

Литература

1. Воропаев, А. Ф. Тепловая депрессия шахтной вентиляции / А. Ф. Воропаев. – Москва: АН СССР, 1950. – 282 с.
2. Михеев, М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев. – М.: Госэнергиздат, 1949. – 396 с.
3. Цодиков, В. Я. Вентиляция и теплоснабжение метрополитенов издание второе, переработанное и дополненное / В. Я. Цодиков. – М.: Недра, 1975. – 568 с.
4. Мачинский В. Д. Теплопередача в строительстве / В. Д. Мачинский. – М.: Госстройиздат, 1938. – 294 с.
5. Франчук, А. У. Таблицы теплотехнических показателей строительных материалов / А. У. Франчук. – М.: Стройиздат, 1949. – 186 с.
6. Ингерсолл Л. Р. Теплопроводность, ее применение в технике и геологии / Л. Р. Ингерсолл, О. Зобель, А. К. Ингерсолл. – М.: Машгиз, 1959. – 260 с.
7. Смухнин, П. Н. Курс отопления и вентиляции / П. Н. Смухнин, Ю. И. Кулжинский, С. И. Пейсахович. – М.: ВИА им. В. В. Куйбышева, 1961. – 542 с.

УДК 697.3.4

Аналитические исследования процесса охлаждения и разогрева цементобетонных покрытий и теплотехническая оценка применения разогретых заполнителей при их укладке

Сизов В. Д., Кононов Д. А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В работе рассмотрены процессы охлаждения и разогрева цементобетонных покрытий. Произведена теплотехническая оценка применения разогретых заполнителей при их укладке.

В соответствии с технологическим регламентом [3] 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) в соответствии с [2].

В переходный период года 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 метод [4], для решения 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 [4]:

1) параметр температуры:

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

где
$$A_n = \frac{2Bi}{\text{Sin } v_n \cdot (v_n^2 + Bi^2 + Bi)}$$
;

2) параметр средней температуры:

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

где
$$Bn = \frac{A_n}{v_n} \cdot (1 - \text{Cos } v_n),$$

3) аргументы:
$$Fo = \frac{\alpha \tau}{h^2}; Bi = \frac{\alpha \cdot h}{\lambda}; \eta = \frac{x}{h}.$$

Для расчета цементобетонного покрытия принимаем следующие теплофизические характеристики материала: коэффициент теплопроводности $\lambda = 1,69 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, коэффициент теплоотдачи $\alpha = 25,0 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$, плотность $\rho = 2500 \text{ кг/м}^3$, теплоемкость $C = 0,84 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$, толщина слоя покрытия $x = 0,24 \text{ м}$, температуропроводность:

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

Исходные аргументы вычисляются на основании исходных данных и начальных условий.

Критерий Fo :
$$Fo = \frac{\alpha \tau}{x^2} \quad \text{для} \quad \tau = 1 \text{ час:}$$

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

По графикам [6] определяем относительную температуру поверхности, и средняя температура массива определяется по соотношению

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

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

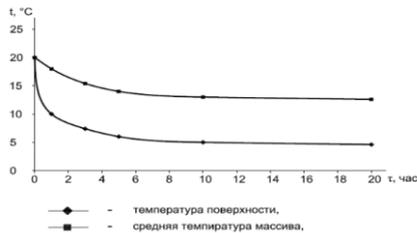


Рис. 1. График зависимости $t = f(\tau)$ для температуры поверхности и средней температуры массива

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 .

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

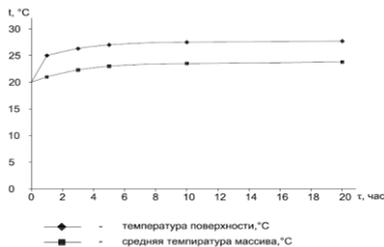


Рис. 2. График зависимости $t = f(\tau)$ для температуры поверхности и средней температуры массива

В третьем случае при наличии солнечной радиации в летний период с максимальной интенсивностью для г. Минска в июле [5] $q_r = 662 \text{ Вт/м}^2$ на горизонтальную поверхность расчетные формулы имеют вид.

Начальные и граничные условия

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

Расчетные формулы: $t = t_0 + \theta \cdot \frac{S \cdot x}{\lambda};$

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

теплофизические характеристики принимаются такие же, как в предыдущих расчетах, температура поверхности массива определяется по выражению [4]

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

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

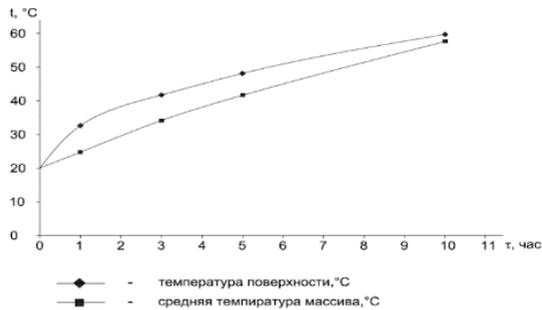


Рис. 3. График зависимости $t = f(\tau)$ для температуры поверхности и средней температуры массива

Полученные графики показывают, что время выравнивания температуры в массиве покрытия составляет примерно 10–20 часов. Для уточнения полученных значений температуры в определяющих точках в различные про-

межутки 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 $t_{\text{нач}}$ при охлаждении принимается равной $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

По данным расчета на рис. 4 представлены графики зависимости соответствующих температур от времени охлаждения массива, изменения средней температуры массива в различных точках. Как известно, одним из видов деформаций цементобетонных покрытий при их эксплуатации является появление трещин при снижении температуры цементобетонных покрытий, т. е. трещиностойчивость, которая проявляется при возникновении внутренних температурных напряжений в массиве при данных видах воздействий. Основным критерием, определяющим трещиностойчивость, является скорость охлаждения Ψ – критическая величина которой, например для асфальтобетона, составляет $1,7\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{ч}$, и при ее превышении асфальт начинает растрескиваться [6].

Расчетную скорость охлаждения дорожных покрытий можно определить по формуле

$$\Psi = \frac{t' - t''}{\tau' - \tau''}, \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{ч}. \quad (3)$$

Для определения скорости охлаждения воспользуемся графиками рис. 4. Скорости охлаждения цементобетонного покрытия $\delta = 0,24\text{ мм}$ с $t_{\text{нач}} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $t_{\text{кон}} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

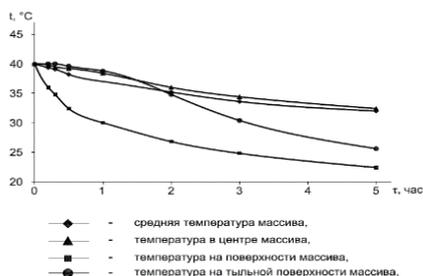


Рис. 4. График зависимости $t = f(\tau)$ для температур массива

По полученным результатам построены зависимости скорости охлаждения в различных точках и при средней температуре массива, которые представлены на рис. 5.

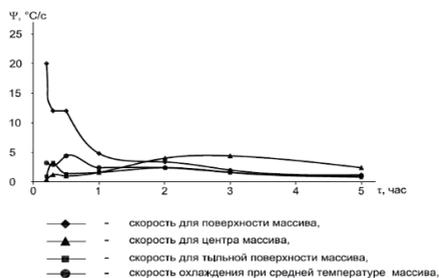


Рис. 5. График зависимости $\Psi = f(\tau)$ для скоростей охлаждения массива в различных точках и при средней температуре массива

Результаты расчетов и графики показывают, что максимальная скорость охлаждения цементобетонного покрытия составляет 20 °C/час и осредненные значения по массиву в целом около 2,0 °C/час, что несколько превышает критическую скорость охлаждения асфальтобетонного покрытия, но вполне удовлетворяет критическим нормам при нагреве монолитных железобетонных конструкций, принимаемых равными $\approx 15\text{--}8$ °C/час [1].

Литература

1. Марцинкевич, В. Л. Энергосберегающие технологии производства бетона / В. Л. Марцинкевич, А. С. Дыдышко. — Изд. 2-е, доп. и перераб. — Минск, 2006. — 283 с.
2. ТКП 45-3.03-88-2007(02250) Автомобильные дороги. Цементобетонные основания и покрытия.
3. Технологический регламент № 20/00.14.11 Устройство цементобетонного покрытия автомобильной дороги методом сращивания двух слоев бетона В35В04.4 комплексом SP 850 Wirtgen. Минск, 2015.
4. Пехович, А. И. Расчеты теплового режима твердых тел // А. И. Пехович, В. М. Жидких // Л.: Энергия, 1968. — 304 с.
5. Строительная климатология (Справ. Пособие к СНиП) / НИИ Строит. Физики. — М.: Стройиздат, 1990. — 86 с.
6. Солдаткин, М. Т. О скорости охлаждения дорожных асфальтобетонных покрытий / М. Т. Солдаткин, Я. И. Ковалев, В. Д. Акельев // В сб.: Отопление, вентиляция и строительная теплофизика. Вып.1. — Минск, 1971. — С. 52–56.