

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ИНЪЕКТИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ  
НОМОГРАММЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ  
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Разработка вопросов, связанных с совершенствованием технологии строительства автомобильных дорог из грунтов, укрепленных вяжущими материалами на основе применения новых приемов и операций, конструированием дорожно-строительных машин, является весьма важной народнохозяйственной задачей.

В БТИ им. С.М.Кирова проведены исследования по закреплению песчаных грунтов земляного полотна на глубину 0,2—0,4 м путем нагнетания растворов вяжущих веществ с вязкостью, приближающейся к вязкости воды, через иглы-инъекторы, установленные в определенном порядке, в результате чего дорожная конструкция соответствует требованиям прочности для автомобильных дорог.

Поскольку закрепление грунта способом инъектирования осуществляется в результате заполнения его порового пространства вязким раствором под воздействием создаваемого давления, то для расчета радиуса распространения раствора в горизонтальном направлении  $R$  было выбрано математическое выражение [1] для радиального источника, дополненное коэффициентом гидравлических потерь  $K_r$ :

$$t = \frac{\gamma n r_0^2}{K_\phi H K_r} \varphi(\rho), \quad (1)$$

где

$$\varphi(\rho) = \frac{\rho^2 (\ln \rho^2 + \frac{1}{\rho^2} - 1)}{4}$$

В данное выражение входят показатели, характеризующие вязкость раствора  $\gamma$ ; фильтрационные свойства грунта — пористость  $n$  и коэффициент фильтрации  $K_\phi$ ; технологические параметры нагнетания — время  $t$  и давление  $H$ , безразмерный радиус  $\rho$ , равный  $\frac{R}{r_0}$ ; конструктивные особенности инжектора — радиус инжектора  $r_0$  и коэффициент гидравлических потерь  $K_r$ , равный

$$K_r = \frac{\sum N_i r_i}{2r_0 + \sum N_i r_i}, \quad (2)$$

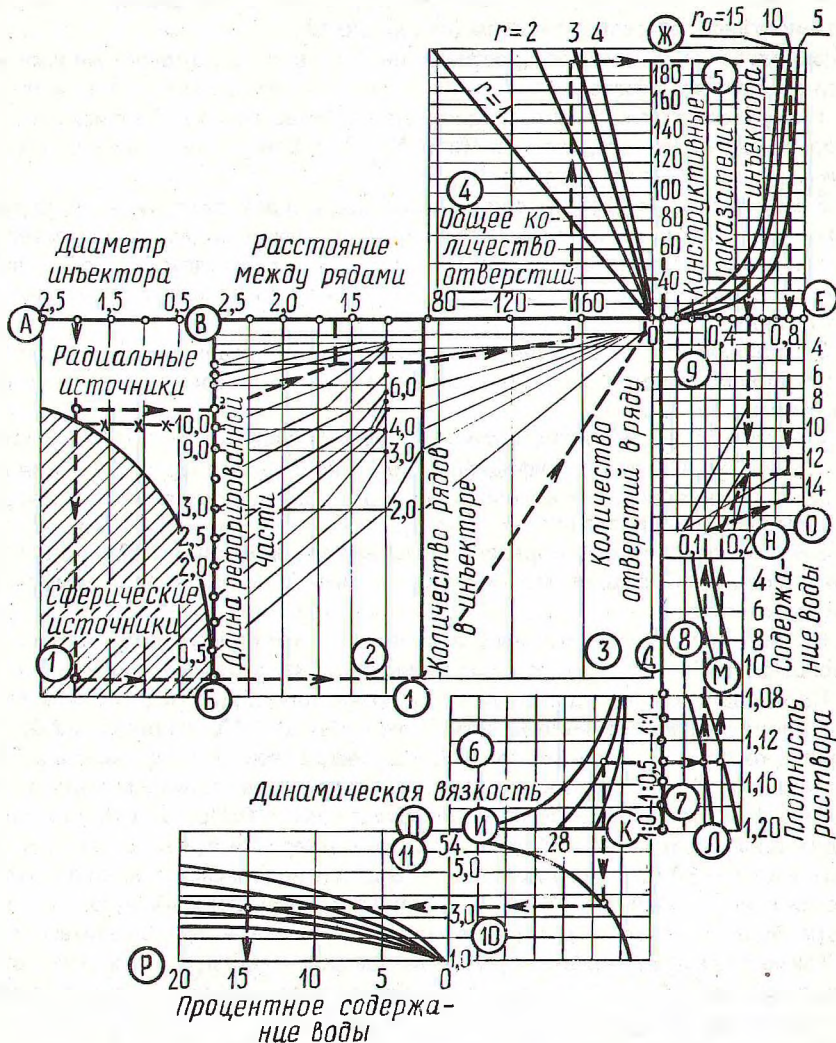
где  $N_i$  — число отверстий в инжекторе;  $r_i$  — радиус отверстий.

В результате проведенных исследований были определены оптимальные значения каждого из показателей, входящих в формулы (1) и (2). Это дало возможность установить зависимость между отдельными величинами, которые легли в основу построения номограммы по определению радиуса распро-

странения раствора в горизонтальном направлении (рис. 1), необходимого при конструировании дорожных инъекционных машин.

Номограмма включает следующие зависимости:

1-й квадрат — между диаметром отверстий (от 0 до 2,5 см) и длиной перфорированной части инжектора (от 0 до 33 см); 2-й квадрат — расстояния между рядами отверстий (от 0 до 3,0 см) и количеством рядов в инжекторе (от 1 до 18); 3-й квадрат — между количеством отверстий в ряду (от 2 до 12) и общим количеством отверстий на инжекторе (от 0 до 192); 4-й квадрат — между общим числом отверстий и показателем конструктивных параметров инжектора (от 0 до 190) при различных радиусах отверстий от 0,1 до 0,4 см;



Р и с. 1. Номограмма для определения радиуса распространения раствора.

5-й квадрат — коэффициента гидравлических потерь (от 0 до 1) от конструктивного показателя инжектора при радиусе инжектора 0,5, 1,0, 1,5 см; 6-й квадрат — вязкости раствора (от  $3,9 \times 10^{-3}$  до  $56 \times 10^{-3}$  Па·с) от его плотности (от 1,08 до 1,2 г/см<sup>3</sup>); 7-й квадрат — изменение давления (от 0 до 0,2 МПа) от плотности нагнетаемого раствора; 8-й квадрат — производится корректировка полученного давления путем сравнения со значениями, полученными при оптимальном количестве воды в грунте (от 0 до 10 %); 9-й квадрат — помещены результаты вычислений радиуса распространения, сравненные с экспериментальными данными; 10-й квадрат — предела прочности при сжатии (от 0 до 6,0 МПа) от вязкости нагнетаемого раствора; 11-й квадрат — предела прочности при сжатии от процентного содержания смолы при различном количестве разбавления (от 0 до 20 %).

Определение радиуса распространения раствора по номограмме производится следующим образом.

1. Определяют тип и фильтрационные свойства грунта, в зависимости от которых выбирают сферический (при  $K_{\phi} < 5,5$  м/сутки) или радиальный (при  $K_{\phi} > 5,5$  м/сутки) источники.

2. Принимают диаметр и длину инжектора и в зависимости от их принадлежности к виду источника находят расстояние между рядами, количество отверстий в ряду, размер отверстий. По этим данным находят конструктивный показатель инжектора, который характеризуется коэффициентом гидравлических потерь.

3. Принимают вязкость раствора, по которой определяют процент добавленной воды и находят значение давления нагнетания. Время нагнетания принимаем равным 10 с.

4. Уточняют давление нагнетания с учетом имеющейся в грунте воды.

5. Для полученного коэффициента гидравлических потерь и значения давления нагнетания определяют ожидаемый радиус распространения раствора в горизонтальном направлении.

6. Кроме того, можно определить ожидаемую прочность грунта, укрепленного карбамидной смолой марки "Крепитель М-3" с вязкостью, принятой в наших расчетах.

На рис. 1 штриховыми линиями показан порядок работы с помощью номограммы. Например, имеем два инжектора диаметром 2,0 см (квадрат 1).

Произведем расчеты для двух видов инжекторов. Для радиального источника длина перфорированной части должна быть  $> 10$ , например 12,0; для сферического  $< 10$ , например, равная диаметру отверстий, т.е. имеющий один ряд (квадрат 2). У радиального источника примем расстояние между рядами равное 1,4 см, тогда количество рядов будет равно 10. При 8 отверстиях в ряду для обоих источников общее количество отверстий будет составлять: для радиального — 80 шт., сферического — 8 шт. (квадрат 3). Примем радиус отверстий равный 0,225 см (квадрат 4), тогда конструктивный показатель инжектора будет составлять для радиального источника — 180, сферического — 30. Такие показатели соответствуют коэффициентам гидравлических потерь соответственно 0,9 и 0,6 (квадрат 5). Далее зададимся динамической вязкостью раствора (квадрат 4), например,  $4 \times 10^{-3}$  Па·с, которая соответствует разбавлению карбамидной смолы водой в соотношении 1:1, с плотностью раствора 1,1 г/см<sup>3</sup> (квадрат 7). Для этого раствора наиболее оптимальное давле-

ние нагнетания для грунта с  $K_{\phi} = 9,5$  м/сутки и радиального источника — 0,1 МПа;  $K_{\phi} = 5,2$  м/сутки и сферического — 0,15 МПа. Корректируем давление с учетом воды, находящейся в грунте. В нашем примере для  $K_{\phi} = 9,5$  м/сутки;  $W = 8,8\%$  — давление остается равным 0,1 МПа, для  $K_{\phi} = 5,2$  м/сутки;  $W = 9,2\%$  — 0,15 МПа (квадрат 8). Для найденного значения давления нагнетания и коэффициента гидравлических потерь находим радиус распространения раствора, который для радиального источника будет равен 12,8 см, сферического — 10,7 см (квадрат 9). Причем закрепленный массив будет обладать прочностью, равной 2,5 МПа (квадрат 10), для чего требуется 16 % от веса грунта раствора карбамидной смолы, разбавленной водой в соотношении 1:1 (квадрат 12).

Таким образом, данная номограмма позволяет рассматривать различные варианты подбора параметров инъектирования при заданных фильтрационных характеристиках грунта, вязкости раствора и конструкции инжектора.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Горбунов Б.П., Марголин В.М. Расчет радиусов закрепления при нагнетании крепителей в неводоносные грунты. — Основания, фундаменты и механика грунтов, 1967, № 3, с. 22–24.

УДК 629.114.3

А.И.КИРИЛЬЧИК (БТИ)

### ГАБАРИТНАЯ ПОЛОСА ДВИЖЕНИЯ ТЯГАЧА ЛЕСОВОЗНОГО АВТОПОЕЗДА НА ПОВОРОТЕ

Изучение вопросов маневренности лесовозного автопоезда невозможно без определения кинематических свойств тягача, так как основным требованием, предъявляемым к маневровым свойствам лесовозного автопоезда, является вписывание его в габаритную полосу движения тягача. Габаритная полоса движения (ГПД) тягача определяется разницей траекторий крайней передней точки бампера и противоположной крайней задней точки тяговой балки тягача [1].

Для определения ГПД тягача лесовозного автопоезда на повороте необходимо получить уравнения для определения траектории произвольной точки тягача. На рис. 1 показана схема положения тягача на повороте.

Мгновенную угловую скорость поворота тягача можно определить из выражения

$$w = -\frac{v \cos \delta_2}{L_T} \operatorname{tg}(\gamma - \delta_1),$$

где  $\delta_1$  и  $\delta_2$  — соответственно углы увода шин передней и задней оси тягача;  $L_T$  — база тягача.

Для определения траектории характерных точек тягача необходимо получить выражения для нахождения траектории произвольной точки С с координатами  $x_i$  и  $y_i$  относительно середины передней оси.