состоящей из определенного числа скважин производят поочерёдное или групповое взрывание зарядов. Взрыв вызывает разжижение и уплотнение несвязного грунта, либо позволяет в связных и органических грунтах создать песчаную сваю-дрену, с последующим уплотнением грунта вокруг неё.

В водонасыщенных рыхлых несвязных грунтах взрыв вызывает быстрое увеличение порового давления и разрушение их естественной структуры. При производстве работ над скважинами заранее отсыпается дополнительный слой несвязного грунта, который под действием взрыва разжижается, заполняет образованную в результате взрыва воронку, формируя тем самым песчаную колонну. Полученные колонны, как правило, имеют диаметр 0,6 – 2,0 м, зависящий от используемой массы зарядов.

Энергия взрыва 1 кг материала (аммонит) эквивалентна энергии удара трамбовки весом 10т, при свободном падении ее с высоты около 100м.

Применение технологии микровзрывов в дорожном строительстве

При строительстве Нового выхода на МКАД с федеральной автомобильной дороги М-1 «Беларусь» Москва – Минск» г. Одинцово Московской области было предложено в качестве стабилизации основания 9-ти метровой дорожной насыпи произвести усиление грунтового основания по технологии микровзрывов [3]. Зона усиления грунтового основания характеризовалась сложными инженерно-геологическими условиями. На основе анализа лабораторных исследований образцов грунта и статического зондирования в инженерно-геологическом разрезе было выделено более пятидесяти инженерно-геологических элементов (ИГЭ), из которых девять были выбраны специалистами для расчетов консолидации рассматриваемого разреза основания дорожной насыпи (табл. 1).

Рассматриваемый участок уплотнения грунтового основания был разделен на пикеты. На протяжении 300 м проектом предусматривалось проведение буровзрывных работ по сетке 5 × 5 м с общим количеством скважин – 973 шт., фрагмент разреза представлен на рис. 2.

Таблица 1. Расчетные характеристики грунтов в зоне транспортной развязки

№ п/п	№ ИГЭ	Наименование грунта по ГОСТ 25100-95	Геологический индекс	Плотность песчаных и консистенция глинистых грунтов	Удельное сцепление С, кПа	Угол внутреннего трения	Модуль деформаций Е, МПа
1	6м	Суглинок тяжелый пылеватый	dQIII	мягкопластичная консистенция	20	20	10,1
2	9тг	Суглинок лёгкий пылеватый	aQIII	тугопластичная консистенция	17	19	6,8
3	9атг	Суглинок лёгкий пылеватый	aQIII	тугопластичная консистенция	26	16	9,1
4	9бтг	Суглинок тяжелый пылеватый	aQIII	тугопластичная консистенция	17	19	6,9
5	11атг	Суглинок лёгкий песчанистый	aQIII	тугопластичная консистенция	25	22	16,8
6	11ам	Суглинок лёгкий песчанистый	aQIII	мягкопластичная консистенция	20	20	10,1
7	15атг	Глина	aQIII	тугопластичная консистенция	25	14	3,4
8	15ам	Глина	aQIII	мягкопластичная консистенция	23	13	2,0
9	12нв	Песок мелкий	aQIII	средняя плотность	-	34	29,8

Смотри рис. 2 на 3 стр. обложки

Глубина бурения камуфлетных скважин под удлиненные заряды в зоне усиления варьировалась от 13 до 37 м.

Проектом предусматривалось создание опытной площадки размером 20 × 65 м с пятьюдесятью пятью камуфлетными скважинами необходимыми для определения оптимальных параметров взрывных работ, таких как масса заряда взрывчатого вещества и замедление детонации.

Проект производства работ по усилению грунтового основания методом микровзрывов прошел все необходимые согласования и был утвержден Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору.

К сожалению, данный проект не удалось реализовать, однако полученный опыт работ позволил предложить использование технологии микровзрывов на таких объектах как строительство скоростных авто и железных дорог Москва – Санкт-Петербург.

Объединение технологий микровзрывов (MB) и динамического обмена (DR) грунта (гибридная технология MB+DR)

Накопленный опыт дорожного строительства в Польше позволил увеличить эффективность работ по уплотнению слабых грунтов при объединении технологии микровзрывов и динамического обмена. Так при строительстве кольцевой автодороги в городе Барчево (Польша) в результате дополнительных изысканий были обнаружены, не выявленные до начала работ мощные толщи слабых органических грунтов (торфы, сапропели), достигающих глубины 13,5 м (рис. 3).

Сложные инженерно-геологические условия, затрудненное финансирование, в сочетании с коротким сроком, отведенным на выполнение работ, способствовало выбору технологии микровзрывов. Этот метод имел дополнительное преимущество - возможность размещения зарядов на любую установленную глубину.

На рис. 4 представлен проект уплотнения по гибридной технологии (MB+DR) для инженерно-геологических условий, представленных на рис. 3

С целью ускорения процесса консолидации для уплотнения поверхностных слоев грунта дополнительно использовался метод динамического обмена грунта. Тяжёлая трамбовка сбрасывалась с высоты 12 метров (рис. 5). Применение бочкообразного по форме груза, весом от 8 до 12 тонн, позволило сформировать сваи 1,6 – 2,2 метра в диаметре (рис. 6). Данная форма трамбовки обеспечивает не только устройство хорошо уплотнённой и большой в диаметре колонны, но и увеличение несущей способности естественного грунта основания между ними.

Для завершения консолидации на данной площадке, с использованием предварительного нагружения в виде насыпи, потребовалось бы три дополнительных месяца, что превысило бы срок сдачи проекта. Совместное использование технологий микровзрывов и динамического обмена, как альтернатива дополнительной нагрузки, позволило ускорить процесс консолидации и стабилизировать осадку грунта, которая в итоге составила от 0,6 до 1,2 метра. Спустя три года после завершения строительства, видимых признаков развития деформаций на дорожном покрытии не было отмечено (рис. 7).

Эффективность гибридной технологии

Качество выполненных работ было оценено динамическим зондированием. Анализ данных зондирования до и после применения гибридной технологии (рис. 8) подтвердил превосходные результаты. Получено явное уплотнение грунта – осредненное значение степени плотности сложения основания Безаварийная эксплуатация дорожного полотна также свидетельствует о превосходных результатах геотехнических работ.

В Барчево была принята концепция податливого основания, которая позволила перенести нагрузки от дорожной насыпи и эксплуатационных нагрузок на усиляемое грунтовое основание. Соединение технологий имело большое влияние на ускорение консолидации основания, а также сопровождалось более быстрой осадкой. Это сократило не только время выполнения работ, но и позволило достигнуть равновесия между нагрузками от насыпи и несущей способностью усиленного основания. Объединение технологий оказалось успехом, эффективным решением серьезной проблемы, заключающейся в стабилизации слабых грунтов и передачи на них нагрузок.

Научно-исследовательская группа кафедры «Основания и фундаменты» ФГБОУ ВПО ПГУПС под руководством профессора В.М. Улицкого, в рамках совместного сотрудничества с кафедрой «Геотехники» Гданьского политехнического университета, участвовала в разработке и создании проектных решений усиления слабых грунтовых оснований.

СПИСОК ИССПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов П.Л. Уплотнение малосвязных грунтов взрывами. – М.: Недра, 1983.
2. Sikora Z., Wyroslak M. Hybrid technologies application as a tool for weak soil improvement, Proceeding of XVI Polish-French Colloquium, 2013, Montpellier, France.
3. Имиолек Р., Улицкий В.М., Городнова Е.В., Шашкин М.А. Стабилизация грунтов в основаниях дорожных сооружений по технологии микровзрывов. – СПб.: Журнал «Дороги» № 30, 2013.

Смотри рис. 3-8 на 4 стр. обложки

РИСУНКИ К СТАТЬЕ УЛИЦКОГО В.М., ГОРОДНОВОЙ Е.В., ШАШКИНА М.А., SIKORA Z., WYROŚLAK M.
«УСИЛЕНИЕ СЛАБЫХ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ ДОРОЖНЫХ СООРУЖЕНИЙ»

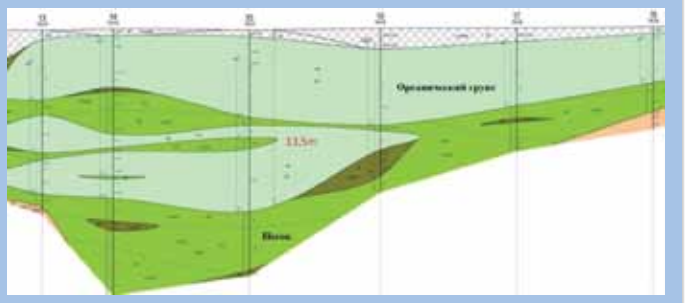


Рис. 3. Продольный разрез основания автодороги DK-16 Ольштын-Барчево

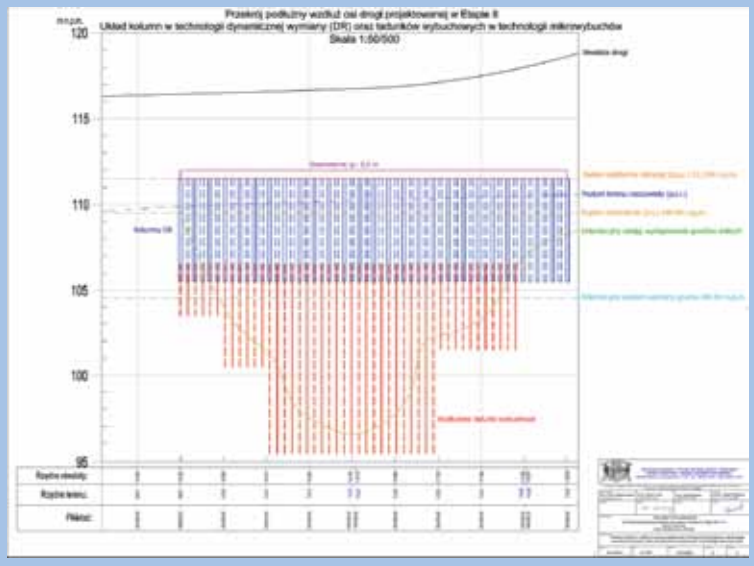
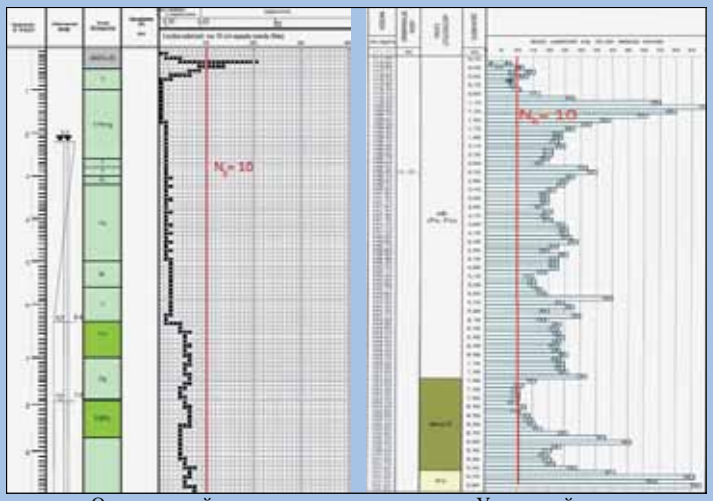


Рис. 4. Продольный разрез с размещением скважин MB+DR (M 1:50/500)

Рис. 5. Динамический обмен, сбрасывание трамбовки (фото: Polbud-Pomorze, Польша)

Рис. 6. Динамический обмен, сечение колонны (фото: Polbud-Pomorze, Польша)

Рис. 7. Общий вид дороги DK-16 после 3-х лет эксплуатации



Органический грунт Усиленный грунт

Рис. 8. Динамическое зондирование «до» и «после» усиления