

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ТЕМПЕРАТУР В ДОРОЖНЫХ БЕТОННЫХ ПОКРЫТИЯХ

DEFINATION OF CALCULATED TEMPERATURES IN ROAD CONCRETE PAVEMENS

Изилдөөлөрдүн жыйынтыгында абанын, жолго пайдаланылуучу материалдардын ар кыл жылуулук физикалык мүнөздөмөлөрүндөгү температуралык талааны жана анын градиенттерин кабыл алынган физикалык математикалык моделдерге ылайык бааштапкы жана чектик шарттардагы эсептеп чыгуу үчүн программа иштелип чыкты. Чектеген тегиздиктин координаттары ортогоналдык системадагы координатка салыштырганда чексиз чоң болгон учурда жол төшөлгөсүнүн бетон каптамасы жарым-жартылай чектелген нерсе катары каралат.

Ачык сөздөр: бетон каптама, температура талаасы, температура градиенти, жылуулук- физикалык мүнөздөмө.

На основе выполненных исследований разработано программное обеспечение для расчета температурных полей и их градиентов при различных теплофизических характеристиках воздуха, дорожных материалов, начальных и граничных условиях в соответствии с принятой физико-математической моделью. Бетонное покрытие дорожной одежды рассматривается как полуграниченное тело, когда координаты ограничивающих плоскостей бесконечно велики по сравнению с координатой в ортогональной системе.

Ключевые слова: бетонное покрытие, температурное поле, градиент температуры, теплофизическая характеристика.

On the basis of the executed researches the software is developed for calculation of temperature distributon and their gradients at various termophysical characteristics of air, road materials, entry and boundary conditions according to the accepted physical and mathematical model. The concrete pavement of road clothes is considered as a semi-limited body when coordinates of the boundiry planes are infinitely great in comparison with coordinate in orthogonal system.

Keywords: concrete pavement, temperature distribution, temperature gradient, thermophysical characteristic.

Известно, что дорожные бетонные покрытия непрерывно претерпевают изменения в процессе тепло - и массопереноса, вызывающие соответствующие деформации. Вследствие неравномерного распределения деформаций по объему дорожных одежд развиваются соответственные напряжения.

Эти явления часто способствуют появлению температурных трещин. Температурные деформации бетона включают свободные температурные деформации, пропорциональные изменению температуры, и так называемые напряженные деформации, вызываемые температурными перепадами.

В бетоне даже при равномерном изменении температур неизбежно возникают температурные напряжения. Это обуславливается различием в величинах коэффициентов температурного расширения материалов, составляющих бетон (α). Где α — это свободная относительная деформация бетонных покрытий при равномерном изменении его температуры на один градус.

Таблица 1 — Коэффициент линейного расширения некоторых каменных материалов

Материал	$\alpha \cdot 10^6 \text{ град}^{-1}$
Кварц, \perp оси кристалла	13,3
Песчаник	12,4
Сланцы	10,1
Известняк	9,1
Гранит	8,1
Кварц, оси кристалла	7,9
Кирпич	4,5

Для расчета температурных напряжений и деформаций покрытий в первую очередь необходимо иметь данные о величине свободных температурных деформаций, их величины характеризуются коэффициентами линейного температурного расширения бетона.

При этом поведение бетона под нагрузкой не соответствует идеализированной схеме упругого тела. Даже при неизменных во времени нагрузках деформации дорожных покрытий продолжают развиваться, т.е. «ползти» с течением времени, а напряжения, при известных условиях, могут уменьшаться (релаксировать). Ползучесть и связанная с ней способность к релаксации напряжений — свойства дорожного бетона, которые должны учитываться при рассмотрении длительных воздействий на него нагрузки, изменений температуры, диффузионной и капельной влаги. При этом, бетон обладает еще способностью «стареть», т.е. изменять во времени характеристики физико-механических свойств: прочность, модули упругих продольных деформаций и сдвига, коэффициент поперечной деформации и т.д.

Работы Аневия, З.Н. Цилосани и др. показали, что ползучесть дорожного бетона может играть как положительную, так и отрицательную роль в дорожных покрытиях. Она приводит к значительному снижению величин напряжений в бетоне, вызываемых вынужденными деформациями (температурных, усадочных и т.п.), и иногда к перераспределению напряжений.

Из теории теплопроводности известно, что температура бетонных покрытий, зависит от координат, времени и теплофизических характеристик материала.

При анализе температурных полей бетонных покрытий дорожную одежду следует рассматривать как полуограниченное тело, когда координаты ограничивающих плоскость бесконечно велики по сравнению с координатой в ортогональной системе [1,2].

Относительная температура равна:

$$\frac{t(x, \tau) - t(0, \tau)}{t(x, 0) - t(0, \tau)} = 1 - \operatorname{erfc} \frac{1}{2\sqrt{F_0}} = \operatorname{erf} \frac{1}{2\sqrt{F_0}}, \quad (1)$$

где $F_{0x} = \frac{a\tau}{x^2}$, $t(x, 0)$ — температура в плоскости на расстоянии x от поверхности дорожных одежд в момент времени τ ; $t(0, \tau)$ — температура поверхности дорожных одежд; $t(x, \tau)$ — температура в плоскости на расстоянии x от поверхности дорожных одежд в начальный момент времени.

Градиент температуры на поверхности:

$$\frac{\partial t}{\partial x} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{t(x,0) - t(0,\tau)}{\sqrt{a\tau}} \quad (2)$$

Количество теплоты, поступившее в дорожную одежду за время $\tau_1 \div \tau_2$:

$$Q = 2B \cdot L \sqrt{\frac{\lambda C \rho}{\pi}} [t(0,\tau) - t(x,0)] (\sqrt{\tau_2} - \sqrt{\tau_1}) \quad (3)$$

где B — ширина покрытия, L — длина покрытия.

Скорость повышения температуры:

$$\frac{\partial t}{\partial x} = \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot F_{0,x}}} \exp\left(-\frac{1}{4F_{0,x}}\right) \cdot \frac{t(0,\tau) - t(x,0)}{2\tau} \quad (4)$$

$$G = \frac{1}{\sqrt{\pi F_0}} \exp\left(-\frac{1}{4F_{0,x}}\right) \quad \text{— параметр градиента температуры,}$$

где a — коэффициент температуропроводности, м²/с, м²/ч.

Для больших значений x интеграл или функция ошибок Гаусса равен

$$\operatorname{erfc}x = \left(\frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp[-x^2] \cdot \frac{1}{x} - \frac{1}{2 \cdot x^3} + \frac{1 \cdot 3}{2^2 \cdot x^5} - \frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2^2 \cdot x^7} + \dots \right) \quad (5)$$

$$\operatorname{erfc}x = 1 - \operatorname{erf}x \quad (6)$$

При отрицательном аргументе $\operatorname{erfc}x = -\operatorname{erf}x$,

$$\operatorname{erfc}(-x) = 2 - \operatorname{erfc}(x) \quad (7)$$

$$\operatorname{erf}\infty = 1 \quad , \quad \operatorname{erfc}\infty = 0 \quad .$$

Для малых значений x функция ошибок Гаусса находится из выражения

$$\frac{\sqrt{\pi}}{2} \operatorname{erf}(x) = \frac{x}{1} - \frac{x^3}{1!3} + \frac{x^5}{2!5} - \dots \quad (8)$$

$$\operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{a\tau}}\right) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{x}{2\sqrt{a\tau}}} \exp\left(-\frac{x^2}{4a\tau}\right) d\left(\frac{x}{2\sqrt{a\tau}}\right) \quad (9)$$

где $t(x,\tau)$ — температура в любой момент времени (τ) на расстоянии x от поверхности бетонного покрытия; $t(0,\tau)$ — температура поверхности покрытия в любой момент

времени, °С; $t(x,0)$ — температура на расстоянии x от поверхности покрытия в начальный момент времени, °С.

В результате исследования разработано программное обеспечение для расчета температурных полей дорожных покрытий и их градиентов, позволяющие рассчитать численные значения температур покрытий при различных теплофизических характеристиках воздуха, дорожных материалов, начальных и граничных условий в соответствии с принятой физико-математической моделью.

Список литературы

1. Лыков А.В. Теория теплопроводности [Текст]: учеб. пос. для теплотехн. специальностей ВУЗов / А.В. Лыков. – М.: Высш. шк., 1967. – 600 с.

2. Тепло- и массообмен [Текст]: учеб. пособие для студентов учреждений, обеспечивающих получение высш. образования по строит., энергет. и машиностроит. специальностям : в 2 ч. / Б.М. Хрусталева, А.П. Несенчук, В.И. Тимошпольский, В.Д. Акельев, В.А. Седнин, В.М. Копко, А.В. Нерезько. – Минск : Беларус. нац. техн. ун-т, 2007. – Ч. 1. – 606 с.

3. Пшембаев М.К. Расчет полей температур и их градиентов в дорожных бетонных покрытиях [Текст] / М.К. Пшембаев, Я.Н. Ковалев, В.Д. Акельев. – Мн.: Энергетика, 2015. Т.4 – с. 54-63.