

**Процессы теплообмена при производстве цементобетонных дорожных покрытий с разогретыми заполнителями**

Акельев В. Д., Сизов В. Д., Золотарева И. М., Кононов Д. А.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В работе рассмотрены возможности применения разогретых заполнителей в производстве цементобетонных дорожных покрытиях. Рассмотрены технологии прогрева бетонных смесей и положительный эффект от этого метода.*

В настоящее время в качестве дорожного полотна стал широко использоваться цементобетон в виде однослойного монолитного покрытия толщиной 240 мм методом сращивания двух слоев тяжелого бетона высокопроизводительными бетоноукладочными комплексами с армированием шва и поперечных швов сжатия.

Толщина нижнего слоя бетона 0,18 м, а верхнего слоя – 0,06 м при морозостойкости F150 и F200 соответственно.

В соответствии с технологическим регламентом [1] в условиях производства работ при строительстве Минской кольцевой автодороги необходимо было укладывать монолитное покрытие из тяжелого бетона методом сращивания двух слоев – бетон нижнего слоя (толщиной 0,18 м) и бетон верхнего слоя (толщиной 0,06 м).

Таким образом в переходный период бетонное покрытие может охлаждаться от начальной температуры 20 °С до 0 °С, а в летнее время бетонное покрытие может разогреваться от температуры 20 °С до 30 °С в облачную погоду, а с учетом солнечной инсоляции температура поверхности может достигать и больших значений.

Для анализа температурных градиентов при указанных тепловых воздействиях необходимо в первую очередь определить время выравнивания температур, в массиве покрытия, учитывая заданные начальные и граничные условия, принимая массив покрытия, как полуограниченное тело или неограниченную пластину.

Для этой цели используем [2], применяя адекватное решение соответствующей задачи.

В первом случае при  $t_{\text{нач}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $t_{\text{к}} = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$  решение принимает следующий вид [2];

параметр температуры:

$$\frac{t-t_0}{\vartheta-t_0} = \frac{Bi \cdot (1-\eta)}{Bi+1} - \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot \text{Sin} \left[ v_n \cdot (1-\eta) \cdot \exp(-v_n^2 \cdot Fo) \right], \quad (1)$$

параметр средней температуры:

$$\frac{t-t_0}{\vartheta-t_0} = \frac{Bi}{2 \cdot (Bi+1)} - \sum_{n=1}^{\infty} Bn \cdot \exp(-v_n^2 \cdot Fo). \quad (2)$$

Для расчета цементобетонного покрытия принимаем следующие теплофизические характеристики материала: коэффициент теплопроводности, коэффициент теплоотдачи, плотность, теплоемкость, толщина слоя покрытия, температуропроводность:

$$a = \frac{\lambda}{\chi \times \rho} = \frac{1,69}{2500 \cdot 0,84} = 0,0029 \text{ м}^2/\text{ч}.$$

Исходные аргументы вычисляются на основании исходных данных и начальных условий.

Критерий  $Fo$ :

$$Fo = \frac{a \cdot \tau}{x^2} \quad \text{для} \quad \tau = 1 \text{ час},$$

$$Fo = \frac{0,0029 \cdot 1}{0,24^2} = 0,05, \quad Bi = \frac{\alpha \cdot x}{\lambda} = \frac{25 \cdot 0,24}{1,69} = 3,55.$$

По полученным результатам вычислений можно построить графические зависимости  $t_n, t = f(\tau)$  (рис. 1):

Во втором случае при  $t_{\text{нач}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $t_{\text{кон}} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$  решение аналогично задаче при охлаждении массива, т.е. можно использовать рассчитанные ранее значения аргументов  $Fo$  и  $Bi$ .

Средняя температура массива:  $\bar{t} = t_0 + \bar{\theta} \cdot (\vartheta - t_0)$ .

По результатам вычислений можно построить график  $t = f(\tau)$  (рис. 2).

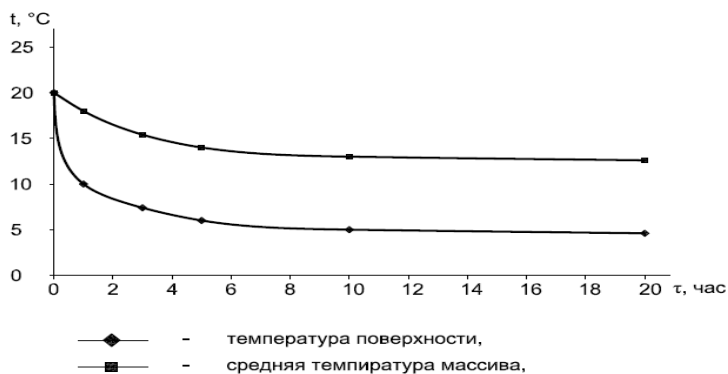


Рис. 1. График зависимости  $t = f(\tau)$  для температуры поверхности и средней температуры массива

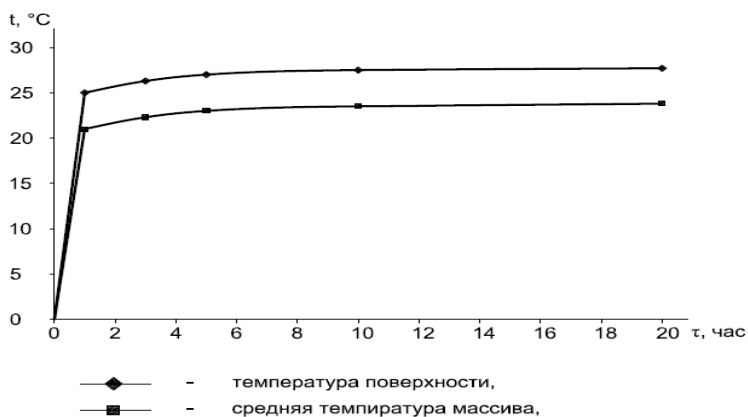


Рис. 2. График зависимости  $t = f(\tau)$  для температуры поверхности и средней температуры массива

В третьем случае при наличии солнечной радиации в летний период с максимальной интенсивностью для г. Минска в июле [3]  $q_r = 662 \text{ Вт/м}^2$  на горизонтальную поверхность расчетные формулы имеют вид: начальные и граничные условия, аргументы

$$t_{\tau=0} = t_0, \quad \left. \frac{\partial t}{\partial x} \right|_{x=\infty} = \theta - \lambda \cdot \left. \frac{\partial t}{\partial x} \right|_{x=0} = S, \quad Fo = \frac{a \cdot \tau}{x^2}.$$

Расчетные формулы:

средняя температура:  $t = t_0 + \theta \cdot \frac{S \cdot x}{\lambda}, \quad \bar{t} = t_0 + \bar{\theta} \cdot \frac{S \cdot x}{\lambda},$

температура поверхности массива определяется по выражению [2]

$$t = t_0 + \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{S \cdot \sqrt{\tau}}{\sqrt{\lambda \cdot c \cdot \rho}}. \quad (3)$$

По полученным расчетным данным можно построить графические зависимости  $t = f(\tau)$  при максимальном  $q_{\text{рад}}$  (рис. 3).

Для анализа температурных градиентов при различных тепловых воздействиях на цементобетонное покрытие было определено время выравнивания температур в массиве при охлаждении и нагреве с использованием известных выражений по расчетным формулам и графикам [2].

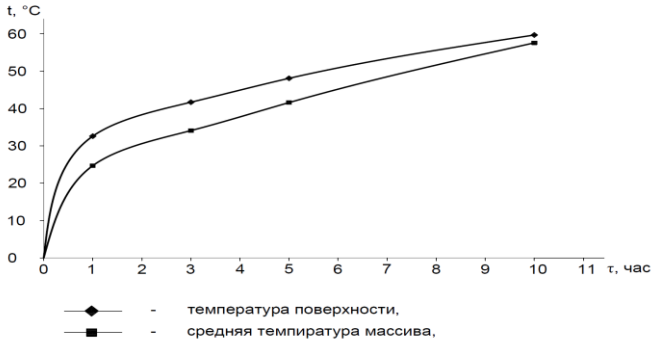


Рис. 3. График зависимости  $t = f(\tau)$  для температуры поверхности и средней температуры массива

Для уточнения полученных значений температур в определяющих точках в различные промежутки времени была разработана компьютерная программа решения указанной задачи охлаждения, уточнены полученные ранее результаты, а также учтено влияние солнечной радиации на температуру поверхности и окружающей среды, т. е. при усредненной наружной

температуре при наиболее неблагоприятных условиях, когда  $t_{нач}$  при охлаждении принимается равной + 40 °С, а при разогреве – 40 °С.

Таблица

Изменение температуры на поверхности массива, в центре массива и на тыльной поверхности массива, а также средней температуры массива

$\tau$ , час	$t_{ср}$ , °С	$t$ , °С		
		поверхность массива	центр массива	тыльная поверхность массива
0	40,0	40,0	40,0	40,0
0,2	36,36	36	39,8	39,92
0,3	39,08	34,8	39,48	39,8
0,5	38,2	32,4	39,2	39,6
1,0	37,0	30	38,4	38,8
2,0	35,2	26,8	36,0	34,8
3,0	33,6	24,8	34,4	30,4
5,0	32,0	22,4	32,4	25,6

По данным приведенной таблицы на рис. 4 представлены графики зависимости соответствующих температур от времени охлаждения массива, изменения средней температуры массива в различных точках.

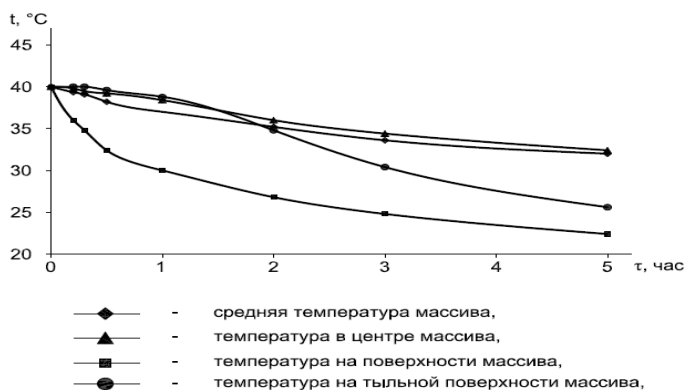


Рис. 4. График зависимости  $t = f(\tau)$  для температур массива

Как известно, одним из видов деформаций цементобетонных покрытий при их эксплуатации является появление трещин при снижении температуры цементобетонных покрытий, т. е. трещиноустойчивость, которая про-

является при возникновении внутренних температурных напряжений в массиве при данных видах воздействий.

Основным критерием, определяющим трещиностойкость, является скорость охлаждения  $\Psi$  – критическая величина которой, например для асфальтобетона, составляет  $1,7\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ , и при ее превышении асфальт начинает разрушаться [4].

Проведенные аналитические исследования и полученные графические зависимости показали, что максимальная скорость охлаждения цементобетонного покрытия (рис. 4) составляет  $20\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{час}$  и осредненные значения по массиву в целом около  $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{час}$ , что несколько превышает критическую скорость охлаждения асфальтобетонного покрытия, но вполне удовлетворяет критическим нормам при нагреве монолитных железобетонных конструкций.

Кроме этого, следует отметить, что наибольшая скорость охлаждения действует только в пределах 1–2 часов, когда бетон еще не схватился и не подвержен трещинообразованию.

### Литература

1. Технологический регламент №20/00.14.11 Устройство цементобетонного покрытия автомобильной дороги методом сращивания двух слоев бетона В35В04.4 комплексом SP 850 Wirtgen. – Минск, 2015.

2. Пехович, А. И. Расчеты теплового режима твердых тел / А. И. Пехович, В. М. Жидких. – Л.: Энергия, 1968. – 304 с.

3. Строительная климатология (Справ. Пособие к СНиП)/ НИИ Строит. Физики. – М.: Стройиздат, 1990. – 86 с.

4. Солдаткин, М. Т. О скорости охлаждения дорожных асфальтобетонных покрытий / М. Т. Солдаткин, Я. И. Ковалев, В. Д. Акельев // Отопление, вентиляция и строительная теплофизика. – Минск, 1971. – Вып.1. – С. 52–56.

УДК 697.7

### **Особенности проектирования, монтажа и эксплуатации солнечных коллекторов с целью получения теплоты для нужд ГВС**

Сермяжко В. Л., Станецкая Ю. А.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В статье рассмотрены основные этапы проектирования и режимы работы солнечных коллекторов.*