

М. Б. БЕКТЕНОВ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ «ПРОСВЕТЛЕННОЙ ОПТИКИ» ДЛЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Однородность прочности асфальто- и цементобетонных покрытий является важным фактором качества. Этот показатель используется при расчете толщины покрытия, которая устанавливается путем испытания стандартных кубиков и балочек на сжатие и изгиб. По мере совершенствования технологии изготовления однородность асфальто- и цементобетонной смеси (рабочее тело) повышается, тем не менее коэффициент однородности принят 0,7.

Поскольку в составе рабочего тела содержится множество ингредиентов, он по своей природе неоднороден. Повышая коэффициент однородности, можно получить экономичное покрытие. В то же время по коэффициенту однородности можно определить экономичность выполняемых работ. Действительно, на практике уменьшение изменчивости однородности рабочего тела снижает расход цемента и повышает рентабельность бетонных работ.

По подсчетам уменьшение изменчивости на 5% дает экономию в 4,5 тенге на 1 м³ бетона марки 300 и 9 тенге марки 400.

Изменчивость однородности или колебание прочности бетона обусловлены прежде всего технологическими факторами. Исследованиями [1] было установлено, что 70% технологического фактора влияет на однородность бетона, поэтому основная задача при изготовлении асфальтобетонных покрытий состоит в увеличении точности и стабильности технологических процессов.

Одним из важных параметров технологического процесса является температура, именно равномерное распределение температурного поля по всей массе смеси способствует его однородности и прочности. Достичь этого путем традиционной технологии обработки крайне трудно, так как при открытой поверхности нагрева нейтрализовать влияние климатического фактора: интенсивности солнечной радиации Θ , температуры окружающей среды T^0K , относительной влажности воздуха f , скорости ветра v невозможно.

Особое внимание уделяется защите асфальтобетонной смеси от прямого попадания солнечной радиации. Для этого более приемлемо

применение прозрачных для солнечных лучей и одновременно отражающих ретардированных от поверхности нагретой смеси селективных пленок [2], получаемых путем «просветления оптики», которые уменьшают отражательную способность стекол по отношению солнечным лучам, падающим с внешней стороны, путем покрытия их тонкими пленками диэлектрика [3].

По нашим расчетам [4], однородность прочности асфальтобетонной смеси зависит от температуры, которая является функцией коэффициента отражения просветленной поверхности. Исследование явлений отражения от тщательно очищенных поверхностей диэлектриков, т.е. в условиях, когда, казалось бы, феноменологическая теория должна в совершенстве соответствовать действительности, привело к обнаружению заметных отклонений от формулы Френеля. Теория отражения луча просветленной оптики была заложена Друде [5,6], который для коэффициента отражения при наличии переходного слоя получил выражение

$$r_{pp} = \frac{n_2 \cos \theta_1 (1 + ic_1) - n_1 \cos \theta_2 (1 + ic_2)}{n_2 \cos \theta_1 (1 + ic_1) + n_1 \cos \theta_2 (1 + ic_2)}. \quad (1)$$

Поскольку поправочный член становится заметным только в непосредственной окрестности угла Брюстера, то можно принять

$$\theta_1 = \theta_{\text{бр}} + \varphi, \text{ где } \text{tg } \theta_{\text{бр}} = \frac{n_2}{n_1} \text{ и } \varphi \ll 1$$

и ограничиться членами с первыми степенями относительности θ , c_1 и c_2 . После преобразования получим

$$r_{pp} \cong \frac{1}{2} \frac{n_1}{n_2} \left(\frac{n_1^2}{n_2^2} - \frac{n_2^2}{n_1^2} \right) \theta + \frac{i}{2} (c_1 - c_2), \quad (2)$$

при угле падения $\theta = 0$

$$r_{pp} \cong \frac{i}{2} (c_1 - c_2) = \frac{iK_0}{2} \times \quad (3)$$

$$\times \left\{ \frac{n_2^{2*}}{n_2} \cos \theta_2 - \left[1 - n_2^2 \left(\frac{1}{n_2^2} \right) \sin^2 \theta_2 \right] \frac{n_2}{\cos \theta_2} \right\},$$

где знак * означает интегральное среднее данной величины. Соотношение (3) позволяет по интенсивности и фазе р-компоненты порядка интерференции для угла Брюстера оценить толщину d переходного слоя.

Последнюю зависимость можно привести в упрощенный вид, считая, что на отражающую поверхность падает волна, линейно поляризованная под разными углами к плоскости падения. Если расположить приемную поверхность к лучам под углом 45° , можно получить формулу для расчета коэффициента отражения

$$\frac{r_{pp}}{r_{ss}} = \frac{iK_0 d \gamma \sqrt{n_1^2 + n_2^2}}{2(n_1^2 - n_2^2)}, \quad (4)$$

где коэффициент

$$\gamma = n_*^2 + n_1^2 n_2^2 \left(\frac{1_*}{n^2}\right) - n_1^2 - n_2^2. \quad (5)$$

Для хорошо очищенной поверхности стекла,

например, в воздухе модуль отношения $\frac{r_{pp}}{r_{ss}}$ со-

ставляет между 0,03 и 0,007. Кроме того, одним из главных факторов получения однородности по прочности кроме коэффициента отражения, температуры является коэффициент преломления пленки просветления.

Если показатель преломления вещества слоя имеет значение, промежуточное между значениями показателей преломления обрамляющих сред ($n_1 < n_2 < n_3$ или $n_1 > n_2 > n_3$), то при порядке интерференции

$$P = \frac{2m + 1}{2} \quad (6)$$

прозрачность достигает максимума, а отражательная способность – минимума (m – произвольное целое число). Следовательно, диэлектрические слои с промежуточным показателем преломления подавляют отражение на границе раздела двух сред и могут служить для просветления оптики. Наибольший эффект достигается при

$$n_2^2 = n_1 n_3, \quad (7)$$

т.е. когда показатель преломления покровной пленки равен геометрическому среднему и показателей преломления обрамляющих ее сред.

Существуют различные способы просветления стекла, покрывающего поверхность «котла»,

работающего по принципу «горячего ящика». Наиболее распространенным является нанесение как светлых, так и темных пленкообразующих составов в зависимости от поставленной задачи в конкретном случае на поверхность стекла [2]. Подобное просветленное стекло с селективной пленкой, изолируя прямое попадание солнечной радиации, обеспечивает асфальтобетонной смеси благоприятное условие равномерного твердения [7] и однородность прочности по всему объему. Двухкратное использование солнечной энергии – прямой и рерадированных лучей от нагретой поверхности является новой технологией и наиболее энергоемким процессом в производстве асфальтобетонной смеси.

Исследования показали, что нагрев асфальтобетонной рабочей массы под воздействием прямой и диффузной солнечной радиации, когда твердеющий асфальтобетон сам выполняет функцию гелиоприемника, более эффективен, чем прогрев бетона в различных гелиокамерах или с применением различных систем гелиооборудования. Однако в работе [8] при прямом нагреве рабочей массы путем укладки полимерных пленок на ее поверхность получили высокий градиент температуры по толщине, которая способствовала ее перегреву от солнечной радиации. Из-за этого нарушились равномерный режим сушки, что повлияло на возникновение трещин и физико-механические свойства. Для устранения этих недостатков автор [8] предлагал применить прозрачные полимерные пленочные материалы в сочетании с предварительным укрытием поверхности твердеющего бетона гидрофильным материалом (поролон, мешковина и др.), укладку вместо прозрачной пленки – металлизированной, в значительной степени отражающей солнечную радиацию.

Однако большое различие между коэффициентами преломления и отражения создало их значительную оптическую разность хода лучей, что еще больше отрицательно повлияло на свойства материала.

Нами предлагаемая методика нанесения селективной пленки путем напыления на внутреннюю поверхность стекла устраняет эти недостатки, способствует получению равномерного температурного градиента по всей толщине [9], тем самым осуществлению однородного физико-механического свойства.

При использовании селективной пленки для прогрева рабочей дорожной массы необходимо знать суточные, почасовые значения суммарного потока солнечной радиации J , а также интенсивность прямой J_n и диффузной радиации J_d для данной географической широты [10]

$$J = J_n + J_d. \quad (8)$$

После этого можно рассчитать почасовой поток солнечной радиации (впоследствии суточный поток), поступающей непосредственно к поверхности рабочей массы по формуле

$$J_q = \varepsilon \gamma (J_{d+} \delta J_n), \quad (9)$$

где J_q – почасовое поступление солнечной радиации, Вт/м²; γ – коэффициент пропускания солнечной радиации селективной пленкой со стеклом = 0,68; δ – коэффициент ослабления солнечных лучей в зависимости от угла падения $\approx 0,97 \div 0,87$; ε – степень черноты пленки.

Зная суммарный суточный поток солнечной радиации, можно составить уравнение теплового баланса гелиоприемника в течение нагрева рабочей массы

$$\begin{aligned} & \frac{(\sum J_n \delta + \sum J_d) \varepsilon \gamma}{t_{np}} + \frac{q \rho_u \eta}{S t_{np}} + m_{nl} C_{nl} \varepsilon [T_p - T_{nl}] = \\ & = \frac{c_p m_p \nu^1}{S} + \frac{c_\phi m_\phi \nu_\phi}{S_{np}} + \lambda (T_p^1 - T_0^1) + \\ & + \alpha (T_\phi^1 - T_0^1) + 1,16 j_n (597 - 0,55 T_{n.p}). \end{aligned} \quad (10)$$

Здесь $Q_1 = \frac{(\sum J_n \delta + \sum J_d) \varepsilon \gamma}{t_{np}}$ – тепло, поступающее от солнечной радиации; t_{np} – время прогрева, ч;

$Q_2 = \frac{q \rho_u \eta}{S t_{np}}$ – внутреннее тепловыделение рабочей массы в период прогрева; q – удельная теплота гидратации цемента, Дж/кг; ρ_u – плотность цемента, кг/м³; $\eta = q_i / q^c$ – относительное тепловыделение (q_i – количество выделившегося тепла к моменту измерения, кДж/кг; q^c – количество тепла, выделяющегося при гидратации цемента в течение контрольного времени, при определенной температуре кДж/кг); S – площадь поверхности, м²;

$Q_3 = m_{nl} C_{nl} \varepsilon [T_p - T_{nl}]$ –

переработанное тепло; T_p – температура рабочего тела, град; T_{nl} – температура пленки, град; m_{nl} – масса пленки, кг; c_{nl} – удельная теплоем-

кость пленки, Дж/кг·град; $\Theta_1 = \frac{c_p m_p \nu^1}{S}$ – изме-

нение энтальпии рабочего тела в период прогрева; c_p – удельная теплоемкость рабочего тела, Дж/кг·град; m_p – масса рабочего тела, кг; ν^1 – скорость прогрева рабочего тела, град/ч;

$\Theta_\phi = \frac{c_\phi m_\phi \nu_\phi}{S_{np}}$ – изменение энтальпии формы

(установки) в период прогрева; c_ϕ – удельная теплоемкость материала формы, Дж/кг·град; S_{np} – площадь теплообмена установки, приведенная к

1 м²; m_ϕ – масса формы, кг; $Q_{p.r} = \lambda (T_p^1 - T_0^1)$ –

потери тепла рабочим телом через неопалубленную поверхность; λ – коэффициент теплопередачи пленки, Вт/м²·град; T_p^1 – ежечасная температура рабочего тела в период прогрева, град;

T_0^1 – ежечасная температура окружающей среды, град; $Q_\phi = \alpha (T_\phi^1 - T_0^1)$ – потери тепла через форму; α – коэффициент теплоотдачи формы, Вт/м²·град; T_ϕ^1 – ежечасная температура формы в период прогрева, град; $Q_u = 1,16 \vartheta_n (597 - 0,55 T_{n.p.})$ – расход тепла на испарение воды из рабочего тела; ϑ_n – интенсивность испарения влаги из поверхности рабочей массы, кг/м²·ч; $T_{n.p.}$ – температура поверхности рабочего тела, град.

В зависимости от решаемой проблемы из формулы (10) можно определить основные параметры рабочего тела – ежечасную температуру нагрева, максимальную температуру нагрева, температуру внутренней поверхности пленки, скорость прогрева рабочего тела.

Таким образом, на основании изложенного можно сделать следующие выводы:

1. В статье рассматривался случай, когда солнечная энергия падает на приемник перпендикулярно. При этом уменьшается энергия отраженного луча, а энергия излучения, достигающего поверхности рабочего тела, будет максимальна.

2. При просветлении оптики, т.е. при нанесении пленки, важно было, чтобы для уменьшения

энергии отраженного луча показатель преломления пленки имел значение, промежуточное между значениями показателей преломления обрамляющих сред.

3. Предлагаемая нами методика нанесения селективной пленки путем напыления на внутреннюю поверхность стекла устраняет отличие в оптической разности хода лучей. Это способствует регулированию температурного градиента по всей толщине асфальтобетона, тем самым достигается однородность его физико-механического свойства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рокас С.Ю. Эффективный контроль – гарантия высокого качества // Автомобильные дороги. 1975. №3.
2. Бектенов Л.Б. Теплотехнический расчет приемников солнечного излучения с различными селективными покрытиями // Физика. 1972. Вып. 5. С. 182-188.
3. Розенберг Т.В. Оптика тонкослойных покрытий. М., 1958. С. 122.
4. Бектенов М.Б., Телтаев Б.Б. Математическое моделирование потери тепла асфальтобетонной смеси, пере-

зимой в теплоизолированных условиях // Доклады НАН РК. 2005. №6. С. 73-78.

5. Drude P. Wied. Ann. 36. 532 и 865 (1889).

6. Друде П. Оптика. ОНТИ, 1935.

7. Бектенов М.Б. Практическое применение гелиоустановок при производстве бетона // Вестник КазАТК. 2003. №5.

8. Малинский Е.Н., Рыбасов В.П. Гелиотермообработка бетонных и железобетонных изделий с применением пленкообразующих составов // НИИЖБ. 1986. С. 36.

9. Бектенов М.Б. Светопрозрачное двухслойное покрытие с внутренней теплоотражающей пленкой // Магистраль. 2003. №3.

10. Бектенов М.(Л.)Б. Определение плотности солнечной радиации на территории Казахстана // Магистраль. 2004. №11.

Резюме

Шынының ішкі бетіне қапталған талғамды жұқа қабат арқылы асфальтты бетонның қалыңдығындағы температур градиентін реттеу мәселесі қарастырылады.

Summary

In this article the regulation task of temperature on of asphalt and cement density due to selective surface covered onto glass.

Поступила 20.10.06г.

Б. РЫСБАЙУЛЫ, А. АДАМОВ

СХОДИМОСТЬ РАЗНОСТНОЙ СХЕМЫ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ КОНДУКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА В МНОГОСЛОЙНОЙ ОБЛАСТИ

Постановка задачи. В области $\Omega = (0, H) \cup (0, T)$ рассматривается задача

$$c\gamma \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right), \quad 0 < z < H, \quad t \subseteq (0, t_0), \quad (1)$$

$$T(z, 0) = T_0(z), \quad 0 < z < H, \quad (2)$$

$$\left[\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right]_{z_i} = 0, \quad i=1, 2, \dots, k, \quad (3)$$

$$T(0, t) = T_1, \quad 0 < t < t_0, \quad (4)$$

где $[f] = f(z+0, t) - f(z-0, t)$ – разрыв функции, $T_1 = \text{const}$, k – число слоя.

Под влиянием внешней температуры в многослойной области образуются талые, фазовые и мерзлые зоны. Границу талой и фазовой зоны обозначим через $h(z)$, а границу фазовой и мерзлой зоны – через $h_1(z)$. Температура границы $h(z)$

постоянна и равна θ , а температура $h_1(z)$ также постоянна и равна θ_1 , причем $\theta_1 < \theta$. В численных расчетах мы рассматриваем трехслойные грунты, т.е. $k=2$. Дальнейшие наши рассуждения справедлива для любого k .

На поверхности грунта ставятся краевые условия третьего порядка:

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial z} = -\alpha(T - T_0(z)), \quad (5)$$

где $T_0(z)$ – температура окружающей среды (в нашем случае воздух).

На границе $z = h(t)$ справедливо

$$\left[\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right] = p \frac{dh}{dz}, \quad (6)$$

а на границе $z = h_1(z)$ справедливо равенство

$$\left[\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right] = 0. \quad (7)$$