

УДК 625.731.2:624.138.23

Глубинное укрепление грунтов в дорожно-строительных и ремонтных работах

И. И. ЛЕОНОВИЧ, Ю. Г. БАБАСКИН (Белорусский политехнический институт),
Ш. Х. НЕТФУЛЛОВ (КазИСИ)

В последнее время дорожники все чаще стали обращаться к инъекционному способу укрепления грунтов в целях повышения устойчивости откосов, борьбы с пучинами и другими деформациями земляного полотна, для сооружения конструктивных слоев дорожных одежд и оснований.

Способ инъекционного укрепления грунтов, представляющий нагнетание в грунт под давлением укрепляющих веществ, широко известен в фундаментостроении и хорошо изучен.

Очевидно, что укрепление грунтов способом инъектирования в соответствующих случаях может быть эффективным и при строительстве и ремонте земляного полотна автомобильных дорог. Прежде всего это относится к случаям, когда неблагоприятные грунтовые условия ограничены по простиранию, но распространены на значительную глубину. Практиковавшаяся обычно в таких условиях замена грунтов сложна и трудоемка, а на существующих сооружениях неэкономична. Устройством выемок в переувлажненных или других неустойчивых грунтах, насыпей с повышенной крутизной откосов, укрепление конусов у береговых опор мостов, закрепление разного рода оползней на существующих откосах и склонах, укрепление размываемых мест, ликвидация ослабленных, пучинных, просадочных зон под существующей дорожной одеждой — вот, где глубинное укрепление даст наиболее экономичное, а порой и единственно возможное решение. Расчеты показывают, что в этих случаях, при обеспечении аналогичного результата глубинное укрепление слоя грунта требует меньше энергии, чем получившее широкое распространение укрепление грунтов способом смешения с вяжущими.

В последние годы в нескольких научных коллективах: в Казанском инженерно-строительном институте (Д. В. Волошкой, Ш. Х. Нетфуллов), Белдорнии (Р. З. Поридский), белорусских технологическом и политехническом институтах (проф. И. И. Леонович, Ю. Г. Бабаскин), в Союздорнии проведен цикл исследований с целью разработки инъекционных методов укрепления грунтов применительно к задачам строительства и ремонта автомобильных дорог. Построен ряд опытных участков укрепленного земляного полотна на оползневых склонах, в пучинистых местах, на неоднородных основаниях.

Для укрепления неустойчивых участков земляного полотна под одеждой или на склонах инъекционным способом создают в грунтовом массиве искусственные элементы различной конструктивной формы и разного назначения из укрепленного грунта. Образуются они нагнетанием подобранных реагентов и вяжущих на заданную глубину под определенным давлением при расчетном расстоянии между скважинами [1, 2, 3].

Для ликвидации и предупреждения оползневых явлений на откосах земляного полотна в зоне поверхности скольжения создают инъекционные сваи-шпаны типа грунтовых свай из укрепленного грунта.

В случаях, когда на откосах возникают суффозионные выносы или оползневые повреждения со сколом неоднородных слоев грунта вследствие выжимания нижележащего слабого слоя, проводят сплошное инъекционное укрепление.

Для предупреждения или прекращения расползания насыпей в стороны или сдвига их по наклонному основанию устраняют в нижней части насыпи вертикальные или наклонные шпаны из укрепленного грунта, входящие в устойчивый массив. При сближении скважин возможно образование стен, упоров, противопучинных завес. Эффективность описанных методов показана при закреплении оползневых откосов на ряде объектов в районе г. Казани.

Для ликвидации пучин и просадок на дорогах, построенных по ошибочным проектам или с нарушением технологии возведения земляного полотна, применяют инъекционный способ без вскрытия дорожной одежды и замены грунта. Через одежду на расчетную глубину (около глубины промерзания) погружают инъекторы и нагнетают укрепляющий раствор, который придает грунтам повышенную несущую способность и противопучинные свойства. При наличии непроницаемых пучинистых грунтов, подстилаемых песчаными слоями, в последние нагнетают реагенты для создания капиллярпрерывающей прослойки.

Для получения надежного противопучинного эффекта необходимо выявлять все причины, приводящие к пучинообразованию (особенно неоднородность сложения) с тем, чтобы наметить соответствующую технологию инъекционных работ, установить расстояние между скважинами. Успешная ликвидация пучин, в течение ряда лет проявившихся на эксплуатируемой дороге, была проведена в р-не г. Минска в 1974—1975 гг. [2].

В проницаемых для растворов грунтах конструкции из укрепленного грунта образуются за счет распространения раствора по порам с сохранением естественной структуры.

Грунты, предназначенные для укрепления маловязкими растворами, должны иметь коэффициент фильтрации не менее 0,05 и не более 25 м/сут, естественную влажность не более 30—35%, число пластичности не более 10—13%, емкость поглощения не менее 20—30 мг-экв. на 100 г, карбонатность не более 3%, реакцию pH среды в пределах 6—8, наличие органических веществ и засоленность не более 4—5%.

Доказана возможность образования укрепленных элементов и в непроницаемых грунтах за счет разрыва сплошности грунта при нарушении его первоначальной структуры.

Укрепление вязкопластичными растворами (суспензиями) с разрывом естественной сплошности грунтового массива практически возможно в любых грунтах, наиболее рационально — в рыхлых слоях. Здесь коэффициент фильтрации не играет роли. В этом случае происходит упрочнение непроницаемого массива вследствие так называемой уплотнительной инъекции.

Устройство дорожных одежд и оснований из грунтов, укрепленных инъекционным способом, возможно применять при наличии песчаных или супесчаных грунтов с коэффициентом фильтрации не менее 0,1 м/сут и не более 25 м/сут, с pH сред 3—13, содержанием органических смесей и солей не более 2—3%. Обработка грунта инъекцией проводится на глубину 30—35 см от поверхности. Устройство укрепленного способом инъектирования слоя грунта для несущего слоя одежды (с поверхностной обработкой) было проведено на нескольких дорожных участках в БССР. Вопросы выбора укрепляющих растворов и реагентов, оценки их эффективности достаточно глубоко изучены в строительной практике.

В описанных опытах испытаны для укрепления цементные и цементноизвестковые растворы (суспензии), силикатные растворы с разными отвердителями и морозозащитной добавкой ГКЖ-94, растворы карбамидных смол с отвердителями в виде хлористого аммония и щавелевой кислоты, отходы целлюлозно-бумажной промышленности в виде сульфитно-дрожжевой бражки с добавками бихромата натрия или калия.

Прочность укрепленных грунтов можно варьировать в широких пределах: от 0,2 МПа до 10 МПа и выше в зависимости от применяемого реагента и назначения конструкции из укрепленного грунта.

Для несущих слоев дорожной одежды применялись карбамидные смолы как неразбавленные, так и разбавленные водой в соотношении 1:0,5 в зависимости от влажности грунта. Отвердителем к смоле был 5%-ный раствор соляной кислоты в количестве 5% от массы смолы.

Прочностные характеристики грунта, укрепленного водным раствором карбамидной смолы марки Крепитель М-3 с выбранным отвердителем, соответствуют II классу прочности по СН 25-74. Сравнение прочностных характеристик и структур образцов одного и того же грунта, укрепленных способами перемешивания и инъектирования, позволило установить, что

во втором случае возникала более прочная и плотная структура.

Оборудование для закрепления неустойчивых откосов в принципе не отличается от рекомендуемых для фундаментостроения комплектов. Оно состоит из серийно выпускаемого смешительного и насосного оборудования, которое комплектуют в передвижные агрегаты. Инъекторы и тампонажные устройства имеют несложную конструкцию и обычно изготавливаются силами дорожно-строительных организаций [2, 3].

Инъекционное укрепление грунтов земляного полотна под существующей одеждой состоит из следующих основных операций: приготовление рабочего раствора, пробное нагнетание в две-три скважины, бурение инъекционных скважин (в случае необходимости), погружение инъекторов с тампонирующим устьем скважин, нагнетание раствора, извлечение инъекторов и заделка отверстий, оставшихся после их извлечения.

Принципиально новые решения были разработаны для механизации устройства несущих слоев дорожной одежды [4, 5, 6]. В них учтены малая глубина и необходимость ускорения процесса нагнетания, обеспечен подбор таких значений давления, при которых вводимый раствор не выходит бы на поверхность, а равномерно распространялся в порах грунта. В зависимости от вида грунта, характера и вязкости укрепляющего раствора оптимальными оказались давления в пределах 0,11—0,16 МПа.

Исследования показали, что радиус распространения укрепляющего раствора в песчаном грунте в течение очень ограниченного времени (10—15 с) составил максимально 15—18 см при глубине 30—35 см. В инъекционной машине инъекторы устанавливали таким образом, что радиусы распространения раствора перекрывались, образуя сплошной укрепленный массив [4]. Для практического применения рекомендованы два вида инъекторов: сферический для грунтов с коэффициентом фильтрации меньше 5,5 м/сут и радиальный — больше 5,5 м/сут.

Для механизации и автоматизации технологических операций при устройстве конструктивных слоев дорожных одежд и оснований из грунтов, укрепленных вяжущими материалами способом инъектирования, разработаны установки [5] и машины для укрепления грунта [6]. Принцип их работы заключается в последовательном погружении системы инъекторов, установленных на общей раме, и нагнетании через них в момент максимального заглубления укрепляющих растворов. Осуществляется это при непрерывном движении всей машины.

Важной особенностью способа является возможность использования широкого спектра укрепляющих растворов, в том числе отходов производства.

С начала опытного освоения технологии глубинного укрепления грунтов в дорожном строительстве, не считая первых опытов, прошло уже около 8 лет. Результаты проведенных за это время исследований и опытных работ позволяют сделать вывод о практической перспективности применения глубокого инъектирования во многих случаях при низкой прочности или недостаточной стабильности земляного полотна.

Этот вывод подтверждался неоднократно различными авторами в публикациях, в решениях нескольких научных конференций, авторитетными учеными советами при защите кандидатских диссертаций (Ю. Г. Бабаскин, Ш. Х. Нетфуллоев). Разработаны инструкция, руководство, различные пособия [1, 2, 3]. Конечно, для массового применения способа нужно наладить промышленное изготовление агрегатов или хотя бы инъекторов специального назначения, а для отработки их конструкции нужен производственный опыт.

Новая геотехническая технология должна смелее включаться в проекты, шире использоваться при ремонте дорог.

Литература

1. Волоцкий Д. В. Основы глубинного закрепления грунтов земляного полотна автомобильных дорог. — М.: Транспорт, 1978, 120 с.
2. Инструкция по повышению устойчивости земляного полотна автомобильных дорог глубинным закреплением грунтов. РСН 15-76. Госстрой БССР. — Минск: Белдорни, 1976, 43 с.
3. Руководство по обеспечению устойчивости откосов земляного полотна автомобильных дорог химическим способом. Минавтодор РСФСР, М.; 1982, 70 с.
4. Авторское свидетельство 755943 (СССР). Способ укрепления грунта (Ю. Г. Бабаскин. — Опубл. в Б. И., 1980, 15 августа)
5. Авторское свидетельство 535391 (СССР). Установка для укрепления грунта (И. И. Леонович, Н. П. Вырко, Ю. Г. Бабаскин. — Опубл. в Б. И., 1976, 15 ноября)
6. Авторское свидетельство 747929 (СССР). Машина для укрепления грунта (Ю. Г. Бабаскин, И. И. Леонович, Л. Р. Мытько. — Опубл. в Б. И., 1980, 15 июля)

УДК 625.731:625.72

Проектирование насыпей с повышенной плотностью грунтов

Канд. техн. наук А. М. КАМЕНЕВ (Казахский филиал Союздорнии)

Анализ данных многолетних наблюдений за сезонными изменениями состояния земляного полотна (влажности, плотности) [1] показал, что в пустынно-степных и пустынных районах Казахстана на дорогах с водонепроницаемыми покрытиями при глубоком залегании грунтовых вод и обеспеченным водоотводом (первый тип местности по увлажнению) приданная грунтам в процессе их уплотнения высокая плотность (коэффициент уплотнения $K_y > 1,0$) сохраняется без существенных изменений в течение длительного времени.

Это объясняется особенностями водного режима земляного полотна, характеризующегося незначительными сезонными изменениями влажности. Влажность грунта активной зоны перед началом зимнего периода обычно не превышает оптимального значения по стандартному уплотнению. По многолетним данным на эксплуатируемых дорогах предзимняя влажность активной зоны в долях от границы текущей равна для суглинков легких пылеватых 0,56, супесей пылеватых 0,53, супесей легких 0,44, песков пылеватых 0,33 [1]. Поэтому промерзание грунта под дорожной одеждой, хотя и сопровождается парообразным перераспределением влаги в верхнюю часть земляного полотна (величина зимнего влагонакопления не более 0,3—0,8 % от объема скелета грунта), но практически не вызывает разуплотнения.

Наблюдения на опытных участках и постах позволили сделать вывод о том, что повышенное уплотнение верхней части земляного полотна толщиной 0,3—0,5 м целесообразно в рассматриваемых условиях не только для суглинков, но и для супесей и пылеватых песков. Было экспериментально установлено отсутствие чрезмерной конденсации парообразной влаги при промерзании в пористых (песчано-гравийных) слоях основания дорожной одежды на границе с уплотненным грунтом насыпи. Особенно мала конденсация парообразной влаги в пористых основаниях на насыпях из легких грунтов (пылеватых песков и супесей) в наиболее засушливых пустынных районах Казахстана.

Приведенные данные легли в основу рекомендаций по проектированию насыпей с повышенной плотностью грунтов [2], которые способствовали внедрению известного положения инструкции ВСН 46-83 по расчету нежестких дорожных одежд о целесообразности уплотнения верхней части земляного полотна в IV, V дорожно-климатических зонах до $K_y > 1,0$. В настоящее время институт ГГПИ Каздорпроект и его филиалы ежегодно проектируют 90—120 км дорог с повышенной плотностью земляного полотна.

В соответствии с этими рекомендациями насыпи с повышенной плотностью ($K_y = 1,01—1,05$) грунтов проектируют в засушливых районах Казахстана с годовым количеством осадков не более 400 мм в IV зоне и 500 мм в V зоне на участках первого типа местности. Для возведения таких насыпей можно использовать все разновидности супесей и легких суглинков, а также пылеватых песков. Толщину верхнего слоя грунта с повышенной плотностью назначают в пределах 0,3—0,5 м с учетом категории дороги, причем большую толщину принимают для дорог I—III категорий. Плотность грунта остальной части насыпи должна соответствовать нормам, установленным для IV, V дорожно-климатических зон ($K_y = 0,95—0,98$). В проектах предусматривается устройство присыпных обочин. Коэффициент уплотнения грунта обочин должен быть не менее 0,95.

Для сохранения высокой плотности грунта длительное время в конструкциях дорожных одежд предъявляют ряд требований в зависимости от степени увлажнения территории Казахстана, характеризующейся годовым количеством осадков [2].

В районах с годовым количеством осадков 350—400 мм в IV дорожно-климатической зоне и 400—500 мм в V зоне дорожная одежда должна иметь усовершенствованное покрытие и основание из укрепленных вяжущими материалами