

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕСТКОГО АЭРОДРОМНОГО ПОКРЫТИЯ ПРИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Приведены результаты численных исследований напряженно-деформированного состояния цементобетонной плиты аэродромного покрытия при температурных воздействиях в климатических условиях г.Киева.

Оценена возможность применения численной модели изгибаемой плиты на упругом основании для исследования состояния конструкции при температурных воздействиях, характеризующихся расчетным градиентом температуры.

При проектировании жестких аэродромных покрытий назначение линейный размеров плит в плане и обоснование необходимости устройства температурных швов сжатия и расширения производится на основе оценки температурных воздействий на покрытие.

Задача определения напряжений при горизонтальных перемещениях плиты имеет решение в замкнутом виде и позволяет определять расстояние между швами сжатия.

Устойчивость и прочность плит покрытия при повышении температуры проверяется аналитически, путем определения величины критического повышения температуры (температурного скачка) по отношению к температуре во время укладки бетонного покрытия. В результате проверки принимается решение об устройстве швов расширения и назначении расстояния между ними.

Оценим целесообразность применения метода конечных элементов к исследуемому классу задач с привлечением конечных элементов плит на упругом основании, построенных в рамках классической теории изгиба [1].

В качестве объекта исследования принята двухслойная конструкция плиты, каждый из несущих слоев которой имеет постоянные физико-механические характеристики и ограничен параллельными плоскостями.

Размеры плиты в плане 7,5x7,5 м соответствуют реальным конструкциям жестких аэродромных покрытий, а конструктивные слои имеют следующие характеристики:

1-ый слой (верхний): цементобетон классов V_{btb} 4,4/35;
толщина $t_1=0,15$ м, модуль упругости $E_{b1} = 3,53 \cdot 10^4$ МПа, расчетное сопротивление растяжению при изгибе $R_{btb1} = 3,73$ МПа;

2-ой слой (нижний): цементобетон классов V_{btb} 4,0/30;
толщина $t_2 = 0,30$ м, модуль упругости $E_{b2} = 3,24 \cdot 10^4$ МПа, расчетное сопротивление растяжению при изгибе $R_{btb2} = 3,43$ МПа;

3-ий слой (естественное основание): пылеватый суглинок; коэффициент постели $k_s = 23,7$ МН/м³.

На границе бетонных слоев обеспечено надежное сцепление, обусловленное технологией укладки бетона.

Для численных исследований расчетная модель плиты сеткой 15x15 разбита на 225 конечных элементов и имеет 256 узловых точек. Данная схема разбивки плиты на

конечные элементы не противоречит рекомендациям по расчету плитных конструкций и обеспечивает хорошую сходимость результатов с данными аналитических расчетов плит на статические воздействия [1].

Характеристики климата района строительства приняты в соответствии с нормативными и специальными данными [2-4] и сведениями отдела синоптики Киевской городской метеорологической станции.

Рассмотрены два состояния конструкции – под действием собственного веса (*A*) и под действием температурных воздействий (*B*).

Состояние А.

Собственный вес приложен к поверхности плиты в виде равномерно распределенной вертикальной нагрузки интенсивностью:

$$g = \gamma \cdot (t_1 + t_2) = 2400 \cdot (0,15 + 0,30) = 1080 \text{ кг/м}^2,$$

где $\gamma = 2400 \text{ кг/м}^3$ – объемный вес бетона.

Состояние Б.

Для моделирования температурных воздействий использован расчетный градиент температуры Δt и коэффициент линейного расширения (теплодеформативности) материала плиты $\alpha = 8,1 \cdot 10^{-6}$.

Для климатических условий г.Киева максимальное отклонение температуры верхней поверхности плиты с учетом солнечной радиации при безоблачном небе (БОН) от среднесуточной температуры июля:

$$t_0^{\max} = t_n^{\max} + 0,5 \cdot (t_{\text{возд}}^{\text{cp.max}} - t_{\text{возд}}^{\text{cp.min}}) = 18,2 + 0,5 \cdot (24,8 - 14,8) = 23,0^\circ \text{C},$$

где t_n^{\max} – максимальное отклонение температуры дневной поверхности плиты [5, б];

$t_{\text{возд}}^{\text{cp.max}}$ – среднемаксимальная месячная температура воздуха в июле в 13 час [2-4];
 $t_{\text{возд}}^{\text{cp.min}}$ – среднемаксимальная месячная температура воздуха в июле в 13 час [2-4].

Величины отклонений температур на границах бетонных слоев:

$$t_{0,z} = t_0^{\max} \cdot e^{-z \sqrt{\frac{w}{2a}}},$$

где z – координата границы слоя, m ;

e – основание натурального логарифма;

$w = 2\pi/T$ – угловая частота колебаний температуры при полном периоде $T = 24$ час;

$a = 0,003 \text{ м}^2/\text{час}$ – коэффициент теплопроводности,

при $z = 0,15 \text{ м}$ составляют $t_{0;0,15} = 8,5^\circ \text{C}$,

при $z = 0,45 \text{ м}$ $t_{0;0,45} = 1,2^\circ \text{C}$.

При среднемесячной температуре июля $t_{\text{cp}} = 19,8^\circ \text{C}$ [2-4] максимальные значения температуры нагрева:

- дневной поверхности плиты ($z = 0,00 \text{ м}$):

$$t_0 = 19,8 + 23,0 = 42,8^\circ \text{C};$$

- на границе контакта бетонных слоев ($z = 0,15 \text{ м}$):

$$t_{0;0,15} = 19,8 + 8,5 = 23,8^\circ \text{C},$$

- поверхности плиты на контакте с основанием ($z = 0,45 \text{ м}$)

$$t_{0;0,45} = 19,8 + 1,2 = 21,0^\circ\text{C}.$$

Из практики строительства известно, что температура укладываемого бетона в условиях г.Киева в летнее время достигает $20\text{-}25^\circ\text{C}$ [5]. При меньшем из этих значений, т.е. $t_y = 20^\circ\text{C}$, температурный перепад, вызывающий сжатие плиты на контуре:

$$t_{сж} = (t_{ср} + t_0) - t_y,$$

где $(t_{ср} + t_0)$ - температура нагрева слоев плиты;

в граничных плоскостях бетонных слоев:

$$t_{сж; 0,00} = 42,8 - 20 = 22,8^\circ\text{C},$$

$$t_{сж; 0,15} = 28,3 - 20 = 8,3^\circ\text{C},$$

$$t_{сж; 0,45} = 21,0 - 20 = 1,0^\circ\text{C}.$$

Расчетный градиент температуры для внешних поверхностей исследуемой плиты, используемый в численных расчетах, составляет:

$$\Delta t = t_{сж; 0} - t_{сж; 0,45} = 22,8 - 1,0 = 21,8^\circ\text{C}.$$

В результате численных исследований при заданном градиенте температуры установлены параметры напряженно-деформированного состояния – величины вертикальных перемещений, реактивного давления (отпора) основания, нормальных и касательных напряжений в плите.

Под действием собственного веса плита из исходного положения равномерно перемещается вниз на $0,27 \text{ мм}$, вызывая в основании реактивное давление величиной $10,8 \text{ КН}$ под всей плоскостью плиты.

Расчетный градиент температуры вызывает деформирование нейтральной поверхности плиты. Картина деформирования имеет ось симметрии и описывается следующими количественными показателями.

Центральная часть работает с незначительным отрывом: выгиб из плоскости составляет до $0,9 \text{ мм}$; угловые зоны перемещаются вниз до $2,12 \text{ мм}$. Разница в перемещениях составляет до $3,02 \text{ мм}$. Размеры зоны нулевых перемещений описываются диаметром $6,0\text{-}5,5 \text{ м}$.

Меняется и характер распределения реактивного давления в грунте. В зоне максимальных прогибов (угловые участки плит) реактивное давление основания составляет $66,17 \text{ КН/м}^2$.

Максимальные расчетные значения растягивающих напряжений в центре плиты составляют:

в направлении осей X и Y – $72,58 \text{ КН/м}^2 = 0,07 \text{ МПа}$,

в диагональном направлении – $102,64 \text{ КН/м}^2 = 0,103 \text{ МПа}$.

Экстремальные значения расчетных параметров напряженно-деформированного состояния свидетельствуют о том, что при температурных воздействиях возможно незначительное деформирование поверхности, сопровождаемое развитием растягивающих напряжений на внешней поверхности верхнего слоя. Величины растягивающих напряжений составляют менее 3% значения расчетного сопротивления при изгибе материала верхнего слоя R_{b1}

.Следовательно, для эксплуатационных нагрузок расчетное сопротивление растяжению при изгибе составит 97% величины R_{b1} .

Результаты численного моделирования работы плиты покрытия при температурных воздействиях не противоречат данным аналитических расчетов [5-8] и исключают необходимость устройства температурных швов расширения.

Список литературы

1. *Метод конечных элементов: Уч. пособие для студ. вузов/ Варвак П.М., Бузун И.М., Городецкий А.С. и др. – К.: Вища шк., Голов. из-во, 1981. – 176 с.*
2. *СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика/Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1983. – 136 с.*
3. *Справочник по климату СССР. Вып.10. Украинская ССР. Ч.1. Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 124 с.*
4. *Справочник по климату СССР. Вып.10. Украинская ССР. Ч.2. Температура воздуха и почвы. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 607 с.*
5. *Проведение расчетов для определения необходимости устройства температурных швов в аэродромных покрытиях аэропорта Борисполь и определение расстояния между ними: Отчет о НИР (заключ.) / №ГР0196 008781; инв.№0296 001637. – Киев, 1995. – 41 с.*
6. *Агеева Г. Н., Кривелев Л. И. Мониторинг реконструкции жестких аэродромных покрытий / Вісник Київського міжнародного університету цивільної авіації, №1. – Київ: КМУ ЦА, 1998. – С.397-402.*
7. *Агеева Г. М., Кривельов Л. І. Температурні особливості роботи плит жорсткого аеродромного покриття/ Тези доповідей XVIII звітної наук.-техн. конф. університету за 1997 рік. – Київ, КМУ ЦА, 1998. – С.136.*
8. *Агеева Г. Н. Исследование условий работы жесткого аэродромного покрытия и обоснование необходимости устройства температурных швов/ Г. Н. Агеева, Л. И. Кривелев; Гос. науч.-исслед. и проектно-изыскат. ин-т «НИИпроектреконструкция».- Киев, 1998. – 17 с. – Библиогр.: 12 назв. – Деп. в ГНТБ Украины 28.09.98, №427-Ук98.*