

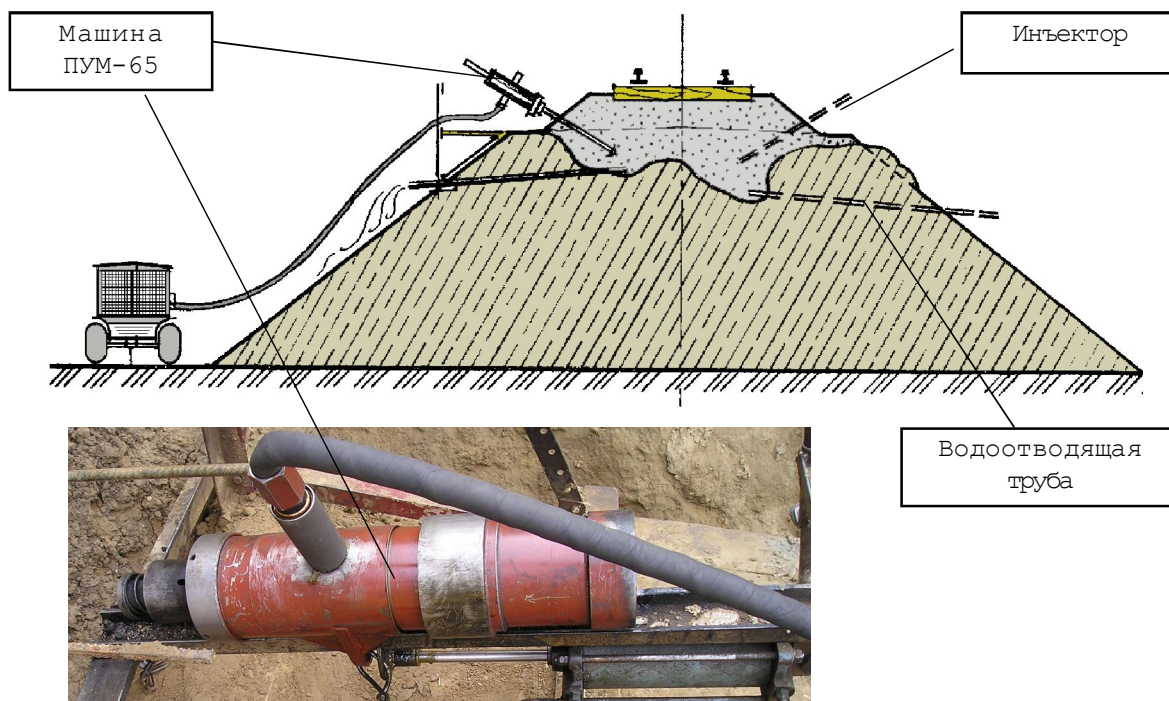


Рис. 1. Схема выполнения работ по ликвидации балластных «мешков» напорными инъекциями с предварительным отводом воды и использованием машины ПУМ-65

грунта. По маркетинговым данным строительных компаний США, при строительстве с использованием армированного грунта материальные затраты примерно в два раза ниже, чем в традиционных технологических процессах. Расход бетона снижается примерно в 3,3–3,5 раза, расход металла — в 5,9–9,0 раз. В нашей стране подобные сооружения применяются крайне редко. Это во многом связано с отсутствием доступной информации, а также сертифицированных в России методов расчета этих креплений, собственного оборудования и технологий производства работ.

Сущность нагельного (стержневого) вида крепи грунтового массива заключается в том, что для обеспечения устойчивости крутых откосов или вертикальных стенок котлованов в грунт забивают, вдавливают или устанавливают в готовую скважину на цементно-песчаном растворе стержни (нагели). При этом установлено, что длина погружаемых нагелей должна быть не менее половины высоты закрепляемого откоса, а шаг их расположения — от 0,5 м до 1,5 м. Укрепление армированием основано на возникновении сил трения между частицами грунта и арматурой. Грунт, находящийся в соприкосновении с арматурой, благодаря арочному эффекту передает ей усилия по линиям равных давлений, протянувшимся между соседними стержнями. В результате образуется массивная подпорная (грунтово-арматурная) стена большой собственной массы.

Впервые опытный участок с использованием технологии стержневого крепления был сооружен авторами совместно с сотрудниками НИИОСП им. Н.М. Герсеева — стенки котлована на выходе проходческого щита коллекторной сети (г. Москва). Армирование грунтового массива выполнялось арматурными стержнями (диаметром 19 мм), находящимися в цементно-песчаной оболочке диаметром 60 мм (для повышения сил трения). На поверх-

ность каждого яруса укладывалась сетка-рабица с последующим торкретированием этой поверхности. Выполнить такую конструкцию крепления оказалось возможным только с применением пневмоударной машины ПУМ-65, разработанной авторами. Наличие у машины свободного торца позволило в данном случае одновременно с извлечением обсадной трубы подавать в скважину цементно-песчаный раствор. Схема устройства и расположения элементов такого «сборного» стержня — нагеля в грунте показана на рис. 2.

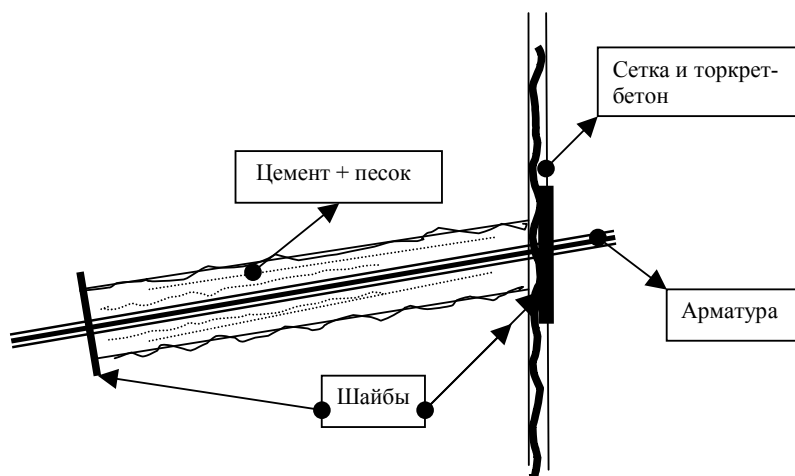


Рис. 2. Схема стержневого крепления грунтового массива

В г. Новосибирске на нескольких объектах (при строительстве метрополитена, укреплении откосов котлованов под здания торговых центров на ул. Восход, ул. Красный проспект и др.) при участии авторов также применена технология стержневого крепления (рис. 3). Отличие этой технологии заключается в том, что в грунт погружался (с использованием также машины ПУМ) только арматурный стержень (диаметры 19...27 мм). Для закрепления поверхности откоса на этих объектах использовались различные способы и материалы: металлические щиты, железобетонные плиты или металлическая сетка с изолирующей синтетической тканью (геотканью).



Рис. 3. Закрепление откоса стержнями на ул. Восход в г. Новосибирске

Опыт, полученный в результате проведенных работ, показывает, что для успешного широкого внедрения технологии нагельного крепления грунта в

производство необходимо создание подробных нормативных документов, стандартов. О важности решения этой задачи говорит признание за рубежом проблем армирования грунта в качестве отдельного направления геотехники.

Во всем мире бесстыковой путь является наиболее прогрессивной конструкцией железнодорожного пути и доля его постоянно увеличивается. Полное отсутствие стыков позволяет существенно снизить динамическое воздействие пути на подвижной состав, повысить комфортабельность пассажиров. Известно, что бесстыковой путь имеет сложное напряженно-деформированное состояние, которое определяется не только воздействием сил от колес подвижного состава, но и сил, вызываемых изменениями температурного режима самих рельсов. Например, изменение температуры рельса Р65 на 1°C изменяет продольную силу в нем на 41,5 кН [5]. При повышении температуры рельсовых плетей относительно температуры, при которой осуществлялось их крепление к шпалам в них могут возникать сжимающие силы до 1000 кН (зона Западной Сибири), создающие опасность выброса пути. При понижении температуры плети возникает вероятность ее излома и появления опасного для прохода ходового колеса зазора, а при слабой затяжке клеммных и стыковых болтов может произойти разрыв стыка. Это обусловлено возникающими, еще большими по величине, растягивающими силами (до 1700 кН). Угон пути происходит от действия значительных по величине продольных сил, возникающих при прохождении колес подвижного состава, особенно на участках торможения. Эти силы, суммируясь с силами температурной природы, могут вызвать нарушения устойчивости пути. Причем всегда имеется некоторая неравномерность распределения внутренних напряжений по длине плети и участки с большими локальными отклонениями напряжений от расчетных являются очагами последующих нарушений устойчивости пути.

Реологические процессы распределения напряжений в закрепленных рельсах протекают достаточно медленно и при резких изменениях температуры возможна потеря устойчивости пути. Наблюдения [5] показывают, что независимо от длины рельсовых плетей и от способа разрядки напряжений максимальные дополнительные напряжения от неравномерного их распределения вдоль плети составляют около $35 \cdot 10^3 \text{ кН/м}^2$.

Очевидно, что перераспределение напряжений сжатия (релаксацию) можно выполнить только ударным методом. Это объясняется тем, что рельс является своего рода стержнем малой жесткости и статически приложенными усилиями его реально можно только растягивать.

При передаче ударного импульса рельсовой плети в ней формируются упругие волны деформаций, которые распространяются вдоль оси рельса со скоростью распространения звука в стали (примерно 5000 м/с), т. е. рельсовая плеть в данном случае является волноводом. Особенностью такой системы-волновода является наличие распределенных по длине плети упругофрикционных наложенных связей в виде упругих прокладок под рельсом, защемлений рельса между ребрами подкладок и пр. Эксперименты показывают, что торцевое воздействие с реальной энергией удара может способствовать релаксации напряжений в плети на протяжении, измеряемом сотнями метров. Очевидно, что для эффективного воздействия на рельсовую плеть, длина которой может достигать нескольких километров, необходима ударная система с неторцевым

соударением и передачей энергии удара через зажимной механизм с последовательными перестановками.

Для исследования процесса передачи ударного импульса при неторцевом соударении (произвольном сечении рельса) был использован серийный пневмопробойник ИП-4603А [6], имеющий следующие параметры: масса ударника — 38 кг; диаметр ударника — 130 мм, предударная скорость — 3,4 м/с, энергия единичного удара — 240 Дж. Характеристика рельсовой плети: рельсы типа Р65, длина 485 м, крепление типа КБ, подрельсовые прокладки — из резинокорда.

Эксперименты показали, что волны деформаций, возникшие в контактном сечении рельса, распространяются по нему одновременно в обе стороны от места возникновения. Причем по направлению удара в плети распространяется волна напряжений (деформаций) сжатия, а в противоположную сторону — волна напряжений растяжения.

В этом случае энергия ударного импульса как бы раздваивается, кроме этого имеются потери энергии и в зажимном механизме. Установлено, что для прохождения ударного импульса по плети (на расстояние до 150 м) энергия удара, достаточная для перераспределения напряжений, должна быть не менее 1500 Дж. Если плеть вывесить на роlikоопоры либо установить на антифрикционные подкладки, протяженность рабочей зоны увеличивается примерно в два раза. Исследования показали, что ударное воздействие приводит к снижению напряжений в рельсовой плети в среднем на 60 %. При рассмотрении изменения напряженно-деформированного состояния рельсовой плети по длине при прохождении по ней ударного импульса без учета и с учетом сил трения (от взаимодействия с подкладками) установлено, что энергия импульса уменьшается на величину работы сил трения. Установлена длина участка, на котором происходит затухание ударной волны. Определяющее значение при этом имеют величины погонного сопротивления, погонного веса рельса и скорости распространения ударной волны. Важно, что смещения поперечных сечений от воздействия ударного импульса распределяются равномерно.

В разработанном по результатам исследований технологическом процессе [7], при наличии участка с локальными изменениями расчетного напряженного состояния, проводится комплекс работ с применением разработанного ударного устройства. Величина рассчитанной силы удара, с учетом создания в рельсовой плети двух волн деформации разного знака, достаточна, чтобы наблюдался эффект релаксации напряжений на длине порядка 50 м.

Если на рассматриваемом контрольном участке рельса длиной 100 м отмечено его укорочение (суммарное смещение контрольных сечений относительно отметки на «маячной» шпале внутрь участка на величину более 10 мм), необходимо произвести перераспределение сжимающих напряжений в прилегающие к этому участку зоны рельсовой плети. Работы должны производиться при температуре плетей, равной или меньшей температуре их закрепления к шпалам.

Для проведения релаксации напряжений ударное устройство устанавливается в середине контрольного участка и, в направлении удара, на расстояние 80 м гайки клеммных болтов ослабляются на 2–3 оборота. После нанесения 8–10 ударов ударное устройство перемещается в сторону раскрепления плети на расстояние 25 м и гайки клеммных болтов на пройденном участке затягиваются

номинальным моментом 150 Н·м. Опять наносится 8–10 ударов с последующим перемещением ударного устройства на 25 м и закреплением гаек клеммных болтов пройденного участка. Далее последовательность операций в процессе циклично повторяется. Если после 2-го шага (50 м пройденного расстояния) по риске на рельсе у «маячной» шпалы не будет отмечен эффект релаксации, дополнительно раскрепляется (ослабляются на 2–3 оборота гайки клеммных болтов) еще 50 м плети по направлению удара и циклический процесс релаксации повторяется.

Движение «фронта» работ в рассматриваемом направлении заканчивается, если смещение риски на рельсе в зоне набегающей «маячной» шпалы не будет превышать 3 мм. После этого «фронт» работ возвращается в исходное положение, ударное устройство разворачивается на 180° и технологический процесс продолжается в той же, как и ранее, последовательности операций, только в другом направлении. В «пробитом» таким способом участке рельсовой плети происходит контролируемое перераспределение напряжений, накопившихся в ходе эксплуатации пути. Завершающей операцией работ на данном участке является сплошная протяжка всех гаек клеммных болтов моментом 200 Н·м и закладных — моментом 150 Н·м.

При отсутствии эффекта смещения поперечных сечений от ударного воздействия необходимо провести работы в той же последовательности, но с полным раскреплением клеммных гаек и вывешиванием участка плети на роlikоопоры (каждая 5-я шпала).

Наиболее эффективно проведение работ с ударным воздействием при точно известной границе участков с растягивающими и сжимающими напряжениями. Такую границу можно определить после анализа смещений контрольных рисков на «маячных» шпалах. При условии определения такой границы, на 100 м в обе стороны от нее раскрепляется плеть. Ударное устройство устанавливается на отметке («границе») с направлением удара в сторону растягивающих напряжений. После нанесения серии из 15–20 ударов контролируется смещения контрольных рисков. При наличии эффекта смещения сечений рельса серия ударов повторяется. При отсутствии заметных смещений необходимо проводить эти работы с вывешиванием плети на роlikоопоры либо с установкой антифрикционных прокладок.

Таким образом, разработки кафедры последних лет по созданию новых машин позволяют производству внедрить конкурентоспособные новые технологические процессы, экономящие трудовые и материальные ресурсы.

Литература

1. *Пневматические машины ударного действия для проходки скважин и шпуров* / Н.Н. Есин, А.Д. Костылев, К.С. Гурков, Б.Н. Смоляницкий. Новосибирск, 1986.
2. *Смоляницкий Б.Н., Гербер А.Р., Сырямин Ю.Н.* Применение пневмоударных машин для лечения земляного полотна железных дорог // Совершенствование машин для строительных и путевых работ: Сб. науч. тр. Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2001. С. 45–62.
3. *Каганов Г.М., Евдокимова И.М.* Армированный грунт в гидротехническом строительстве / Обзорн. информация. Сер. «Строительные конструкции и материалы». Вып. 3. М., 1996. 61 с.
4. *Крицкий М.Я., Сырямин Ю.Н., Смоляницкий Б.Н., Скоркин Н.Ф.* Комплекс мобильных машин и механизмов для упрочнения и армирования грунтов // Сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. «Опыт строительства и реконструкции зданий и сооружений на слабых грунтах». Архангельск, 2003. С. 73–78.

5. *Новакович В.И.* Бесстыковой железнодорожный путь с рельсовыми плетями неограниченной длины. Львов, 1984. 100 с.

6. *Пневмопробойники* / А.Д. Костылев, К.С. Гурков, К.К. Тупицын, В.Д. Плавских, В.В. Климашко, Б.Н. Смоляницкий. ИГД СО АН СССР. Новосибирск, 1990.

7. *Грищенко В.А., Коломеец Р.Г., Сырямин Ю.Н., Смоляницкий Б.Н.* Технические средства для ввода рельсовых плетей бесстыкового пути в расчетный режим эксплуатации // Повышение эффективности работы пути с безстыковыми плетями и длинными рельсами в условиях Сибири и Казахстана: Межвуз. сб. науч. тр. Новосибирск, 1987.