

4. Многолетние наблюдения за водно-тепловым режимом показали, что влажность конструктивных слоев оснований и покрытий из укрепленных грунтов на всех секциях опытных участков даже в наиболее неблагоприятные весенне-осенние периоды не превышала максимальной молекулярной влагоемкости. Образцы одежд всех секций обладали достаточной морозостойкостью.

5. Автомобильная дорога Новосибирск — Коченево, на которой не было специального покрытия (секции № 7–9), выдержала движение с интенсивностью до 500 автомобилей в сутки (ГАЗ-51, ЗИЛ-150) в течение 5 лет без каких-либо повреждений. Поперечные волосные трещины образовались через 3–5 м на второй год, однако существенного их раскрытия в течение всего периода эксплуатации не наблюдалось. Здесь происходили постепенный равномерный износ поверхности верхнего конструктивного слоя цементогрунта и известегрунта (в основном на полосах наката). За 5 лет эксплуатации износ составил 20 см. Таким образом, среднегодовая величина износа равнялась 4 см. Износ в основном происходил в результате поверхностного истирания цементогрунтового и известегрунтового слоя покрытия протекторами автомобильных шин, а также от воздействия климатических факторов.

6. Прочность при сжатии, модуль общей деформации и модуль упругости конструктивных слоев цементогрунта и известегрунта за 5 лет эксплуатации автомобильных дорог возросли соответственно с 1,2–1,5 до 3,5–6,5 МПа, с 80–120 до 200–250 МПа и с 180–230 до 360–450 МПа. В дальнейшем прочность и модуль упругости укрепленных грунтов повышались.

7. Показатели прочности при сжатии и модуль упругости известегрунта секций № 1, 5, 6 и 8 не уступали таковым у цементогрунта (секции № 3 и 4), а в секциях № 2 и 7, где лёссовидный суглинок был укреплен комплексными добавками известь + хлористый кальций + битум, эти показатели были даже выше при хорошей морозостойкости.

8. Применение цементогрунтовых оснований толщиной 14–16 см под цементобетонные покрытия на автомобильной дороге Новосибирск — Барнаул протяженностью более 50 км позволило почти в 2 раза уменьшить их строительную стоимость и улучшило эксплуатационные характеристики цементобетонных покрытий (в первую очередь ровность).

9. В суровых климатических условиях Новосибирской области известегрунт следует использовать только в нижних конструктивных слоях оснований дорожных одежд нежесткого типа. На дорогах с цементобетонным покрытием цементогрунт или известегрунт толщиной слоя 14–16 см может применяться в качестве основания (взамен песка или щебня) с обязательным устройством выравнивающего слоя толщиной до 5 см из черного песка (песка, обработанного битумом методом смешивания в установке).

10. На сельских дорогах местного значения (1У, У технической категории) с небольшой интенсивностью движения (до 300–400 грузовых автомобилей в сутки) можно использовать известегрунт и цементогрунт для устройства покрытий толщиной не менее 15 см при обязательном устройстве защитного коврика износа из холодного асфальтобетона или битумоминеральных смесей, приготовленных методом смешения.

11. Опыт устройства известегрунтового основания из переувлажненного супесчаного грунта и гидрофобной молотой негашеной извести при пониженной температуре воздуха (от +3 до –6°C) показал, что применение гидрофобной извести уменьшает влажность грунта до оптимальной, чем обеспечивается получение известегрунтового основания необходимой плотности и прочности.

*И.И. Леонович, Ю.Г. Бабаскин  
(БТИ, Минск)*

#### **МАШИНА ДЛЯ УКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТА СПОСОБОМ ИНЪЕЦИРОВАНИЯ**

В настоящее время грунты, укрепленные вяжущими материалами, нашли широкое применение при строительстве оснований, фундаментов и дорог как общего пользования, так и специального назначения. Использование грунта в этих конструкциях в качестве основного строительного материала значительно снижает стоимость строительных работ. Для более широкого применения укрепленных грунтов требуется прежде всего увеличение выпуска необходимых вяжущих материалов при одновременном понижении их стоимости, а также более широкое использование отходов

производства, обладающих способностью склеивать грунтовые частицы. Вместе с тем достичь повышения производительности труда и увеличения эффективности строительных работ можно и путем совершенствования приемов и способов внесения вяжущих в грунты и применения новых, более простых и производительных машин и механизмов.

По заданию Госкомитета по науке и технике при Совете Министров СССР Белорусский технологический институт занимается вопросами совершенствования технологии строительства лесовозных автомобильных дорог. Поставленную задачу он решает путем применения способа инъецирования при устройстве конструктивных слоев дорожных одежд из укрепленных грунтов. Для механизации строительных работ институтом была разработана конструкция дорожной машины, закрепляющей грунт способом инъецирования при непрерывном движении. Поскольку толщина дорожных одежд из укрепленных грунтов, согласно СН 25-74, ограничена 0,25-0,3 м, при проектировании машины были использованы результаты исследований по пропитке поверхностных слоев земляного полотна синтетическими вяжущими типа карбамидных смол. Для определения частоты расположения инъекторов была изучена способность грунтов к пропуску вяжущих материалов различной вязкости, что позволило установить границы применения разрабатываемого способа и определить оптимальные режимы нагнетания. С учетом сказанного машина способна производить закрепление грунтов с коэффициентом фильтрации от 1,5 до 10 м/сут на глубину 0,2-0,3 м и более в течение 10 с при давлении нагнетания 0,08-0,14 МПа.

При разработке конструкции машины основное внимание уделялось простоте проектируемых узлов и не дефицитности используемых материалов и изделий. Предлагаемый вариант выполнен в виде тележки-прицепа (машина может быть запроектирована и как самоходная установка).

Дорожная инъекционная машина (см. рисунок) состоит из рамы 1, опирающейся на заднюю 5 и переднюю 11 подвески, зубчатого колеса 6, смонтированного на оси задней тележки, и из смонтированных на раме спаренных промежуточных колес 12 и 13, зубчатого колеса 14, закрепленного на оси механизма перемещения тележки, самого механизма перемещения 7, тележки 3 и рабочего органа 8, механизма удерживания рабочего органа в горизонтальном положении 10, шатуна 9, насоса 2 и емкости 4.

Рабочим органом машины является плита, на которой в определенном порядке установлены инъекторы. Расстояние между ними, а также их конструкция зависят от характера грунта и его фильтрационных свойств. Каждая игла-инъектор снабжена механизмом, обеспечивающим ее работоспособность при вхождении в твердый предмет под действием опускающейся плиты (а.с. 535391 и 631591, СССР). В момент максимального заглубления инъекторов включается насос, и раствор из емкости нагнетается в грунт. Через заданное время плита поднимается и перемещается на новое место с таким расчетом, чтобы области предыдущей и последующей пропиток

пересекались. Это условие выполняется благодаря соблюдению следующей зависимости между длиной плиты и длиной цепи механизма перемещения тележки:

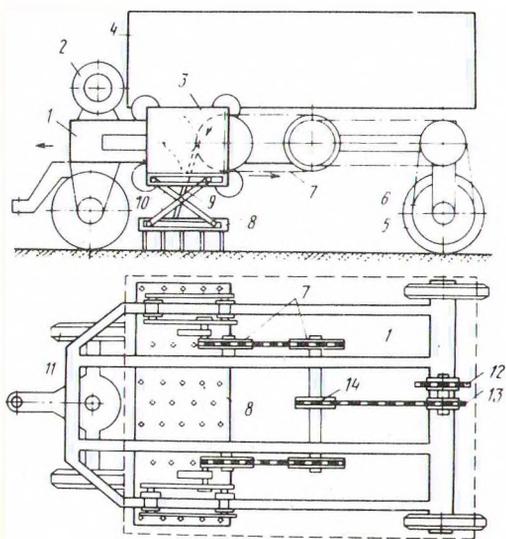
$$l = \frac{n-1}{n} L,$$

где  $l$  — длина плиты;  $n$  — число инъекторов в ряду;  $L$  — длина цепи.

Заглубление инъекторов, их извлечение и нагнетание раствора осуществляются при непрерывном движении машины.

Плита связана с двумя тележками, скользящими по раме машины, с помощью двух пар стержней, перекрещенных по принципу "ножниц". Эти стержни позволяют поднимать и опускать плиту, удерживая ее в горизонтальном положении и исключая перекосы.

Схема устройства дорожной инъекционной машины



Механизм заглабления и извлечения инъекторов, а также перемещения плиты в горизонтальной плоскости представляет собой пару зубчатых колес, соединенных цепью. Одно из звеньев этой цепи связано с тележкой, на внутренней плоскости которой устроен фигурный вырез, равный по высоте диаметру колеса 7 и представляющий собой симметричную фигуру, состоящую из одной четверти циклоиды и замкнутой кривой. Нижняя часть выреза может быть описана уравнением

$$x = R_k \arccos \left( 1 - \frac{y}{R_k} \right) - \sqrt{2R_k y - y^2},$$

где  $R_k$  — радиус катящегося круга — зубчатого колеса 7;  $x$  и  $y$  — координаты.

Граничные условия таковы:  $|x| \leq R_k$ ;  $|y| \leq R_k$ . Размеры этого выреза и зубчатых колес рассчитаны таким образом, что при движении тележки в сторону, противоположную перемещению всей машины, плита остается неподвижной. Это достигается благодаря следующему соотношению между колесами:

$$R_5/R_6 = R_7/R_{14},$$

где  $R_5$  — радиус колеса 5 задней подвески;  $R_6$  — радиус зубчатого колеса 6;  $R_7$  — радиус зубчатых колес 7 механизма перемещения тележки;  $R_{14}$  — радиус зубчатого колеса 14, закрепленного на оси механизма перемещения тележки.

Инъекторы располагаются в шахматном порядке с расстоянием между иглами в ряду, равным 1,75 радиуса распространения раствора, а между рядами — 1,5 того же радиуса.

Исходя из этих основных принципов был выведен ряд математических выражений, на основании которых рассчитана производительность дорожной машины (в течение рабочей смены производится закрепление грунтовой полосы шириной 6 м, длиной 584 и глубиной 0,3 м).

Применение разработанной машины при строительстве дорог позволяет сократить число технологических операций по укреплению грунта вяжущими материалами и в 1,5–2 раза повысить производительность труда.

*Т.М. Луканина, Р.Г. Кочеткова  
(Сюздорнии, Москва)*

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УКРЕПЛЕННЫХ ГРУНТОВ ПОВЫШЕННОЙ МОРОЗОСТОЙКОСТИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ДОРОГ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА И СИБИРИ

При развитии сети автомобильных дорог нефтепромысловых районов Севера и Сибири возникает задача получения на основе местных грунтов, укрепленных вяжущими, строительных материалов повышенной морозостойкости, удовлетворяющих суровым условиям рассматриваемого региона (низкие отрицательные температуры, вечномерзлые и переувлажненные грунты). Для создания прочных морозостойких материалов использовались композиции на основе грунтов, укрепленных смолой холодного отверждения (карбамидной смолой) с добавкой сырой нефти. Нами были использованы песок средней крупности и мелкий и супесь пылеватая с числом пластичности 6. Песок средней крупности с плотностью скелета  $1,68 \text{ г/см}^3$  имел водородный показатель 5,7, а у песка мелкого с плотностью скелета  $1,59 \text{ г/см}^3$  этот показатель равнялся 7.

Пески и супеси укрепляли карбамидной смолой марки УКС в сочетании с нефтью и без нее. В качестве отвердителя использовалось хлорное железо, которое даже в незначительных дозах создавало условия для глубокой реакции поликонденсации смолы. Вводилось оно в смесь в количестве 0,5–3% массы смолы (для песков 6%, для супеси 8% массы грунта в пересчете на сухое вещество). Прочность укрепленного грунта при сжатии после 50 циклов замораживания и оттаивания (при температуре замораживания  $-22^\circ\text{C}$ ) принималась не менее 2 МПа. Содержание хлорного железа в смеси не должно превышать 1–1,5% массы смолы для песков и 2–2,5% — для супеси. В этом случае отверждение системы грунт — смола происходит через 4–6 ч, что является приемлемым в условиях строительства автомобильной дороги. Для второго компонента вяжущего — нефти — оптимум в области исследованных дозировок (2–6% массы грунта) не найден. Однако установлено, что с увеличением количества нефти механическая прочность материала как до замораживания-оттаивания, так и после повышается, что позволяет уменьшить расход основного вяжуще-