

оборота и расчетной работоспособности ДК участка, на которую непосредственное влияние оказывают число и материалы слоев, принятые в данный момент времени. Однако указанные параметры являются управляющими и могут быть определены только в результате решения всей задачи по выбору ДК.

В приведенной схеме алгоритма при оптимизации толщин слоев производится направленный перебор допустимых вариантов по числу и материалам слоев и поиск минимума по толщинам слоев методом покоординатного спуска. Формулировка математической модели оптимизации ДК данным методом выглядит следующим образом.

Введем неизвестные величины. Если число слоев  $s_i = s_{i-1}$ , т.е. при переходе с  $i-1$ -го на  $i$ -й этап число слоев не увеличивается, а происходит лишь утолщение верхнего слоя, то неизвестными являются для верхнего слоя новая толщина  $h_i$  и модуль упругости  $E_i$ . Если  $s_i > s_{i-1}$ , т.е. при переходе с  $i-1$ -го на  $i$ -й этап число слоев увеличивается от  $s_{i-1}$  до  $s_i$ , то для каждого  $j = s_{i-1} + 1, \dots, s_i$  неизвестны толщина  $j$ -го слоя  $h_i^j$  и соответствующий модуль упругости  $E_i^j$ . В этом случае имеет место условие  $E_i = E_{i-1}$ .

Целевая функция была определена ранее в виде выражения (1), зависящего только от толщин.

Чтобы записать ограничения, предположим известной формулу, которая для любого слоя ДК связывает между собой модули упругости нижнего слоя  $E_n$ , верхнего слоя  $E_b$ , материала  $E_m$ , а также толщину слоя  $h$ .

Для компактности формулу расчета толщины слоя по заданным значениям  $E_n, E_b, E_m$  запишем в виде

$$h = \varphi(E_n, E_b, E_m). \quad (2)$$

Используя это обозначение, сформулируем систему ограничений. Если  $s_i = s_{i-1}$ , то

$$h_i^{s_i} \geq \varphi(E_{i-1}^{s_i}, E(m^{s_i}), E_i^{s_i}). \quad (3)$$

Если  $s_i > s_{i-1}$ , то для всех  $j = s_{i-1} + 1, \dots, s_i$

$$h_i^j \geq \max[\varphi(E_i^{j-1}), E(m^j), h_{\min}(m^j)]. \quad (4)$$

При этом предполагаются известными модуль упругости  $E_0^{s_0}$ , который в частности при  $s_0 = 0$  (новая дорога) равен модулю упругости грунта, требуемый модуль упругости  $E_k^{s_k}$ , а также коэффициент прочности  $k_{пр}$ .

Беря ограничения в виде равенств, можно исключить значения толщин из целевой функции. Тогда функция (1) будет зависеть только от промежуточных значений модулей упругости. Будем считать, что модули упругости упорядочены по номеру этапа (нижний индекс). Обозначая их через  $x_1, x_2, \dots, x_m$ , получаем

$$E_0^{s_0} \leq x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_m \leq E_k^{s_k} k_{пр}. \quad (5)$$

Последние неравенства определяют симплекс в  $m$ -мерном пространстве, а целевую функцию переписывают в виде

$$z = f(x_1, x_2, \dots, x_m) \geq \min. \quad (6)$$

При оптимизации методом покоординатного спуска за начальную точку принимают центр допустимой области, определяемый по формулам

$$x_i = E_0^{S_0} + \frac{1}{m+1} (E_k^{S_k} k_{\text{пр}} - E_0^{S_0}), \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (7)$$

Далее выполняют минимизацию целевой функции последовательно по каждой координате в соответствующих интервалах методом золотого сечения. Поиск минимума прекращается после достижения требуемой точности расчетов.

Данный оптимизационный метод программно реализован в диалоговой интегрированной системе планирования транспортных систем лесных предприятий (ДИС ТСЛП), разработанной на кафедрах сухопутного транспорта леса и информатики и вычислительной техники СПбЛТА для ПЭВМ класса IBM PC, и позволяет вести поиск оптимальной ДК каждой дуги транспортной сети с учетом перспективы ее развития.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Ильин Б.А., Ковалев Р.Н., Гуров С.В. Оптимизация транспортных систем лесных предприятий в новых условиях лесопользования // Изв. СПбЛТА. - 1994. - Вып. 2. - С. 86-94. [2]. Ильин Б.А., Салминен Э.О. Теория лесотранспорта. - Л.: РИО СПбЛТА, 1992. - 188 с.

УДК 625.84:630\*383.4

*А.Н. КУФТИН, В.А. КАЛЕНТЬЕВ*



Куфтин Александр Николаевич родился в 1954 г., окончил в 1976 г. Уральский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры сопротивления материалов и теоретической механики Уральской государственной лесотехнической академии. Имеет 12 печатных работ в области сухопутного транспорта леса.

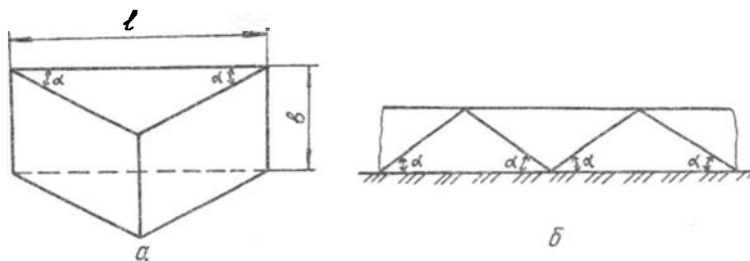


Рис.1. Сборное покрытие из блоков: а – общий вид блока;  
б – схема укладки блоков в покрытие

Предложенная форма дорожного блока обеспечивает перераспределение колесных нагрузок на основание без стыковых соединений, значительное снижение металлоемкости, повышение технологичности изготовления и сборки. Однако все эти преимущества могут быть реализованы при рациональном выборе размеров блока, что явилось целью нашей работы.

Основной эксплуатационный показатель дороги (толщина покрытия) зависит от размеров блока (ширина  $b$  и длина  $l$ ) и угла  $\alpha$  равнобедренного треугольника (см. рис. 1, б). В свою очередь, размеры блока в плане выбирают в зависимости от требований ВСН 01-82 [3], несущей способности грунтового основания и нагрузок от эксплуатируемой техники и оборудования.

Для обеспечения надежного самоуплотнения блоков и исключения их сдвига под действующей на покрытие колесной нагрузкой значение углов наклона боковых поверхностей блоков  $\alpha$  необходимо выбирать в определенном интервале. Верхний предел угла ( $\alpha < 45^\circ$ ) назначают из условия недопустимости перехода от самоуплотнения к самораздвижке блоков. При определении нижнего значения угла  $\alpha$  необходимо исследовать равновесие совокупности блоков. Между ними действуют нормальные ( $N$ ) и касательные ( $F$ ) реакции (рис. 2). Здесь  $F = fN$ , где  $f$  – коэффициент трения скольжения покоя между блоками верхнего и нижнего слоев покрытия.

Самоуплотнение и устойчивость блока от сдвига под колесной нагрузкой гарантируются при условии, что горизонтальная проекция нормальной составляющей реакции всегда больше проекции касательной составляющей, т.е.  $N \sin \alpha > F \cos \alpha$ , откуда  $\alpha > \operatorname{arctg} f$ .

Примем, например, значение коэффициента трения покоя  $f = 0,6$  (среднее значение коэффициента трения покоя между неметаллическими поверхностями [4]). Тогда  $\alpha > \operatorname{arctg} 0,6 > 30^\circ$ . Следовательно, диапазон  $30^\circ < \alpha < 45^\circ$  обеспечивает устойчивость блока в покрытии. Конкретное значение угла в этом диапазоне находят с учетом процента армирования и прочностных характеристик материалов блоков покрытия.

Проанализируем перераспределение колесной нагрузки через покрытие на основание. Для этого используем расчетную схему на

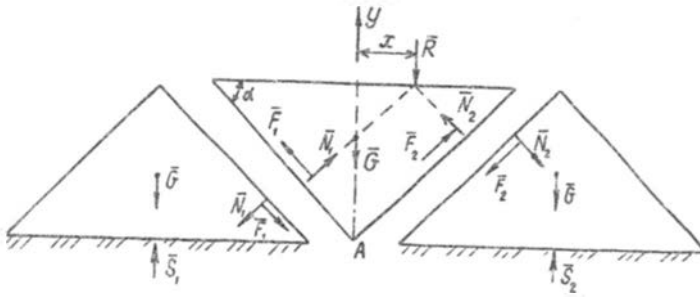


Рис.2. Расчетная схема сборного покрытия из блоков

рис. 2. Колесную нагрузку  $R$  разместим на расстоянии  $x$  от центра верхнего блока.

Составим два уравнения равновесия для верхнего блока :

$$\Sigma F(Y) = N_1 \cos \alpha + N_2 \cos \alpha + F_1 \sin \alpha + F_2 \sin \alpha - G - R = 0; \quad (1)$$

$$\Sigma M_A = N_2 (l/2 \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} - l/2 \cos \alpha + x \cos \alpha) - N_1 (l/2 \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} - l/2 \cos \alpha - x \cos \alpha) - R x = 0, \quad (2)$$

где  $N_1, N_2$  и  $F_1, F_2$  – нормальные и касательные составляющие контактных реакций между верхним и нижними блоками покрытия;

$G$  – собственный вес блока.

По уравнениям (1) и (2) находят нормальные и касательные составляющие контактных реакций.

Определим реакцию основания  $S_2$  для правого нижнего блока и составим еще одно уравнение равновесия

$$\Sigma F(Y) = S_2 - N_2 \cos \alpha - F_2 \sin \alpha - G = 0. \quad (3)$$

Решив совместно уравнения (1)-(3), определим реакцию основания

$$S_2 = \frac{l/2 \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} - l/2 \cos \alpha + x \cos \alpha}{l \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} - l \cos \alpha} \left( G + R - \frac{R x (\cos \alpha + f \sin \alpha)}{l/2 \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} - l/2 \cos \alpha + x \cos \alpha} \right) + G. \quad (4)$$

Аналогично можно найти реакцию основания для левого нижнего блока  $S_1$ .

Исследуем поведение реакции основания  $S_2$  согласно формуле (4), изменяя  $0 < x \leq l/2$  и принимая условно  $G = 0,2 R$ . Расчеты позволяют построить график зависимости  $S = f(x)$  (рис. 3), из которого можно сделать следующие выводы. Конструкция покрытия обеспечивает перераспределение колесной нагрузки на основании в диапазоне  $0,6 R < S < 0,8 R$ .

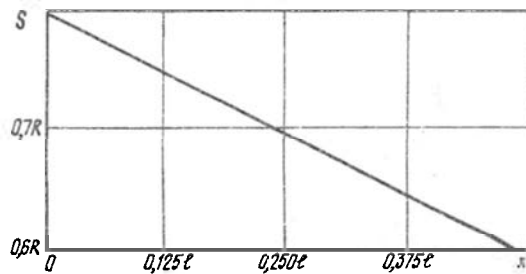


Рис.3. График распределения колесной нагрузки на основание по длине блока

Плановые размеры блоков следует выбирать в соответствии с требованиями ВСН 01-82. Цементно-бетонные сборные покрытия применяют на магистралях III категории и внутрискладских дорогах лесопромышленных предприятий, для которых ширина проезжей части составляет 8,0 м, а при горном рельефе 7,5 м. Следовательно, и ширина блока должна быть кратной 1,5 и 1,0 м. Например, для колеиных покрытий лесовозных автомобильных дорог ширина колесопровода равна 1,0 м. Таким образом, на основе анализа проектных требований можно составить три плановых типоразмера ездовой поверхности блоков:  $1,5 \times 1,5$ ;  $1,5 \times 1,0$  и  $1,0 \times 1,0$  м<sup>2</sup>.

При укладке колесопроводов на кривых участках следует использовать специальные блоки трапециевидальной формы ездовой поверхности в плане (рис. 4).

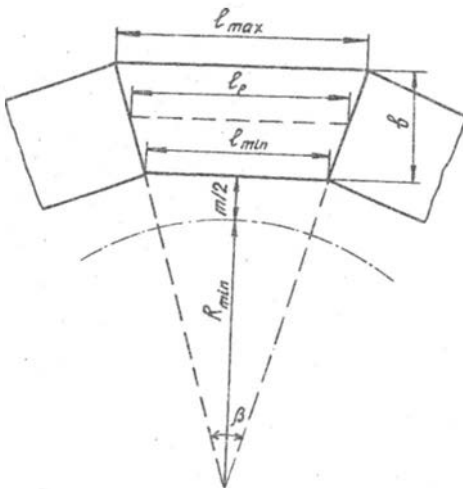


Рис.4. Схема укладки дорожных блоков на кривом участке пути

Разницу в длине оснований трапеции  $\Delta l = l_{\max} - l_{\min}$  можно определить через  $l_{\min}$  по формуле

$$l_{\min} = \frac{l_p (R_{\min} + m/2)}{R_{\min} + (m + b)/2} \quad (5)$$