

ООО НТЦ "ГЕОТЕХНОЛОГИИ"

**ТЕЛ/ФАКС: (812) 347-86-07
COPYRIGHT "ГЕОТЕХНОЛОГИИ" © 2007**

ОБОСНОВАНИЕ РАСЧЕТНЫХ СХЕМ И МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД, АРМИРОВАННЫХ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИМИ МАТЕРИАЛАМИ

Разнообразные требования по условию проходимости, предъявляемые к дорогам, различные физико-механические свойства подстилающих грунтов, воздействие различных нагрузок от транспортных средств, определяют возможность включения геосинтетического материала в работу по различным схемам.

Так, отличительной особенностью временных дорог является то, что конструкции дорожных одежд назначаются, главным образом, из условий обеспечения проезда транспортных средств. При их проектировании важно установить минимальную требуемую толщину дорожной одежды, чтобы ограничить глубину развития колеи некоторой величиной, допустимой по условию проходимости расчетных автомобилей. В связи с этим, расчетная схема таких дорожных одежд должна учитывать возможность значительного накопления остаточных деформаций в подстилающем грунте основания насыпного слоя.

Обоснование расчетной схемы и математической модели дорожной одежды, допускающей развитие значительных остаточных деформаций

Обоснование расчетной схемы

Особенностью военно-автомобильных дорог, возводимых для кратковременного функционирования, является то, что конструкции дорожных одежд назначаются, главным образом, из условий обеспечения проезда транспортных средств. Экспериментальные исследования армированных геосинтетическими материалами дорожных одежд временных дорог, где минимально необходимая толщина насыпного слоя назначается из условия проходимости и допускается сравнительно большая колея, позволили выявить схемы деформирования таких конструкций (рис. 2.1, 2.2). Так, эксперименты показали, что работа конструкций в условиях одноштампового и двухштампового нагружения отличаются. При двухштамповой схеме нагружения, моделирующей одновременное воздействие на дорожную одежду обоих колес оси автомобиля, несущая способность армированной конструкции значительно возрастает. Многие авторы, в частно-

сти Попович А.К., объясняют данный факт возникновением так называемого «анкерного» эффекта, когда включается в работу часть геосинтетического материала в «межколеиной зоне», то есть в зоне защемления геосинтетики между колесами автомобиля.



Рис. 2.1 Схема деформирования армированной дорожной одежды

Таким образом, для учета влияния георешеток на напряженно-деформированное состояние дорожных одежд и подстилающего грунтового основания, работающих в стадии накопления значительных остаточных деформаций, рассматривается условие равновесия слоя зернистого материала и георешетки на винклеровском основании с шероховатой поверхностью в условиях двухштампового нагружения (рис. 2.3). Задача состоит в определении функции прогиба армированного слоя (положения равновесия).

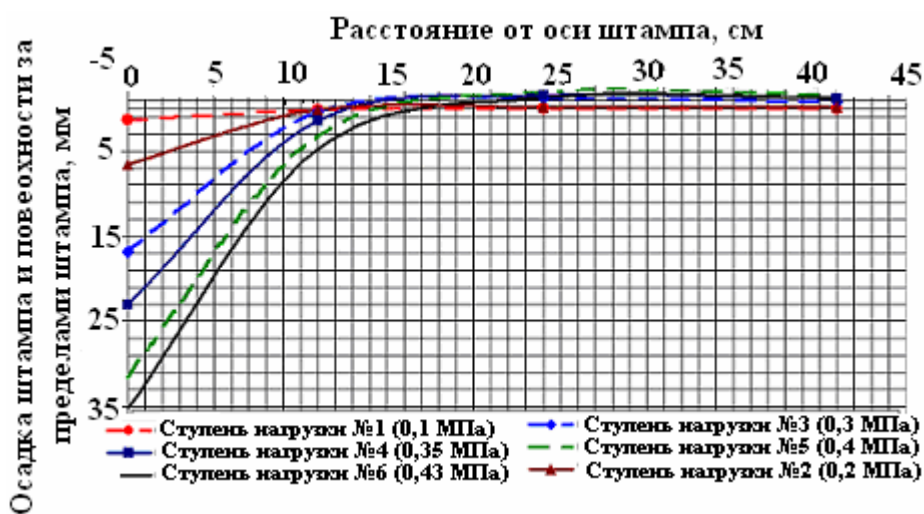


Рис. 2.2 Схема деформирования геосинтетического материала за пределами штампа по результатам экспериментальных исследований

Предпосылки математической модели:

1. Георешетка представлена механической системой, состоящей из n продольных и m поперечных упругих стержней, лежащих на шероховатой упругой поверхности и растягиваемых силой T , приложенной со стороны штампа. Соединение стержней шарнирное без трения.
2. До нагружения штампом с силой T стержни занимают горизонтальное положение. Длина стержней до деформации равна l_0 . Коэффициент трения скольжения стержней о шероховатую поверхность равен f . Параметр относительной жесткости стержней равен $c = E_{см} F / l_0$, где $E_{см}$ – модуль упругости геосинтетического материала, F – площадь поперечного сечения стержня. Упругая поверхность под георешеткой моделируется N пружинами с коэффициентами жесткости k , а упругая поверхность под штампом имеет коэффициент жесткости (постели) K_n .
3. Допускается, что шарниры A_1, A_2, \dots, A_n при нагружении перемещаются только по вертикали. Тогда число степеней свободы, рассматриваемой механической системы равно числу стержней.
4. Рассматриваемая задача при двухштамповой схеме нагружения является симметричной, поэтому она сводится к одноштамповому нагружению.
5. В качестве обобщенных координат принимаем углы $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$, которые образуют стержни с осью x после нагружения системы силой T .

$$q_1 = \alpha_1, q_2 = \alpha_2, \dots, q_s = \alpha_n.$$

2.1.2. Обоснование математической модели

Для определения положения равновесия механической системы, которое она займет после нагружения силой T , воспользуемся принципом возможных перемещений в обобщенных силах. Для этого следует составить выражение возможной работы и приравнять ее нулю.

$$Q_1 \cdot \delta q_1 + Q_2 \cdot \delta q_2 + \dots + Q_s \cdot \delta q_n = 0 \quad (2.1)$$

где Q_1, Q_2, \dots, Q_n – обобщенные силы, соответствующие выбранным обобщенным координатам;

$\delta q_1, \delta q_2, \dots, \delta q_n$ – вариации обобщенных координат.

Поскольку вариации обобщенных координат произвольны и независимы друг от друга, то равенство (2.1) выполняется при условии:

$$Q_1 = 0, Q_2 = 0, \dots, Q_n = 0 \quad (2.2)$$

Выразив каждую из обобщенных сил Q_j через обобщенные координаты $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$, получим систему N нелинейных алгебраических уравнений:

$$\left. \begin{aligned} Q_1(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) &= 0 \\ Q_2(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) &= 0 \\ Q_n(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

Таким образом, задача заключается в нахождении обобщенных сил, как коэффициентов при вариации обобщенных координат в выражении возможной работы и решении системы уравнений (2.3).

К каждому из шарниров A_1, A_2, \dots, A_n (рис. 2.3) приложены силы: F_1, F_2, \dots, F_n со стороны растянутых стержней, силы упругости $F_{y1}, F_{y2}, \dots, F_{yn}$, силы трения $F_{тр1}, F_{тр2}, \dots, F_{трn}$. Кроме того, будет приложена сила упругости грунта $F_n = \kappa_n \cdot y_n$ (под штампом). К участку сетки под штампом приложена сила T .

Силы, растягивающие стержни равны: $F_1 = c \cdot \lambda_1, F_2 = c \cdot \lambda_2, \dots, F_n = c \cdot \lambda_n$; где $\lambda_1 = l_1 - l_0; \lambda_2 = l_2 - l_0; \dots, \lambda_n = l_n - l_0$ – удлинения стержней;

l_1, l_2, \dots, l_n – длина стержней после деформации.

Силы упругости пружин: $F_{y1} = \kappa y_1, F_{y2} = \kappa y_2, \dots, F_{yn} = \kappa y_n$;

где y_1, y_2, \dots, y_n – ординаты точек A_1, A_2, \dots, A_n , равные удлинениям пружин.

Силы трения скольжения определяются по закону Кулона:

$$F_{тр1} = f \cdot F_{y1} \cdot \cos \alpha_1; \quad F_{тр2} = f \cdot F_{y2} \cdot \cos \alpha_2; \quad \dots; \quad F_{трn} = f \cdot F_{yn} \cdot \cos \alpha_n.$$

Реакция грунта под штампом: $F_{II} = \kappa_n y_n$.

Выразим координаты точек приложения сил A_1, A_2, \dots, A_n через обобщенные координаты:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= l_0; \quad y_1 = l_0 \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 \\ x_2 &= 2 \cdot l_0; \quad y_1 = l_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2) \\ x_n \cdot l_0; \quad y_n &= l_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2 + \dots + \operatorname{tg} \alpha_{n-1}) \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

Найдем удлинение стержней:

$$\left. \begin{aligned} \lambda_1 &= l_0 \cdot \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_1} - l_0 \\ \lambda_2 &= l_0 \cdot \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_2} - l_0 \\ \lambda_n &= l_0 \cdot \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_n} - l_0 \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

Тогда силы, растягивающие стержни, будут равны:

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= cl_0 \left(\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_1} - 1 \right) = cl_0 \left(\frac{1}{\cos \alpha_1} - 1 \right) \\ F_2 &= cl_0 \left(\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_2} - 1 \right) = cl_0 \left(\frac{1}{\cos \alpha_2} - 1 \right) \\ F_n &= cl_0 \left(\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_n} - 1 \right) = cl_0 \left(\frac{1}{\cos \alpha_n} - 1 \right) \end{aligned} \right\} \quad (2.6)$$

Силы упругости пружины:

$$\left. \begin{aligned} F_{y1} &= Kl_0 \operatorname{tg} \alpha_1 \\ F_{y2} &= Kl_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2) \\ F_{yn} &= Kl_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2 + \dots + \operatorname{tg} \alpha_n) \end{aligned} \right\} \quad (2.7)$$

Силы трения скольжения:

$$\left. \begin{aligned} F_{\text{тр}1} &= fKl_0 \operatorname{tg} \alpha_1 \cos \alpha_1 \\ F_{\text{тр}2} &= fKl_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2) \cos \alpha_2 \\ F_{\text{тр}n} &= fKl_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2 + \dots + \operatorname{tg} \alpha_n) \cos \alpha_n \end{aligned} \right\} \quad (2.8)$$

Сообщим рассматриваемой механической системе возможные перемещения: $\delta\alpha_1, \delta\alpha_2, \dots, \delta\alpha_n$, вычислим возможную работу всех приложенных к ней сил и приравняем ее к нулю:

$$\begin{aligned} & T\delta y_n - F_n \delta y_n - F_{y1} \delta y_1 - F_{y2} \delta y_2 - \dots - F_{yn} \delta y_n - \dots - F_1 \delta \lambda_1 - F_2 \delta \lambda_2 - \dots - F_n \delta \lambda_n - \\ & - F_{\text{тр}1} \cdot \cos \alpha_1 \cdot \delta x_1 - F_{\text{тр}2} \cdot \cos \alpha_2 \cdot \delta x_2 - \dots - F_{\text{тр}n} \cdot \cos \alpha_n \cdot \delta x_n - F_{\text{тр}1} \cdot \sin \alpha_1 \cdot \delta y_1 - \\ & - F_{\text{тр}2} \cdot \sin \alpha_2 \cdot \delta y_2 - \dots - F_{\text{тр}n} \cdot \sin \alpha_n \cdot \delta y_n = 0 \end{aligned} \quad (2.9)$$

$$\left. \begin{aligned}
\delta x_1 &= \frac{dx_1}{d\alpha_1} \delta\alpha_1 = 0 \\
\delta y_1 &= \frac{dy_1}{d\alpha_1} \delta\alpha_1 = l_0 \frac{\delta\alpha_1}{\cos^2 \alpha_1} \\
\delta x_2 &= \frac{dx_1}{d\alpha_1} \delta\alpha_1 + \frac{dx_2}{d\alpha_2} \delta\alpha_2 = 0 \\
\delta y_2 &= \frac{dy_1}{d\alpha_1} \delta\alpha_1 + \frac{dy_2}{d\alpha_2} \delta\alpha_2 = l_0 \frac{\delta\alpha_1}{\cos^2 \alpha_1} + l_0 \frac{\delta\alpha_2}{\cos^2 \alpha_2} \\
\delta x_n &= 0 \\
\delta y_n &= l_0 \left(\frac{\delta\alpha_1}{\cos^2 \alpha_1} + \frac{\delta\alpha_2}{\cos^2 \alpha_2} + \dots + \frac{\delta\alpha_n}{\cos^2 \alpha_n} \right)
\end{aligned} \right\} \quad (2.10)$$

Найдем вариации удлинения стержней:

$$\left. \begin{aligned}
\delta\lambda_1 &= \frac{d\lambda_1}{d\alpha_1} \delta\alpha_1 = l_0 \frac{\operatorname{tg} \alpha_1 \delta\alpha_1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_1} \cos^2 \alpha_1} = l_0 \frac{\sin \alpha_1}{\cos^2 \alpha_1} \delta\alpha_1 \\
\delta\lambda_2 &= \frac{d\lambda_2}{d\alpha_2} \delta\alpha_2 = l_0 \frac{\operatorname{tg} \alpha_2 \delta\alpha_2}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_2} \cos^2 \alpha_2} = l_0 \frac{\sin \alpha_2}{\cos^2 \alpha_2} \delta\alpha_2 \\
\delta\lambda_n &= \frac{d\lambda_n}{d\alpha_n} \delta\alpha_n = l_0 \frac{\operatorname{tg} \alpha_n \delta\alpha_n}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_n} \cos^2 \alpha_n} = l_0 \frac{\sin \alpha_n}{\cos^2 \alpha_n} \delta\alpha_n
\end{aligned} \right\}$$

(2.11)

Значения сил (2.6) – (2.8) и вариаций (2.10) – (2.11) подставим в выражение

(2.9)

$$\begin{aligned}
& Pl_0 \left(\frac{\delta\alpha_1}{\cos^2 \alpha_1} + \frac{\delta\alpha_2}{\cos^2 \alpha_2} + \dots + \frac{\delta\alpha_n}{\cos^2 \alpha_n} \right) - K_n l_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2 + \dots + \operatorname{tg} \alpha_n) \\
& \left(\frac{\delta\alpha_1}{\cos^2 \alpha_1} + \frac{\delta\alpha_2}{\cos^2 \alpha_2} + \dots + \frac{\delta\alpha_n}{\cos^2 \alpha_n} \right) - Kl_0 \left(\operatorname{tg} \alpha_1 \frac{l_0}{\cos^2 \alpha_1} \delta\alpha_1 - Kl_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2) \right) \\
& \left(\frac{l_0}{\cos^2 \alpha_1} \delta\alpha_1 + \frac{l_0}{\cos^2 \alpha_2} \delta\alpha_2 \right) - \dots - Kl_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2 + \dots + \operatorname{tg} \alpha_n) \\
& \left(\frac{l_0}{\cos^2 \alpha_1} \delta\alpha_1 + \frac{l_0}{\cos^2 \alpha_2} \delta\alpha_2 + \dots + \frac{l_0}{\cos^2 \alpha_n} \delta\alpha_n \right) - cl_0 (\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_1} - 1) \frac{l_0 \sin \alpha_1}{\cos^2 \alpha_1} \delta\alpha_1 - cl_0 (\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_2} - 1) \\
& \frac{l_0 \sin \alpha_2}{\cos^2 \alpha_2} \delta\alpha_2 - \dots - cl_0 (\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_n} - 1) \frac{l_0 \sin \alpha_n}{\cos^2 \alpha_n} \delta\alpha_n - fKl_0 \operatorname{tg} \alpha_1 \cos \alpha_1 \sin \alpha_1 \frac{\delta\alpha_1}{\cos^2 \alpha_1} - \\
& - fKl_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2) \cos \alpha_2 \sin \alpha_2 \left(\frac{\delta\alpha_1}{\cos^2 \alpha_1} + \frac{\delta\alpha_2}{\cos^2 \alpha_2} \right) - \dots - fKl_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2 + \operatorname{tg} \alpha_n) \cos \alpha_n \sin \alpha_n \\
& \left(\frac{\delta\alpha_1}{\cos^2 \alpha_1} + \frac{\delta\alpha_2}{\cos^2 \alpha_2} + \dots + \frac{\delta\alpha_n}{\cos^2 \alpha_n} \right) = 0
\end{aligned} \quad (2.12)$$

Сократим на l_0 и сгруппируем члены с $\delta\alpha_1, \delta\alpha_2, \dots, \delta\alpha_n$:

$$\begin{aligned}
& \left[T \left(\frac{1}{\cos^2 \alpha_1} - Kl_0 \left(\frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{\cos^2 \alpha_1} \right) - Kl_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2) \right) \frac{1}{\cos^2 \alpha_1} - \dots - Kl_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2 + \dots + \operatorname{tg} \alpha_n) \right. \\
& \frac{1}{\cos^2 \alpha_1} - K_n l_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2 + \dots + \operatorname{tg} \alpha_n) \frac{1}{\cos^2 \alpha_1} - cl_0 \left(\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_1} - 1 \right) \frac{\sin \alpha_1}{\cos^2 \alpha_1} - \\
& - fkl_0 \operatorname{tg} \alpha_1 \cos \alpha_1 \sin \alpha_1 \frac{1}{\cos^2 \alpha_1} - fkl_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2) \cos \alpha_2 \sin \alpha_2 \frac{1}{\cos^2 \alpha_1} - \dots \\
& \left. - fkl_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2 + \operatorname{tg} \alpha_n) \cos \alpha_n \sin \alpha_n \frac{1}{\cos^2 \alpha_1} \right] \delta \alpha_1 + \\
& + \left[T \left(\frac{1}{\cos^2 \alpha_2} - Kl_0 \left(\frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{\cos^2 \alpha_2} - Kl_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2) \right) \right) \frac{1}{\cos^2 \alpha_2} - \dots - Kl_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2 + \dots + \operatorname{tg} \alpha_n) \right. \\
& \frac{1}{\cos^2 \alpha_2} - K_n l_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2 + \dots + \operatorname{tg} \alpha_n) \frac{1}{\cos^2 \alpha_2} - cl_0 \left(\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_2} - 1 \right) \frac{\sin \alpha_2}{\cos^2 \alpha_2} - \\
& fkl_0 \operatorname{tg} \alpha_1 \cos \alpha_1 \sin \alpha_1 \frac{1}{\cos^2 \alpha_2} - fkl_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2) \cos \alpha_2 \sin \alpha_2 \frac{1}{\cos^2 \alpha_2} - \dots \\
& \left. - fkl_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2 + \operatorname{tg} \alpha_n) \cos \alpha_n \sin \alpha_n \frac{1}{\cos^2 \alpha_2} \right] \delta \alpha_2 + \dots \\
& + \left[T \left(\frac{1}{\cos^2 \alpha_n} - Kl_0 \left(\frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{\cos^2 \alpha_n} - Kl_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2) \right) \right) \frac{1}{\cos^2 \alpha_n} - \dots - Kl_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2 + \dots + \operatorname{tg} \alpha_n) \right. \\
& \frac{1}{\cos^2 \alpha_n} - K_n l_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2 + \dots + \operatorname{tg} \alpha_n) \frac{1}{\cos^2 \alpha_n} - cl_0 \left(\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_n} - 1 \right) \\
& \frac{\sin \alpha_n}{\cos^2 \alpha_n} - fkl_0 \operatorname{tg} \alpha_1 \cos \alpha_n \sin \alpha_n \frac{1}{\cos^2 \alpha_n} - fkl_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2) \cos \alpha_n \sin \alpha_n \frac{1}{\cos^2 \alpha_n} - \dots \\
& \left. - fkl_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2 + \operatorname{tg} \alpha_n) \cos \alpha_n \sin \alpha_n \frac{1}{\cos^2 \alpha_n} \right] \delta \alpha_n = 0
\end{aligned} \tag{2.13}$$

Приравняв к нулю коэффициенты при $\delta \alpha_1, \delta \alpha_2, \dots, \delta \alpha_n$, получим n систему нелинейных трансцендентных уравнений.

$$\left. \begin{aligned}
& T - kl_0 \operatorname{tg} \alpha_1 - kl_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2) - kl_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2 + \dots + \operatorname{tg} \alpha_n) - \kappa_{II} l_0 \\
& (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2 + \dots + \operatorname{tg} \alpha_n) - cl_0 \left(\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_1} - 1 \right) \sin \alpha_1 - fkl_0 \operatorname{tg} \alpha_1 \cos \alpha_1 \sin \alpha_1 - \\
& - fkl_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2) \cos \alpha_2 \sin \alpha_2 - fkl_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2 + \dots + \operatorname{tg} \alpha_n) \cos \alpha_n \sin \alpha_n = 0 \\
& T - kl_0 \operatorname{tg} \alpha_1 - kl_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2) - kl_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2 + \dots + \operatorname{tg} \alpha_n) - \kappa_{II} l_0 \\
& (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2 + \dots + \operatorname{tg} \alpha_n) - cl_0 \left(\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_1} - 1 \right) \sin \alpha_2 - fkl_0 \operatorname{tg} \alpha_1 \cos \alpha_2 \sin \alpha_2 - \\
& - fkl_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2) \cos \alpha_2 \sin \alpha_2 - fkl_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2 + \dots + \operatorname{tg} \alpha_n) \cos \alpha_n \sin \alpha_n = 0 \\
& T - kl_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2 + \dots + \operatorname{tg} \alpha_n) - \kappa_{II} l_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2 + \dots + \operatorname{tg} \alpha_n) - cl_0 \\
& \left(\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_1} - 1 \right) \sin \alpha_n - f \cdot k \cdot l_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2 + \dots + \operatorname{tg} \alpha_n) \cdot \cos \alpha_n \cdot \sin \alpha_n = 0
\end{aligned} \right\} \tag{2.14}$$

Решая систему уравнений (2.14) численным методом (методом Ньютона) при заданных значениях T, l_0, c, K, K_{II} найдем значение углов $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$, опре-

деляющих положение равновесия системы. Зная функцию прогиба можно рассчитать толщину дорожной одежды, удовлетворяющей требуемым условиям. Решение задачи было доведено до программы для ЭВМ, получившей название «Синтетика 1», позволяющая производить проектирование и численные исследования, армированных геосинтетикой дорожных одежд.

Так как для составления математической модели был использован метод возможных перемещений, то в основу программного комплекса «Синтетика 1» был положен следующий алгоритм. Нагрузка на систему прикладывается ступенями от величины $0,01P$ до P и на каждом шаге расчета производится перерасчет обобщенных координат. Минимальная величина ступени зависит, главным образом, от физико-механических характеристик подстилающего грунтового основания и может варьироваться от $0,1P$ до $0,001P$. Точное определение значений интервалов варьирования P может быть определено после сопоставления результатов расчета с экспериментальными данными, однако это не входило в задачи диссертационных исследований. Точность расчета также зависит от количества отрезков, определяющих начальную длину стержней, однако опыт расчетов показывает, что уже при $n = 10$, теоретически полученная функция прогиба удовлетворительно коррелирует с результатами экспериментальных исследований. Сходимость теоретических и экспериментальных результатов составляет 85...95%, что говорит об удовлетворительной корректности разработанного решения.