

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ,  
МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И  
ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ**

УДК 539.3

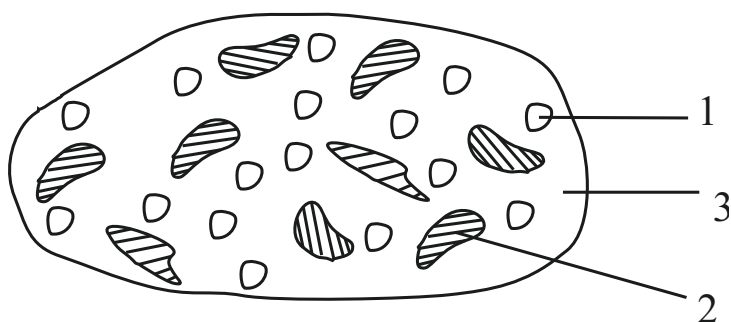
Джафаров Низами Думан оглы – к.т.н., доцент (Баку, Азербайджанская государственная нефтяная академия)

**МОНИТОРИНГ ТВЕРДОСТИ АСФАЛЬТОВЫХ ПОКРЫТИЙ ДОРОГ**

*Введение.* В последнее время процент перевозок грузов автомобильным транспортом увеличивается. Это приводит к необходимости увеличения пропускной способности дорог, которая осуществляется прокладкой новых, расширением и восстановлением старых. Во всех этих случаях на дорогу наносится новое покрытие, которое должно быть более прочным, т.е. адаптированным к увеличению грузоподъемности автомобилей и к увеличению их скоростей и к изменению состава выхлопных газов. Мониторинг прочности покрытия осуществляется с самого начала, когда оно наносится. Суть мониторинга заключается в следующем: на относительно малой площадке покрытия замеряется ее осадок, вызванный приложенной сжимающей силой. Величина осадка характеризует прочность покрытия. В самом деле, исходя из структуры асфальта и технологии ее нанесения, следует, что покрытие имеет поры. Чем меньше объем пор, тем меньше осадок, тем прочнее покрытие. Отметим, что осадок состоит из двух слагаемых: из осадка частиц асфальта, вызванного их деформацией, и из изменения объема пор. Качество нанесения покрытия характеризуется малым объемом пор. Отсюда следует, что рассматриваемый мониторинг определяет сумму изменений объема пор и деформации частиц асфальта. Так как первое слагаемое определяет качество нанесения покрытия, то целесообразно определить ее, основываясь на результаты мониторинга [1]. Целью данной работы является анализ результата мониторинга для определения качества нанесения покрытия.

*Постановка задачи.* Рассмотрим призму из материала покрытия длиной  $L$  с поперечным сечением  $F$ . Пусть один торец жестко закреплен, а другой нагружен продольной сжимающей силой  $T$ . Предположим, что материал покрытия состоит из твердых частиц, соединенных между собой связующим веществом [2]. При этом вещество заполняет не все пространство между твердыми частицами: остаются поры. Обозначим через  $\omega = \frac{V_{пор}}{V}$ , где  $V_{пор}$  - объем пор,  $V$  - объем призмы.

Предположим, что поведение призмы описывается в рамках теории стержней. Тогда напряженно-деформированное состояние, в частности  $\omega$ , не зависит от поперечной координаты. Распределение  $\omega$  по поперечному сечению, схематично, можно представить в следующем виде:



1 – поры, 2 – твердые частицы, 3 – связующее вещество.

Рисунок 1 – Схематичное распределение пор по поперечному сечению

В общем случае, связующее вещество обладает реологическими свойствами, в отличие от твердых частиц. Поэтому материал призмы, в целом, проявляет реологические свойства. Однако, так как мониторинг проводится в фиксированный момент времени (обычно, в начальный), то процесс сжатия, можно предположить, происходит мгновенно. Поэтому, реологические процессы в призме не будут рассматриваться.

Известно, что при учете пор рассматриваются два вида напряжения:  $\sigma_p$  - отнесенное ко всему поперечному сечению  $F$  и части  $\sigma_s$  - отнесенное к сплошной части сечения, не содержащей поры, т.е. к  $F_s = F(1 - \omega)$ . Из условия нагружения следует

$$\sigma_p = \frac{T}{F} ; \sigma_s = \frac{T}{F_s} = \frac{T}{F(1 - \omega)} = \sigma_p \frac{1}{1 - \omega}. \quad (1)$$

Под действием истинного напряжения деформируются твердые частицы, соединенные между собой связующим веществом. Кроме того, в результате этой деформации изменяется объем пор. Таким образом, рассмотренные деформации приводят к продольному перемещению, в частности, к перемещению нагруженного торца – к осадку. Определение этого осадка является целью статьи.

$$\sigma_p = \frac{T}{F} \equiv P - const$$

*Решение задачи.* Из уравнения равновесия следует, что . Под

действием напряжения  $\sigma_s$  происходит продольная деформация твердых частиц и связующего материала. В ряде случаев принимается, что твердые частицы не деформируются. Кроме того, связующее вещество аналогично вязкой жидкости и поэтому работает только на сдвиг. Из этих предположений следует, что при сжатии призмы продольные волокна, состоящие из твердых частиц, не деформируются, а перемещаются относительно друг друга. Продольное перемещение возникает вследствие изменения объема пор. Приведенная схема перемещения является приближенной.

Определим значение величины  $\omega$  в зависимости от значения приложенной нагрузки  $P$ . Из определения параметра  $\omega$  следует:

$$\omega(P) = \frac{V_{nop}(P)}{V} = \frac{V(P) - V_s}{V(P)} \approx \frac{V_0 \left(1 + \frac{\partial u}{\partial x}\right) - V_s}{V_0} = \quad (2)$$

$$= \frac{V_0 - V_s(0)}{V_0} + \frac{\partial u}{\partial x} = \omega_0 + \frac{\partial u}{\partial x}$$

где  $V_s$  - объем твердых частиц,  $V_0$  - начальный объем призмы,  $u$  - продольное перемещение,  $\omega_0$  - начальное значение относительного объема пор. Предположим, что материал покрытия «в целом» проявляет нелинейные свойства, т.е.

$$\frac{\partial u}{\partial x} = f(\sigma_s) = -f\left(\frac{P}{1-\omega}\right), \quad (3)$$

где  $f$  - нелинейная функция, характеризующая физическое состояние материала. Тогда, основываясь на (2), следует:

$$\omega = \omega_0 - f\left(\frac{P}{1-\omega}\right) \quad (4)$$

В общем случае, величина  $\omega$  характеризуется не только функцией  $f$ . Зависимость  $\omega$  от  $P$  имеет более сложный характер и определяется, в основном, из экспериментов. Обобщив (4), имеем

$$\frac{d\omega}{dP} = \varphi\left(\frac{P}{1-\omega}\right); \quad \omega = \omega_0 \text{ при } P = 0,$$

где  $\varphi$  - некоторая функция нелинейности. Данное соотношение аналогично кинетическому уравнению повреждаемости теории повреждаемости [3]. По аналогии с этой теорией, физическое соотношение можно принять в следующем виде:

$$\frac{d\varepsilon}{dP} = \Phi\left(\frac{P}{1-\omega}\right); \quad \varepsilon = 0; \quad \varepsilon = \frac{\partial u}{\partial x} \text{ при } P = 0.$$

Отметим, что замена нелинейного алгебраического уравнения обыкновенным дифференциальным уравнением первого порядка упрощает нахождение решения задачи.

*Анализ полученного решения.* Для анализа величины осадка упростим уравнение (4), приняв  $f$  линейной функцией. Кроме того, при малых значениях нагрузки определяющим членом в уравнении (4) является линейный. Итак, вместо (4) имеем:

$$\omega = \omega_0 - \frac{1}{E} \frac{P}{1-\omega}, \quad (5)$$

где  $E$  - модуль упругости. Так как  $\omega$  является положительной величиной, то соотношение (5) имеет место при  $0 \leq P \leq P_{cr}$ , где  $P_{cr} = E\omega_0$ . Нагрузка соответствует закрытию пор [4] Из уравнения (5), после преобразований следует

$$\tau = (\omega_0 - \omega)(1 - \omega); \quad \omega = \frac{1}{2} \left[ 1 + \omega_0 - \sqrt{(1 - \omega_0)^2 + 4\tau} \right]; \quad \tau = \frac{P}{E}.$$

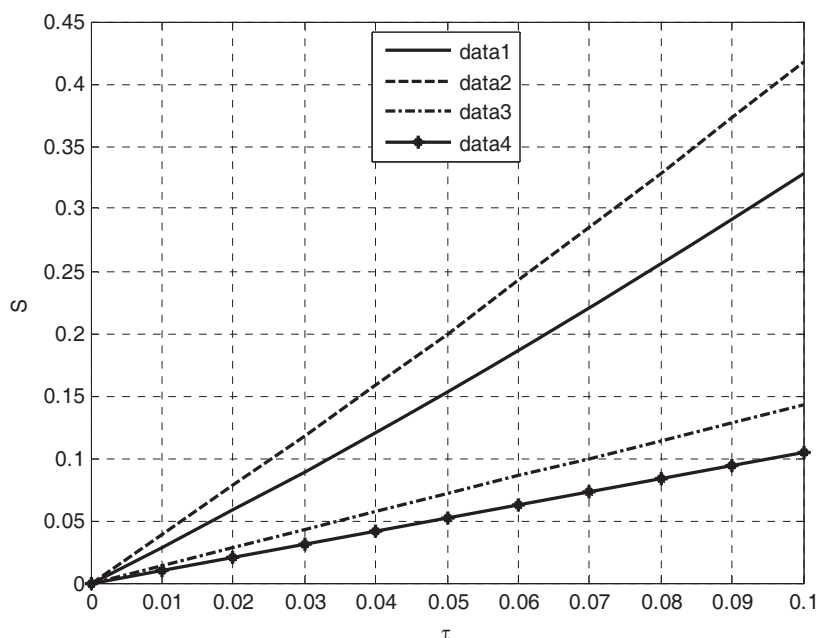
Знак перед квадратным корнем выбирается, основываясь на условии, что  $\omega = \omega_0$  при  $\tau = 0$ . Исходя из уравнения (3) и граничного условия для призмы: торец  $x = 0$  жестко закреплен, т.е.  $u = 0$  при  $x = 0$ , имеем:

$$u = x \cdot \frac{P}{E} \frac{1}{1-\omega} = 2x\tau \left[ -\omega_0 + 1 + \sqrt{(1 - \omega_0)^2 + 4\tau} \right]^{-1}.$$

Полученная величина определяет решение задачи. Найдем величину осадка  $u$  при  $x = L$ , т.е. перемещение нагруженного торца. Она равна

$$S = 2\tau \left[ -\omega_0 + 1 + \sqrt{(1 - \omega_0)^2 + 4\tau} \right]^{-1}; \quad S = \frac{u(L)}{L} \quad (6)$$

Так как  $0 \leq \tau \leq \tau_{cr} = \omega_0$ , то следует, что  $0 \leq S \leq S_{cr}$ , где  $S_{cr} = \omega_0$ . Характерная зависимость осадка  $S$  от нагрузки  $\tau$  имеет вид, представленный на рис. 2.



1 – при  $\omega_0 = 0.3$ ; 2 – при  $\omega_0 = 0.05$ ; 3 – линейная зависимость при  $\omega_0 = 0.3$ ;  
4 – линейная зависимость при  $\omega_0 = 0.05$ .

Рисунок 2 – Зависимость  $S$  от  $\tau$

Из выражения  $\tau$  и  $\tau_{cr}$  видно, что эта величина малая. Разложим зависимость (6) в ряд Тейлора. Тогда для линейного члена имеем:

$$S_l = \tau \cdot \frac{1}{1 - \omega_0}. \quad (7)$$

На рис.2 сплошной линией представлена линейная зависимость. Известно, что с увеличением  $\tau$  возрастает разница между линейной и нелинейной теориями. Отметим, что с увеличением  $\omega_0$  эта разница увеличивается при фиксированном значении  $\tau$ .

Из постановки задачи ясно, что, чем больше осадок, тем больше объем пор при фиксированном значении нагрузки, т.е. качество покрытия хуже. При мониторинге замеряется величина осадка  $u(L)$ , образованная под действием известной силы  $T$ . Мониторинг можно проводить, изменяя пошагово значение  $T$  и измеряя величину  $u(L)$ . Однако целесообразно мониторинг проводить следующим образом: увеличивать значение приложенной нагрузки до такого значения, при котором осадок не будет изменяться. Тогда замеряется предельное значение осадка  $u_{np}$  и предельное значение нагрузки  $T_{np}$ . Отметим, что эти предельные значения соответствуют критическим.

Зная толщину покрытия, имеем, что  $S_{cr} = \frac{u_{np}}{L}$ . Так как  $S_{cr} = \omega_0$ , то  $\omega_0 = \frac{1}{L} u_{np}$ .

Найденное значение  $\omega_0$  характеризует качество покрытия. Чем меньше  $\omega_0$ , тем лучше покрытия. Кроме того, можно определить значение модуля упругости, которое используется при проведении расчета других механических показателей покрытия. В самом деле:

$$E = \frac{P}{\tau} = \frac{T}{F\tau} = \frac{T_{np}}{F\tau_{cr}} = \frac{T_{np}}{F\omega_0} = \frac{T_{np} \cdot L}{Fu_{np}}.$$

**Выводы.** Предложена модель поведения асфальтового покрытия дороги с учетом существования пор. В рамках этой модели определено напряженно-деформированное состояние сжатой призмы, выделенной из покрытия в поперечном направлении. Определено критическое состояние, характеризующееся закрытием пор. Показано, как, основываясь на результаты мониторинга, можно определить предельное состояние покрытия, характеризующее его качество.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Деформативная способность асфальтовых покрытий и оснований. ВНИТИ, 1975, 38, с. 1-29.
2. Глушко И.М. и др. Дорожно-строительные материалы, М., Транспорт, 1983, 383 с.
3. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. М.: Наука, 1979, 744 с.
4. Рустамов Т.А. Сжатие стержня из пористого материала с учетом больших перемещений. Механика. Машиностроения. Министерство Образования Азербайджанской Республики. Баку, 2006, №1, с. 22-23.

## **АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА, СВЯЗЬ, ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ**

УДК 621.395.4:004.724.4

Мирзакулова Шарафат Абдурахимовна – старший преподаватель (Алматы, Алматинский университет энергетики и связи)  
Балгабекова Ляйлим Озбековна – ассистент (Алматы, Алматинский университет энергетики и связи)

### **АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ВЕРОЯТНОСТИ ПОТЕРИ ПАКЕТОВ В БУФЕРАХ СЕТЕВЫХ УСТРОЙСТВ С УЧЕТОМ ФРАКТАЛЬНОСТИ ТРАФИКА**

При проектировании и эксплуатации информационных телекоммуникационных сетей одной из основных проблем является задача обеспечения качества обслуживания (заданных уровней задержек, потерь и др.) при обработке трафика данных.

До недавнего времени теоретическую базу для проектирования систем распределения информации обеспечивала теория телетрафика, которая является одной из ветвей теории массового обслуживания и появилась в результате работ А.К. Эрланга, Т.Энгсета, Г.О'Делла, К.Пальма, А.Я. Хинчина и др. [1].