



УДК 691.33

Гришин И.В. – аспирант

E-mail: il6357@yandex.ru

Каюмов Р.А. – доктор физико-математических наук, профессор

E-mail: kayumov@rambler.ru

Иванов Г.П. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: ivanovGPI@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

К определению температурного поля в покрытии металлического моста с ортотропной плитой

Аннотация

В статье представлен анализ формы и изменения температурного поля в принятом типе покрытия металлического моста с ортотропной плитой, путём создания численной модели. Была сделана попытка выявить зависимость изменения температуры в покрытии от условий изменения окружающей среды и получить путём регрессии функцию, описывающую эту температурную кривую, для её применения в дальнейшем при определении НДС.

Ключевые слова: температурные условия, асфальтобетонные покрытия, численное моделирование, температурная кривая.

О необходимости и возможности применения конечно-элементной модели

Известно, что в асфальтобетонных покрытиях мостов появляются температурные напряжения, что отражено в работах [1, 2, 3]. Эти напряжения являются, во-первых, следствием разности коэффициентов температурного расширения-сжатия материалов пролётного строения и асфальтобетона, а, во-вторых, следствием неравномерности температурного поля по толщине покрытия. Вклад обоих факторов необходимо определить, таким образом появляется задача определения формы температурного поля в покрытии. Ниже будет рассмотрено решение этой задачи для металлических мостов с ортотропной плитой. В этом случае конструкцию можно рассматривать как бесконечную многослойную плиту, а определение формы температурного поля сводится к решению системы известных уравнений теплопроводности, что в случае аналитического решения сопряжено с большими математическими трудностями. Исходя из этого, мы приходим к необходимости численного решения, которое, в частности, можно получить в программном комплексе ANSYS 12.0. Для апробации модели была создана плоская двухмерная модель (учитывающая толщину и длину выбранного участка) однослойной асфальтобетонной плиты. Такая модель позволяет предварительно рассмотреть характер изменения температуры, проверить сходимость численного решения с аналитическим. Модель создавалась путём твердотельного моделирования. Толщина асфальтобетонной плиты была выбрана равной 0,1 м. Участок плиты был выбран также длиной 0,1 м. Параметры материала использовались следующие: теплоёмкость $c = 1670 \frac{Дж}{кг \cdot ^\circ C}$, коэффициент теплопроводности $\lambda = 1,05 \frac{Вт}{м \cdot ^\circ C}$, удельная масса $\rho = 2120 \frac{кг}{м^3}$, коэффициент теплоотдачи $\alpha = 34 \frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}$. Использовался плоский 4-х узловой элемент PLANE55 (Quad 4node 55), имеющий в качестве степеней свободы в узлах температуру (TEMP). Начальные и граничные условия были следующими: начальная температура одинакова во всей плите и равна 2 °С; постоянные (stepped load) граничные условия с температурой -8 °С. Конвективная температурная нагрузка на узлы модели прикладывалась к двум параллельным сторонам плиты, соответствующим её свободным поверхностям, и моделировала теплопроводность, происходящую по закону Ньютона-Рихмана, т.е. через коэффициент теплоотдачи. Использовалась сетка 10x10 элементов (сторона элемента 0,01 м) и сетка в два раза мельче – 20x20 элементов (сторона элемента 0,005 м) и было выявлено, что в указанных пределах крупность сетки существенного влияния не оказывает. Полученное численное решение сравнивалось с аналитическим решением при таких же граничных условиях.

Аналитическое решение для однослойной плиты получается из решения уравнения теплопроводности в предположении независимости теплофизических характеристик асфальтобетона от температуры и координат:

$$\frac{\partial T(x, \tau)}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T(x, \tau)}{\partial x^2},$$

где $T(x, \tau)$ – температурная функция, при x , изменяющемся в промежутке $[-R; R]$;

$R = 0,05$ м – расстояние от середины до края плиты;

$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}$ – коэффициент температуропроводности, равный $3 \cdot 10^{-7} \frac{м^2}{с}$.

$T(x, 0) = T_0 = 2$ °С – начальное условие.

$-\lambda \frac{\partial T(R, \tau)}{\partial x} + \alpha [T_c - T(R, \tau)] = 0$ и $\lambda \frac{\partial T(-R, \tau)}{\partial x} + \alpha [T_c - T(-R, \tau)] = 0$ – краевые условия, где $T_c = -8$ °С – температура окружающей среды, постоянная во времени.

Данное уравнение может быть решено методом Фурье. Решение согласно [4] имеет вид:

$$T(x, \tau) = T_c - (T_c - T_0) \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \sin \mu_n}{\mu_n + \sin \mu_n \cos \mu_n} \cos\left(\mu_n \frac{x}{R}\right) \exp\left(-\mu_n^2 \frac{a\tau}{R^2}\right),$$

где μ_n – коэффициент, являющийся решением уравнения $ctg \mu_n = \frac{1}{Bi} \mu_n$, принимающий бесчисленное множество значений. Для каждого члена ряда используется своё значение μ_n .

$$Bi = \frac{\alpha}{\lambda} R \text{ – критерий Био, равный } 1,62.$$

Было использовано 6 членов в ряде и 6 соответствующих им значений μ_n , взятых из [4] для данного значения Bi :

Таблица 1

μ_1	μ_2	μ_3	μ_4	μ_5	μ_6
0,9882	3,5422	6,5097	9,5801	12,6841	15,8026

В табл. 2 показаны результаты численного и аналитического решений. Предполагается, что начало координат находится в середине плиты, а ось x направлена по нормали к плоскости свободной поверхности. Можно видеть, что в начальный момент времени (0 секунд), в середине плиты ($x = 0$ м) сходимость решения не очень хорошая. Однако это характерно только для сходимости к начальным условиям, и со временем сходимость улучшается, а исходя из результатов, представленных в табл. 2, не превышает 0,3 °С. В условиях решаемой задачи по определению напряжённо-деформированного состояния мостового полотна первоначально можно допустить максимальную разность результатов (точность решения) 1-1,5 °С, не опасаясь появления серьёзных ошибок в решении.

Выбор параметров для построения модели в ANSYS

На основе вышеописанных результатов в программном комплексе ANSYS 12.0 была построена модель конструкции мостового полотна металлического моста с ортотропной плитой. При этом была выбрана следующая конструкция мостового полотна: двухслойный асфальтобетон общей толщиной 0,1 м; защитно-сцепляющий слой толщиной 0,005 м из изопласта или мостопласта; металлический настил толщиной 0,01 м.

Предполагалось, что эта конструкция соответствует указанной в табл. 1 (1 пункт) [5]. Влияние рёбер жесткости не учитывалось. Для данных материалов принимались следующие физико-механические характеристики (Real constants):

- Асфальтобетон: теплоёмкость – $c = 1,67 \cdot 10^3 \frac{Дж}{кг \cdot ^\circ C}$; коэффициент теплопроводности – $\lambda = 1,05 \frac{Вт}{м \cdot ^\circ C}$; коэффициент теплоотдачи – $\alpha = 34 \frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}$; удельная масса – $\rho = 2120 \text{ кг}/м^3$.

- Защитно-сцепляющий слой (при назначении характеристик защитно-сцепляющего слоя предполагалось, что основным компонентом мостопласта и изопласта является битум, поэтому влияние других присутствующих в этом слое материалов не учитывалось и характеристики принимались равными характеристикам битума): $c = 1,9 \cdot 10^3 \frac{Дж}{кг \cdot ^\circ C}$, $\lambda = 0,5 \frac{Вт}{м \cdot ^\circ C}$, $\rho = 1000 \text{ кг}/м^3$.

Таблица 2

Координата по x, м	Ansys	Аналитическое	Ansys	Аналитическое	Ansys	Аналитическое	Ansys	Аналитическое	Ansys	Аналитическое
Момент времени, с	0	0	300	300	1000	1000	1650	1650	10000	10000
0	2	1,952	1,995	1,999	1,785	1,812	1,306	1,318	-4,544	
0,01	2	2,047	1,987	1,997	1,693	1,714	1,162	1,172	-4,615	-4,563
0,02	2	1,958	1,943	1,967	1,376	1,382	0,712	0,722	-4,825	-4,476
0,03	2	2,028	1,768	1,785	0,723	0,718	-0,082	-0,056	-5,165	-5,093
0,04	2	2,022	1,167	1,099	-0,404	-0,382	-1,251	-1,18	-5,621	-5,535
0,05	2	1,453	-0,491	-0,563	-2,082	-1,967	-2,789	-2,637	-6,174	-6,072
			Разница результатов	Разница результатов	Разница результатов	Разница результатов				
			-0,00418	-0,02662	-0,01202	-0,04904				
			-0,01008	-0,02981	-0,01055	-0,0519				
			-0,02382	-0,0061	-0,01041	-0,34857				
			-0,0171	0,004502	-0,02585	-0,07145				
			0,06752	-0,02247	-0,07112	-0,08561				
			0,071135	-0,11544	-0,15178	-0,10235				

- Металлический настил ортотропной плиты: $c = 0,48 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$, $\lambda = 58 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}$, $\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$.

Была выбрана сетка следующей крупности: асфальтобетон 20x20 элементов, защитно-сцепляющий слой 2x20 элементов, металлический настил 2x20 элементов (рис. 1). Цифрами на рис. 1 обозначены некоторые из узлов (nodes). Поскольку температура изменяется по толщине нелинейно, то степень этой нелинейности определяется разностью температуры на краю слоя асфальтобетона в точке 2 и некоторой внутренней точке (точке экстремума температуры). В результате проверки было выяснено, что такой точкой является точка 13, т.к. она даёт наибольшее значение разности температур, что будет показано ниже более подробно.

Об охлаждении плиты после укладки асфальтобетона

Предполагалось, что использовался горячий асфальтобетон, который, как известно, укладывается при температуре 140-180 °С [6], рекомендуемая температура уплотнения для смеси типа Б может быть принята равной 120 °С [7]. Поскольку во время и после уплотнения покрытие остывает неравномерно, первоначально проверялось, не сохраняется ли данная неравномерность во времени. Для этого рассматривалась следующая модель загрузки:

- начальная температура многослойной плиты предполагалась равномерной по всей толщине и равной температуре уплотнения асфальтобетона 120°С;

- температура окружающей среды предполагалась переменной во времени и, по данным наблюдений изменения температуры воздуха в г. Казани, взятым в Росгидрометцентре, принималась через каждые 3 часа, т.к. горячий асфальтобетон укладывается при температуре воздуха не ниже +5 °С, был выбран отрезок времени, начиная с 1.06.06 в 12:00 и заканчивая 2.06.06 в 15:00 (июнь месяц 2006 года). Изменение температуры на данном промежутке показано в таблице 3. Изменение температуры в ANSYS 12.0 задавалось с помощью таблицы (нагрузка задавалась с помощью вкладки Existing table, таблица задавалась как Array parameter). Такое задание нагрузки позволяет при наличии данных о её изменении задавать это изменение проходящим по любому

закону. Время в конце шага нагружения (time at the end of load step) задавалось равным 97200 с. Шаг приращения (time step size) был принят равным 150 с.

График изменения разности температур в точках 13 и 2 показан на рис. 2. По оси абсцисс откладывается время в секундах. По оси ординат откладывается разность температур в °С.

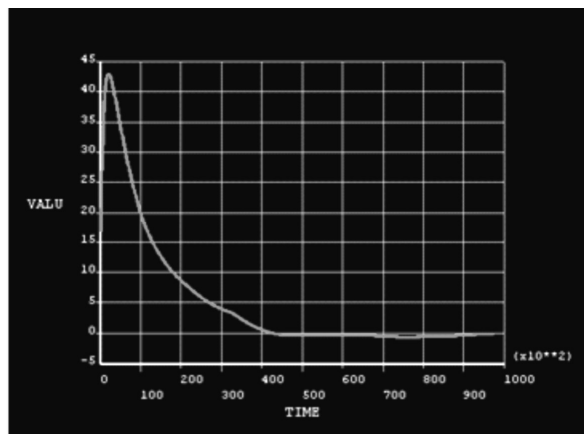
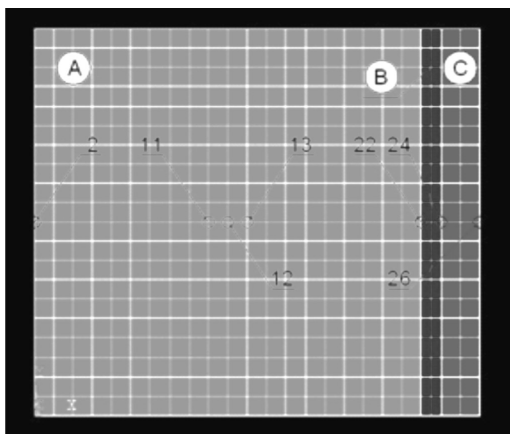


Рис. 1. Конечно-элементная модель:

- A – асфальтобетон;
- B – защитно-сцепляющий слой;
- C – металлический настил

Рис. 2. График изменения разности температур

Таблица 3

Число наблюдений	1.06.06	1.06.06	1.06.06	1.06.06	1.06.06	2.06.06	2.06.06	2.06.06	2.06.06	2.06.06
Час наблюдений, часы	12	15	18	21	24	3	6	9	12	15
Температура, °С	20,4	22,4	16,5	13,9	17,8	18,6	19,1	20,8	21,6	21,4

В таблицах 4 и 5 показаны значения разности температур в некоторые моменты времени. Момент времени 0 с соответствует начальной точке температурных данных, т.е. 1.06.06 в 12:00, а момент времени 97200 с – точке 2.06.06 в 15:00. Можно видеть, что разность температур растёт от 0 °С и в момент времени 1950 с достигает своего максимума в 42,9 °С, но затем уменьшается и к моменту времени 42600 с практически выравнивается по толщине слоя асфальтобетона. В дальнейшем при данных температурных условиях и принятой выше точности измерений остаётся равномерно распределённой по всей толщине.

Таблица 4

Время наблюдения, с	0	1950	10800	21600	32400	42600
Значение разности температур, °С	0	42,9	18,23	7,73	3,38	0,00049

Таблица 5

Время наблюдения, с	43200	54000	64800	75600	86400	97200
Значение разности температур, °С	-0,11	-0,33	-0,27	-0,63	-0,47	-0,098

О характере изменения температуры окружающей среды

При снижении температуры увеличивается прочность асфальтобетона, но снижаются способность к релаксации и предельная растяжимость. Это приводит к увеличению хрупкости покрытия. В частности, в [7] указывается мнение проф. А.М. Богуславского о том, что образование трещин в покрытиях автомобильных дорог происходит, когда скорость перепада температуры достигает величины 1,3 °С в 1 час. Всё это показывает зависимость напряжённо-деформированного состояния как от

температуры, так и от скорости её изменения. Ниже приведены графики скоростей изменения температуры окружающей среды через каждые 3 часа в течение одного зимнего и осеннего месяцев за 2006-2008 гг. (рис. 3-5). Скорости на графиках принимают отрицательные значения в случае охлаждения и положительные – в случае нагревания.

Из графиков видно, что в каждом месяце скорость изменения температуры достигает значений, превышающих вышеназванное значение 1,3 °С. Максимальная из представленных скоростей охлаждения наблюдается зимой (рис. 5) и составляет -15,9 °С в 3 часа (5,3 °С в 1 час), при этом температура изменяется с -0,9 °С до -16,8 °С. В другом примере (рис. 4) при скорости охлаждения -11,2 °С в 3 часа (-3,7 °С в 1 час) температура изменяется с -5,8 °С до -17 °С. В такие моменты можно ожидать появления трещин, что, вообще говоря, в случае покрытий мостов требует доказательства и подтверждения на расчетной модели.

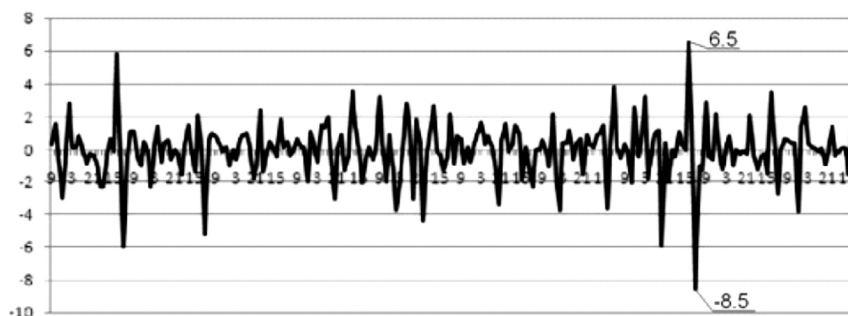


Рис. 3. Ноябрь 2008 г.

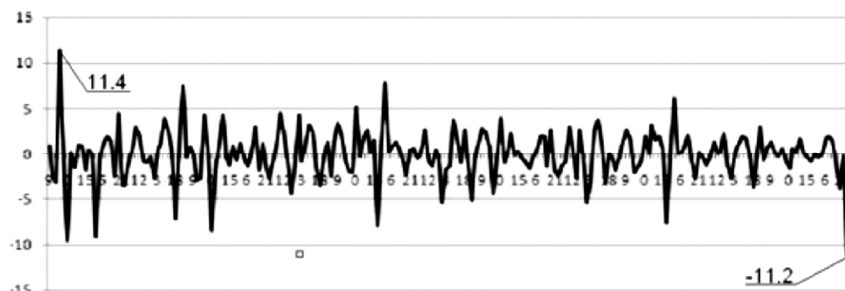


Рис. 4. Февраль 2006 г.

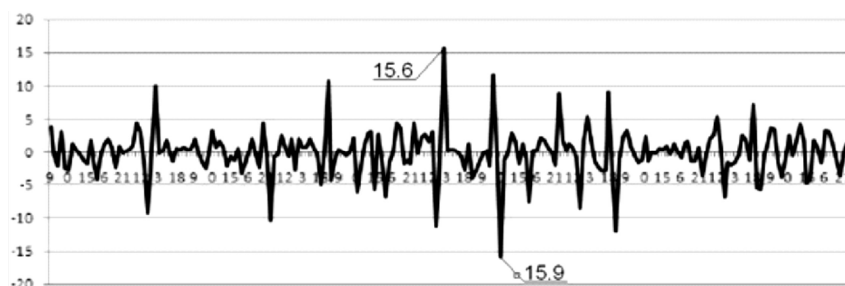


Рис. 5. Февраль 2007 г.

О форме температурной кривой

Далее после того, как было выяснено, что неравномерность распределения температуры не сохраняется во времени, проводилось исследование характера изменения температурного поля по толщине в зависимости от температуры окружающей среды. Для этого была выбрана следующая схема нагружения трёхслойной плиты:

- использовалась та же модель плиты;
- начальная температура была выбрана равной 120 °С (т.е. рассматривалось изменение температуры, начиная с момента завершения уплотнения асфальтобетона);

- в качестве температурной нагрузки был выбран период изменения температуры окружающей среды (рис. 6) через каждые 3 часа, начиная с 1.06.06 в 12:00 и до 7.06.06 в 18:00 (данный промежуток времени включает 540000 с наблюдений за температурой, и содержит 51 значение температуры). Предполагалось, что такого количества данных будет достаточно для того, чтобы отследить, как изменится температура в плите. Время в конце шага нагружения (time at the end of load step) задавалось равным 540000 с. Шаг приращения (time step size) был принят равным 600 с.

Ниже в качестве примера на рис. 7-10 представлены температурные кривые в некоторые моменты времени, где цифрами 2, 22, 26 обозначены узлы конечно-элементной модели (рис. 1).

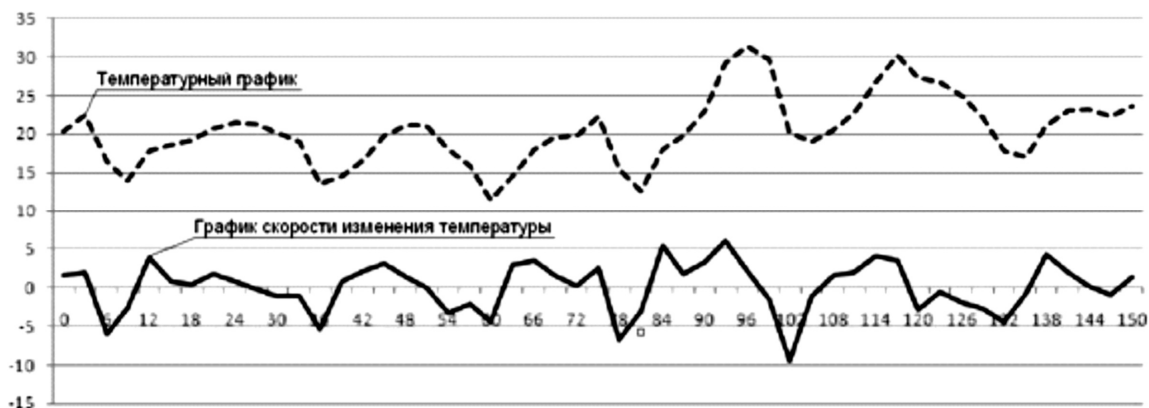


Рис. 6.

На рис. 7, 8 параметром T – обозначен момент времени, в который рассматривается температурная кривая. Анализируя форму этих температурных кривых, можно видеть, что все они имеют форму, близкую к квадратной параболе. Различается только кривизна её ветвей, что в дальнейшем будет считаться несущественным фактором влияния на НДС. В случае, когда перепад температур в плите становится малым, можно считать, что эта парабола переходит в прямую, нормальную к границе плиты. На всех кривых можно видеть, что точка экстремума температуры смещена от середины слоя асфальтобетона в сторону металлического настила, имеющего большую теплопроводность. Из сравнения наибольших перепадов температур в слое асфальтобетона при шаге нагружения 97200 с и шаге приращения 150 с, представленных в таблице 2, со значениями при шаге нагружения 540000 с и шаге приращения 600 с, представленных на рис. 7, 8, можно сделать вывод, что получаемые численные решения не зависят от шагов нагружения и приращения. А после сравнения температур в узлах 2 и 26 в моменты времени, когда уже произошло остывание плиты, можно принять, что температура в этих узлах одинакова.

Для выяснения, в каких случаях температурная кривая представляется в виде параболы, а в каких случаях в виде прямой, введём два обозначения: DT – разность температур в узлах 13 и 2; VT – скорость изменения температуры.

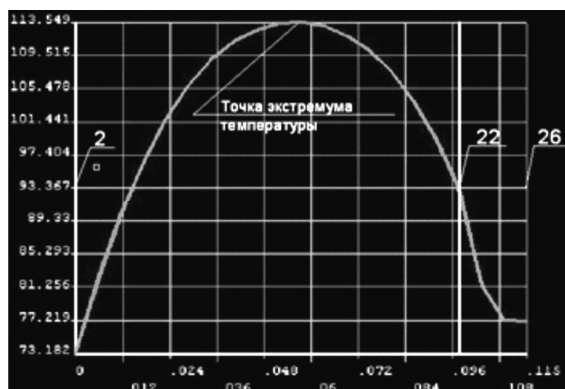
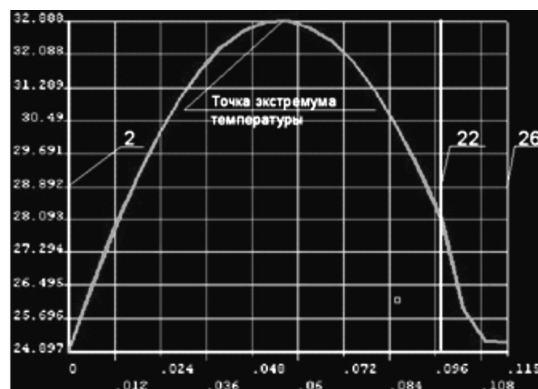
Ниже на рис. 9 построен график изменения DT и VT в заданный выше промежуток времени. Данный график служит иллюстрацией факта, что чем быстрее изменяется температура окружающей среды, тем больше будет перепад температуры внутри плиты. На рис. 10 приведена точечная диаграмма DT в зависимости от VT . При этом были взяты абсолютные значения DT и VT . В этой диаграмме можно увидеть некоторую зависимость между этими двумя величинами. С помощью функции линейной регрессии (linfit) в программном комплексе MathCAD 14.0 был получен коэффициент регрессии, в представлении данной зависимости в виде наклонной линии, проходящей через начало координат.

В результате зависимость имеет следующий вид:

$$DT = 0,34VT. \quad (1)$$

В качестве критерия оценки соответствия линии, полученной в результате регрессии, первоначальным данным использовался коэффициент корреляции Пирсона. В данном случае он составил $corr = 0,872$.

Ниже на рис. 12 приведён график изменения температуры окружающей среды (обозначим T), температуры плиты в узле 2 (T_2) и скорости изменения температуры.

Рис. 7. $T=1800$ сРис. 8. $T=21600$ с

Этот график также является иллюстрацией того, что температура поверхности плиты (T_2) не сразу принимает значения, равные температуре окружающей среды (T). И чем больше скорость изменения температуры VT , тем сильнее отставание T_2 от T . Отставание же температуры в узле 13 очевидно будет ещё больше.

Это отражается на том, что при высоких скоростях VT перепады температур внутри плиты будут меньше перепадов температуры воздуха. Когда же скорость VT мала, то перепады температур будут примерно равны, и согласно (1) температура в плите будет распределена равномерно. На рис. 13 приведены графики величины RT (равной разности температуры в узле 2 и температуры воздуха) и величины VT .

Из схожести графиков величин VT и RT можно предположить, что между ними имеется зависимость. На рис. 11 в виде кружков показаны величины RT (откладывается по оси ординат), в зависимости от величин VT (откладывается по оси абсцисс). Коэффициент регрессии был также получен с помощью программного комплекса MathCAD 14.0, в результате зависимость можно представить в следующем виде:

$$RT = 0,5VT. \quad (2)$$

Коэффициент корреляции Пирсона в этом случае имеет значение $corr = 0,85$. Основываясь на вышеописанные данные, можно описать температурную кривую внутри слоя асфальтобетона в виде функции вида $ax^2 + bx + c$, принимающей в узлах 2, 13, 22 значения, равные температуре в этих точках, т.е. задать параболу так, чтобы она проходила через заданные три точки.

При этом вершина параболы будет на уровне узла 13. А температурную кривую в защитно-сцепляющем слое и металлическом настиле можно описать в виде прямой линии вида $dx + m$. Коэффициенты a, b, c, d, m – определяются через функцию линейной регрессии MathCAD и зависят от величины DT , определяемой уравнением (1).

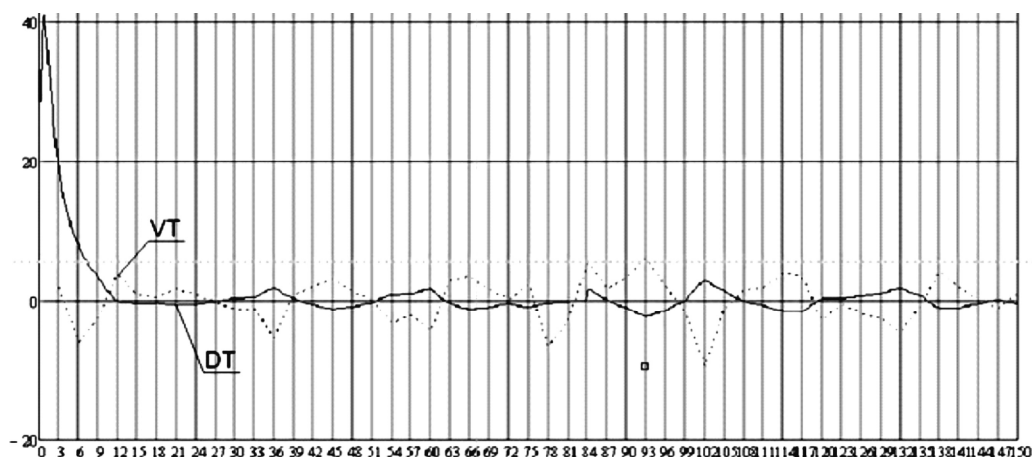


Рис. 9. График изменения DT и VT по времени

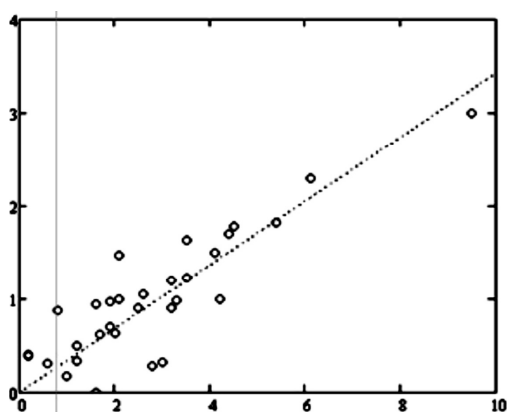


Рис. 10

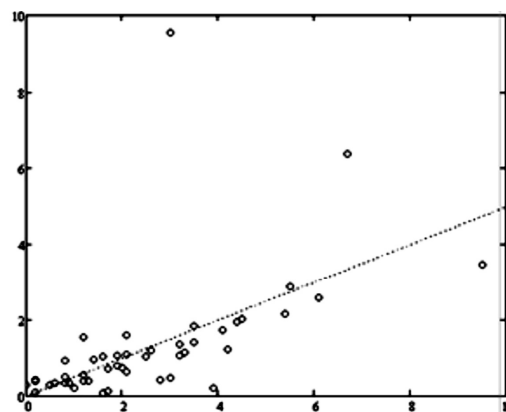


Рис. 11

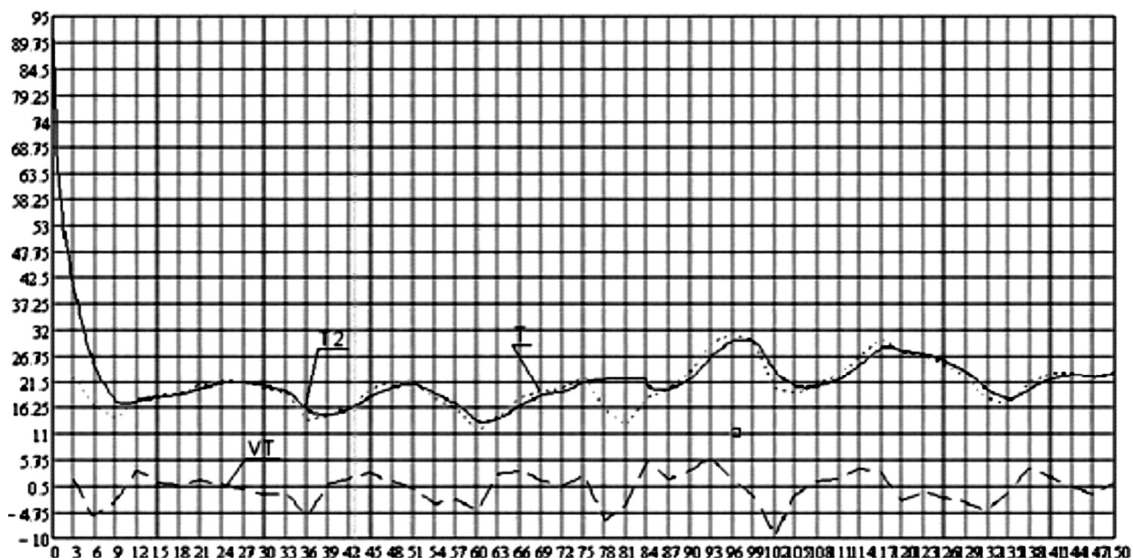


Рис. 12

При выполнении регрессии температурных данных были сделаны следующие предположения: начало осей координат расположено в центре слоя асфальтобетона; выбираются оси x и T , как показано на рис. 14; температуры в узле 26 равна температуре в узле 2 (рис. 1).

В результате были получены следующие функции:

- Функция, описывающая температуру в слое асфальтобетона:

$$T(x) = (T_0 - RT) + y, \tag{3}$$

где

$$y = 320,34DT \cdot x^2 - 3,77DT \cdot x - DT$$

T_0 – температура окружающей среды.

При скорости изменения температуры, стремящейся к нулю, значения DT и RT также будут стремиться к нулю и $T(x)$ будет стремиться к прямой линии.

- Функция, описывающая температурное поле в защитно-сцепляющем слое и металлическом настиле:

$$T_1(x) = T(-0,05) + k(0,065 - x), \tag{4}$$

где

$$k = \frac{T(0,05) - T(-0,05)}{0,015}.$$

$T(0,05)$ и $T(-0,05)$ – значения функции $T(x)$ в узлах 22 и 2;

Таким образом, для данной конструкции мостового полотна, с данными толщинами слоёв и теплофизическими характеристиками, можно определить вид температурной кривой внутри любого слоя в виде (3) и (4).

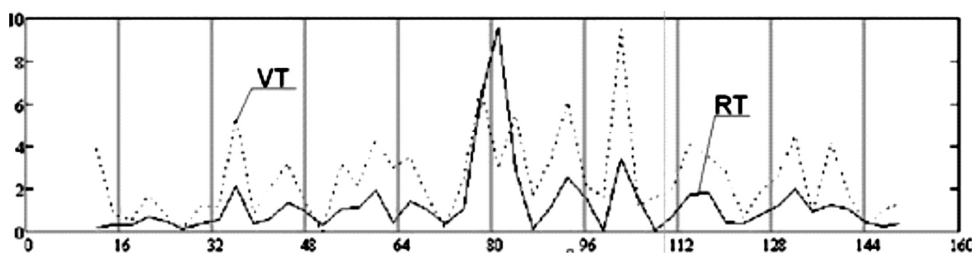


Рис. 13

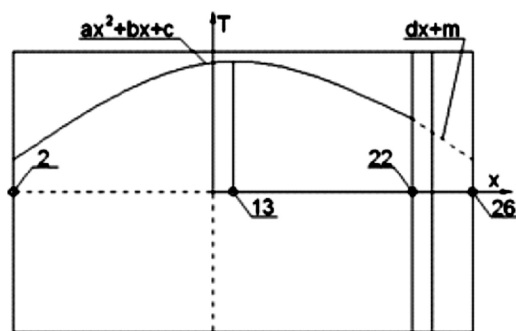


Рис. 14

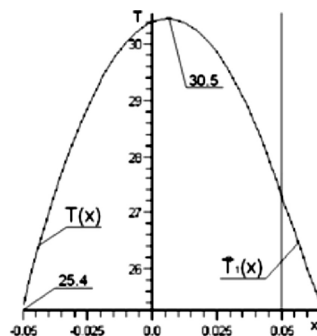


Рис. 15

При этом необходимо опираться на данные изменения температуры окружающей среды, из которых можно увидеть скорость изменения температуры. Это может служить некоторой альтернативой решению системы уравнений теплопроводности. А полученное решение применимо только к одному типу конструкции с неизменными параметрами. На рис. 15 пример температурного поля, построенного по формулам (3) и (4) при $T_0 = 17,8 \text{ }^\circ\text{C}$ и скорости изменения температуры $VT = -15 \text{ }^\circ\text{C}$, в 3 часа. Наибольший перепад температур в плите составляет $5,1 \text{ }^\circ\text{C}$. Исходя из того, что максимальная скорость изменения температуры, которая имеется в наблюдениях, составляет $15,9 \text{ }^\circ\text{C}$ за 3 часа (рис. 10), можно заключить, что наибольший возможный перепад температур в плите данной конструкции будет около $5 \text{ }^\circ\text{C}$, и влияние внутренней стесненности деформаций следует учитывать исходя из этого.

Выводы:

1. По результатам анализа изменения температуры окружающей среды было выяснено, что скорость изменения температуры каждый год достигает значений 3-5 °С в час, даже при экстремальных значениях температуры около -30 °С, что создаёт большую опасность появления трещин в покрытии.

2. По результатам численного моделирования было выяснено, что в выбранном типе покрытия максимальный возможный перепад температуры по толщине плиты составляет 5 °С и температурное поле может быть описано параболой.

3. Возможно, в дальнейшем удастся выяснить влияние внутренней стеснённости деформаций на напряжения и, как следствие, необходимость описания температуры в виде функции. В случае, если внутренняя стеснённость деформаций оказывает серьёзное влияние на НДС, возможно, путём регрессии получить функцию, описывающую температурное поле при любой толщине слоя асфальтобетона. В случае же, если внутренняя стеснённость деформаций не оказывает такого влияния, необходимость в определении такой функции отпадает.

Список литературы

1. Лившиц Я.Д. и др. Автодорожные мосты (проезжая часть). – Киев: Будивельник, 1980. – 160 с.
2. Судомоин А.С. Некоторые аспекты совместной работы стальной ортотропной плиты и покрытия на разводных пролётах мостов // Вопросы надёжности мостовых конструкций: Межвуз. темат. сб. тр. – Л.: ЛИСИ, 1984. – 166 с.
3. Судомоин А.С. О напряжённо-деформированном состоянии слоя полимебетонного покрытия, уложенного по ортотропной плите проезжей части // Совершенствование конструкций и методов расчёта автодорожных мостов: Межвуз. темат. сб. тр. – Л.: ЛИСИ, 1986. – 104 с.
4. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высш. школа, 1966. – 600 с.
5. Горельшева Л.А. Нежесткие дорожные покрытия на металлических мостах//Автомобильные дороги и мосты: обзорн. информ. / ФГУП «ИНФОРМАВТОДОР»; Вып. 4. – М., 2004. – 80 с.
6. Гезенцевей А.Б. Асфальтовый бетон. – М.: Стройиздат, 1964. – 448 с.
7. Некрасов В.К. Строительство автомобильных дорог. Т. 2. – М.: Транспорт, 1980. – 421 с.

Grishyn I.V. – post-graduate student

E-mail: il6357@yandex.ru

Kayumov R.A. – doctor of physico-mathematical sciences, professor

E-mail: kayumov@rambler.ru

Ivanov G.P. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: ivanovGPI@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

About definition of temperature field in pavement of steel bridge with orthotropic slab**Resume**

This paper represents an analysis of shape and variation of temperature field in selected pavement type of steel bridge with orthotropic slab conducted by using of numerical model. An effort to reveal the relation between pavement temperature variation and circumambient conditions variation and to obtain function describing the temperature curve was made for opportunity of use it in stressed-strain state definition. It was found out that maximum difference between temperatures of asphaltic layer center and free edge is about 5°C when

velocity of circumambient temperature changing is about 3-5 °C per 1 hour. Such conditions may lead to occurrence of big temperature stresses and make some contribution to pavement cracks appearance. Whole the temperature curve can be presented as the parabola of the second order. Further if influence of temperature field nonlinearity will not show the great contribution to stresses in asphalt layer then temperature curve may be considered as a straight line.

Keywords: temperature conditions, asphaltic pavements, numerical model, temperature curve.

References

1. Livshic I.D. Road bridges. – Kiev: Budivel'nik, 1980. – 104 p.
2. Sudomoin A.S. Some aspects of pavement and orthotropic slab jointly work on flap bridges // Bridge reliability: H. school trans. collect. – L.: LISI, 1984. – 166 p.
3. Sudomoin A.S. About stressed-strained state of polimer-concrete orthotropic slab pavement on traffic area // Perfection road bridges construction and calculation methodologies: H. school trans. collect. – L.: LISI, 1986. – 104 p.
4. Lykov A.V. Heat-transfer theory. – M.: Vish. shkola, 1966. – 600 p.
5. Gorelysheva L.A. Flexible road surfacing on steel bridges // Roads and bridges: review inform. / FGUP «NFORMAUTODOR»; Vol. 4. – M., 2004. – 80 p.
6. Gezencvey L.B. Asphaltic concrete. – M.: Stroyizdat, 1964. – 448 p.
7. Necrasov V.K. Road building. Vol. 2. – M.: Transport, 1980. – 421 p.