

А. Ю. Конопляник, к. т. н., доц., Е. Д. Семенов, студ.

**Ключевые слова:** аэродромные плиты, упругое основание, температура, температурно-климатические воздействия, расчет плит, армирование плит

**Постановка проблемы.** Известно, что температурно-климатические воздействия могут оказывать существенное влияние на напряженно-деформируемое состояние железобетонных конструкций. При этом это влияние тем существенней, чем существенней температурный перепад по толщине конструкции. Ранее было рассчитано распределение температур по толщине аэродромной плиты при двух экстремальных и трех промежуточных значениях температур воздуха [1]. Учитывая изменения суточных температур, можно говорить об имеющем место нестационарном температурном режиме и соответствующем ему температурном полте по толщине бетона конструкции. В связи с этим ставится вопрос исследования закономерностей изменения напряженно-деформируемого состояния аэродромных плит и их армирования в зависимости от изменения температур по толщине этих плит.

**Анализ публикаций.** В работе [1], которая является предшествующей стадией выполняемых исследований, в полной мере изложена методика расчета температурных полей по толщине аэродромных плит в зависимости от максимальных положительных, отрицательных и промежуточных температур воздуха.

**Цель и задача исследований** состояла в расчете аэродромных плит на температурно-климатические воздействия.

**Изложение материала.** Для реализации расчета аэродромных плит на температурно-климатические воздействия был выбран программный комплекс ПК ЛИРА [2], который позволяет определять температурные усилия по толщине плиты в зависимости от разницы температур на наружной и внутренней поверхности бетона.

Поскольку аэродромные плиты взлетно-посадочной полосы Харьковского международного аэропорта размерами  $7,5 \times 7,5$  м опираются на подстилающие слои [1, рис.1], то расчетная схема этих плит представляет собой плиту на упругом основании. Для расчета таких плит важно знать как характеристику упругого основания, так и общий эквивалентный коэффициент постели  $k_{se}$ , которые могут быть определены исходя из характеристик каждого из подстилающих слоев.

Определение коэффициента постели каждого из слоев основания производится исходя из рассмотрения перемещений жесткого фундамента при равномерной передаче давления на основание по формуле [3, с. 24]:

$$k_s = \frac{\omega E}{(1 - \mu^2) \sqrt{F}}, \quad (1)$$

где:  $\omega$  – безразмерный коэффициент;

$E$  – модуль деформаций, МПа;

$\mu$  – коэффициент Пуассона;

$F$  – площадь подошвы фундамента, м<sup>2</sup>.

В расчетах приняты модули упругости  $E_1 = 1,2 \cdot 10^3$  МПа и  $E_2 = 16 \cdot 10^3$  МПа и коэффициенты Пуассона  $\mu_1 = 0,3$  и  $\mu_2 = 0,2$  соответственно для грунтоцемента и песчаного бетона. Характеристики полиэтиленовой пленки не учитывались из-за ее минимальной толщины.

В результате расчета получены коэффициенты постели, которые равны  $k_s^1 = 440$  МН/м<sup>3</sup> для грунтоцемента и  $k_s^2 = 5580$  МН/м<sup>3</sup> для песчаного бетона.

Определяли эквивалентный коэффициент постели по формуле [4, с. 36]:

$$k_{se} = \frac{k_{s1} + k_{s2} \alpha_2 + k_{s3} \alpha_3}{1 + \alpha_2 + \alpha_3}, \quad (2)$$

где:  $k_{s1}$ ,  $k_{s2}$ ,  $k_{s3}$  – расчетные значения коэффициентов постели, МН/м<sup>3</sup>, каждого из слоев основания;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  – коэффициенты, определяемые по эмпирическим формулам.

В результате расчета получен эквивалентный коэффициент постели  $k_{se} = 610,52 \text{ МН/м}^3$ .

Расчет аэродромной плиты размером  $7,5 \times 7,5 \text{ м}$  производили на ПК ЛИРА по стандартной методике расчета плит на упругом основании с одним коэффициентом постели [5, с. 64].

Плиту разбивали на конечные элементы (КЭ), принимая одинаковый шаг вдоль осей  $X$  и  $Y$ , равный  $0,5 \text{ м}$  и количество шагов 15. В результате разбивки плиты получилось 225 КЭ и 256 узлов. Каждый конечный элемент имел размеры  $0,5 \times 0,5 \times 0,4$  (высота) м. Геометрическая схема плиты с разбивкой ее на КЭ приведена на рисунке 1.

Учитывая то, что по краям плиты устроены швы со штыревыми соединениями, в самых крайних узлах назначали связи, запрещающие линейные перемещения узлов по оси  $Z$ . Каждому КЭ назначали тип жесткости «Пластина» с введением соответствующих запросу характеристик.

Расчет плиты производили на действие ее собственного веса и соответствующего температурного нагружения. Каждое температурное нагружение рассчитывали отдельно. Таким образом, учитывались следующие нагрузки:

$P$  – нагрузки, обусловленные весом плиты;

$+dT$  – верхняя поверхность плиты имеет более высокую температуру, чем основание;

$-dT$  – верхняя поверхность плиты имеет более низкую температуру, чем основание.

На рисунке 2 приведены нагружения: а – от собственного веса аэродромной плиты; б – изменения температуры по толщине плиты при температуры воздуха  $+55^\circ\text{C}$ . Температурные нагружения от изменения температуры по толщине плиты при температуре воздуха  $+20^\circ, 0^\circ, -20^\circ$  и  $-36^\circ\text{C}$  не приведены, так как имеют аналогичный характер и отличаются только значениями температуры.

Для проведения сопоставительного анализа выбирали КЭ 113 как находящийся в самом центре плиты (на пересечении ее диагоналей).

Загружение 1

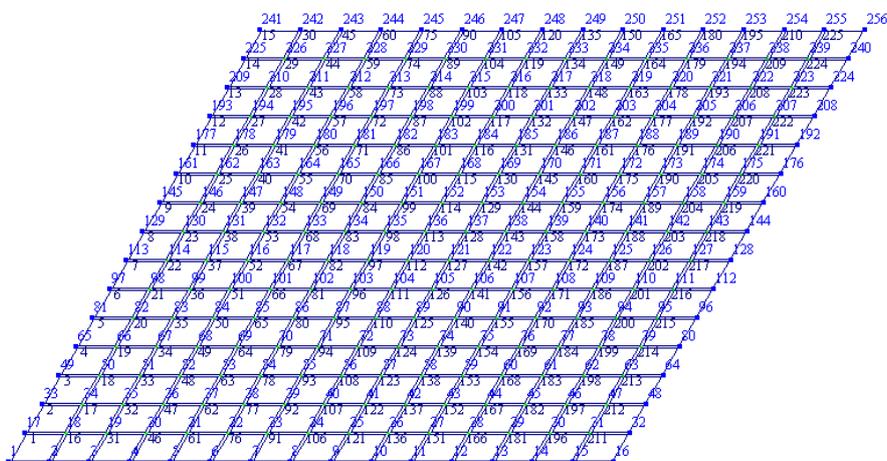
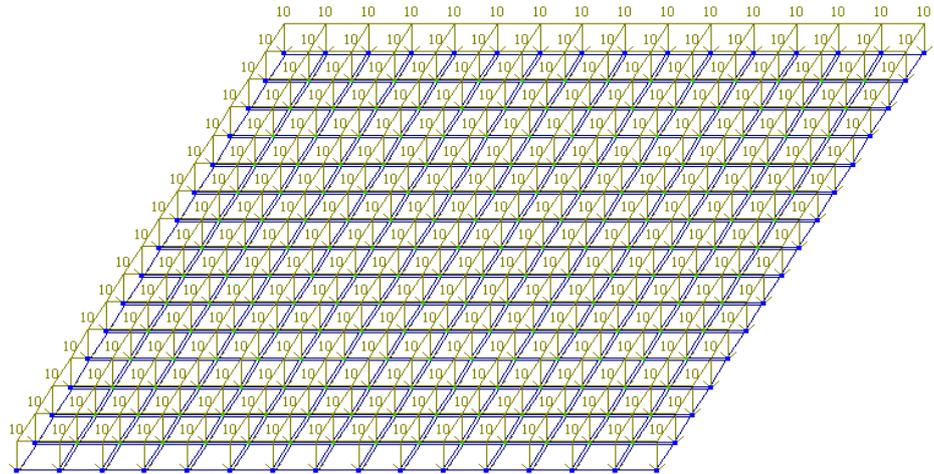


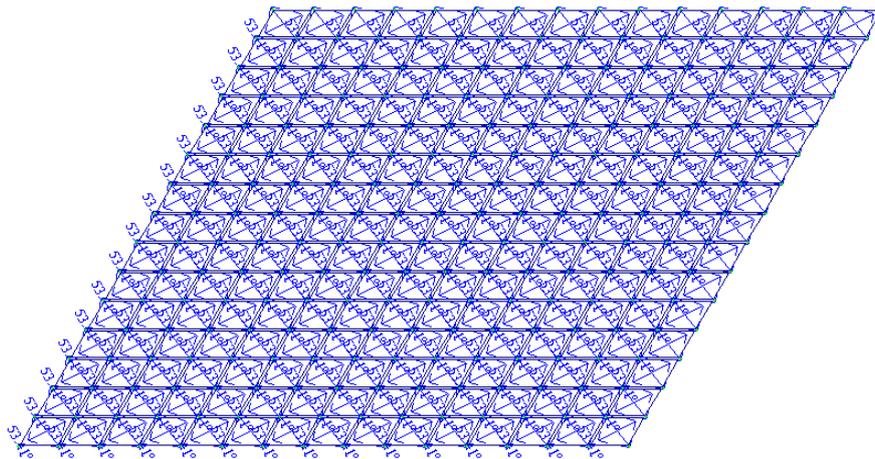
Рис. 1. Геометрическая схема аэродромной плиты

Загружение 1



*a*

Загружение 1

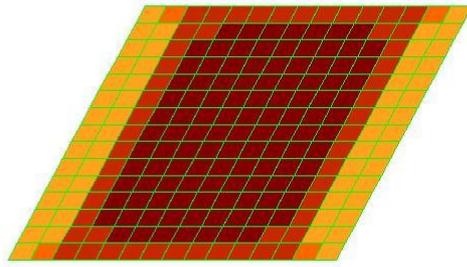


*б*

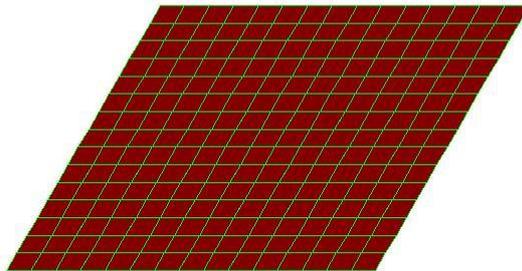
*Рис. 2. Загружение от совместного действия собственного веса и изменения температуры по толщине плиты при температуре воздуха + 55°C : а – нагрузка от собственного веса плиты; б – нагрузка от температурного воздействия*

На рисунках 3 и 4 приведены эпюры армирования нижней и верхней частей плит вдоль осей  $X$  и  $Y$  для экстремальной температуры воздуха + 55°C. Эпюры армирования при температурах воздуха + 55° и – 36°C практически не отличаются от эпюр армирования при температурах воздуха + 20° и – 20°C (0°C) соответственно. Это также наглядно подтверждается таблицами результатов подбора арматуры в КЭ 113, приведенными на рисунке 5.

0 0.45 0.9 1.3 1.8 2.2 2.7 3.1 3.6  
Площадь арматуры на 1м<sup>2</sup> по оси X у нижней грани (балки-стенки - посередине); максимум в элементе 158

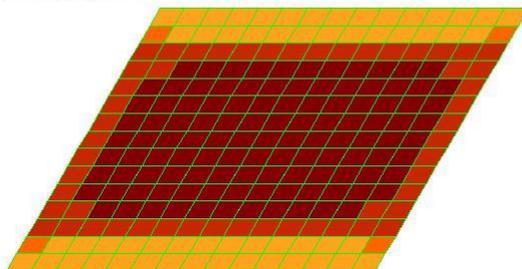


0 0.25 0.5 0.75 1 1.3 1.5 1.8 2  
Площадь арматуры на 1м<sup>2</sup> по оси X у верхней грани; максимум в элементе 225



*Рис. 3. Загружение I от совместного действия собственного веса и изменения температуры по толщине плиты при температуре воздуха + 55°C. Этюры армирования. Площадь нижней и верхней арматуры по оси X*

0 0.45 0.9 1.3 1.8 2.2 2.7 3.1 3.6  
Площадь арматуры на 1м<sup>2</sup> по оси Y у нижней грани (балки-стенки - посередине); максимум в элементе 116



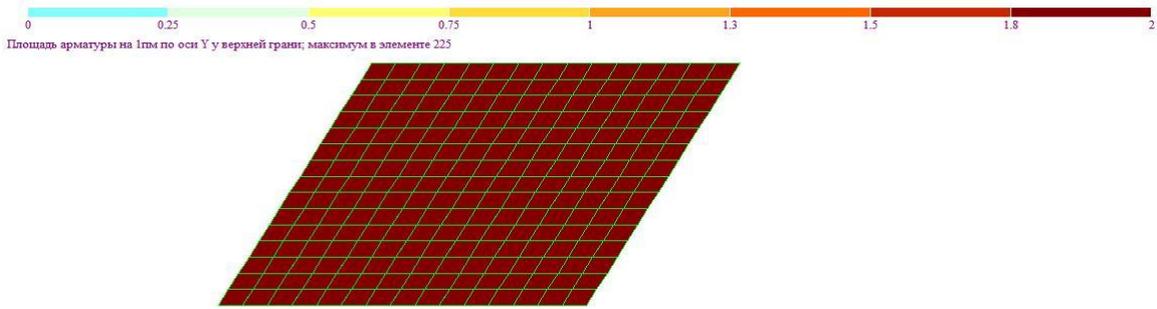


Рис. 4. Загружение I от совместного действия собственного веса и изменения температуры по толщине плиты при температуре воздуха + 55°C. Эпюры армирования. Площадь нижней и верхней арматуры по оси Y

1-[Основная схема]

Элемент Сечение Угол соглас. Плита Оболочка

113 0

Тип: 11 Вид: Площ. УГ: 0 КОЭ: 0 УКОЭ: 0

Жесткость, материалы Толщина пластины

1. Пластина Н 40 Н=0.400 м

Тип:1.плита Бетон: 1.В30 Арматура:1.А-III

Ц.т. арматуры S=0.25 м<sup>2</sup>м а1=0.04; а2=0.04 м сх=3.75 су=3.75 cz=0 м

АРМАТУРА продольная

Арма...	AU1	AU2	AU3	AU4	
Арма...	AS1	AS2	AS3	AS4	%
Полная	3.51	2.00	3.51	2.00	
Прочно...	3.51	2.00	3.51	2.00	

АРМАТУРА поперечная

Шаг 100...	ASW1	ASW2
Полная	0.000	0.000

Ширина трещин

Крат...	Длит...
0.00	0.00

Показать элемент Сочетания

2-[Основная схема]

Элемент Сечение Угол соглас. Плита Оболочка

113 0

Тип: 11 Вид: Площ. УГ: 0 КОЭ: 0 УКОЭ: 0

Жесткость, материалы Толщина пластины

1. Пластина Н 40 Н=0.400 м

Тип:1.плита Бетон: 1.В30 Арматура:1.А-III

Ц.т. арматуры S=0.25 м<sup>2</sup>м а1=0.04; а2=0.04 м сх=3.75 су=3.75 cz=0 м

АРМАТУРА продольная

Арма...	AU1	AU2	AU3	AU4	
Арма...	AS1	AS2	AS3	AS4	%
Полная	3.55	2.00	3.55	2.00	
Прочно...	3.55	2.00	3.55	2.00	

АРМАТУРА поперечная

Шаг 100...	ASW1	ASW2
Полная	0.000	0.000

Ширина трещин

Крат...	Длит...
0.00	0.00

Показать элемент Сочетания

3-[Основная схема]

Элемент Сечение Угол соглас. Плита Оболочка

113 0

Тип: 11 Вид: Площ. УГ: 0 КОЭ: 0 УКОЭ: 0

Жесткость, материалы Толщина пластины

1. Пластина Н 40 Н=0.400 м

Тип:1.плита Бетон: 1.В30 Арматура:1.А-III

Ц.т. арматуры S=0.25 м<sup>2</sup>м а1=0.04; а2=0.04 м сх=3.75 су=3.75 cz=0 м

АРМАТУРА продольная

Арма...	AU1	AU2	AU3	AU4	
Арма...	AS1	AS2	AS3	AS4	%
Полная	2.00	2.00	2.00	2.00	
Прочно...	2.00	2.00	2.00	2.00	

АРМАТУРА поперечная

Шаг 100...	ASW1	ASW2
Полная	0.000	0.000

Ширина трещин

Крат...	Длит...
0.00	0.00

Показать элемент Сочетания

4-[Основная схема]

Элемент Сечение Угол соглас. Плита Оболочка

113 0

Тип: 11 Вид: Площ. УГ: 0 КОЭ: 0 УКОЭ: 0

Жесткость, материалы Толщина пластины

1. Пластина Н 40 Н=0.400 м

Тип:1.плита Бетон: 1.В30 Арматура:1.А-III

Ц.т. арматуры S=0.25 м<sup>2</sup>м а1=0.04; а2=0.04 м сх=3.75 су=3.75 cz=0 м

АРМАТУРА продольная

Арма...	AU1	AU2	AU3	AU4	
Арма...	AS1	AS2	AS3	AS4	%
Полная	2.00	2.00	2.00	2.00	
Прочно...	2.00	2.00	2.00	2.00	

АРМАТУРА поперечная

Шаг 100...	ASW1	ASW2
Полная	0.000	0.000

Ширина трещин

Крат...	Длит...
0.00	0.00

Показать элемент Сочетания

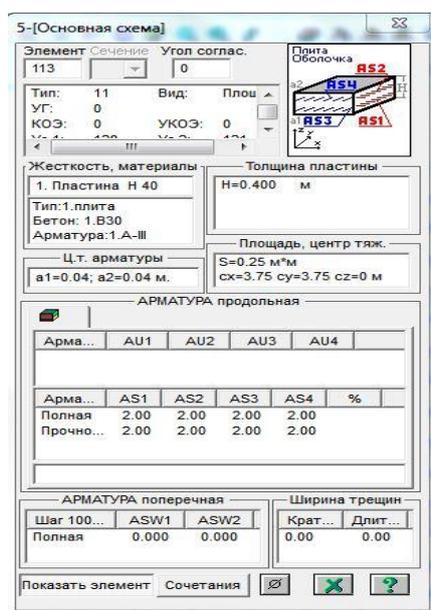


Рис. 5. Таблицы результатов армирования от нагрузок 1 – 5

Анализ результатов расчета арматуры в КЭ 113 от различных температурных воздействий на ПК ЛИРА показал, что:

- площадь нижней рабочей арматуры плиты при температуре воздуха  $+ 55^{\circ}$  и  $+ 20^{\circ}$  практически одинакова и составляет 3,51 и 3,55  $\text{см}^2$  на 1 м. п. плиты, а площадь верхней арматуры одинакова и составляет 2,0  $\text{см}^2$ ;

- площадь нижней и верхней арматуры плиты при температуре воздуха  $0^{\circ}$ ,  $- 20^{\circ}$  и  $- 36^{\circ}$  одинакова и составляет 2,0  $\text{см}^2$ .

В связи с результатами расчета на ПК ЛИРА возникает вопрос о достоверности полученных результатов, так как такое существенное различие температур не может вызывать практически одинаковое напряженно-деформируемое состояние при переходе от положительных к отрицательным температурам.

Для сопоставимости результатов программного расчета, выполненного в линейной постановке, провели его сравнение с ручным расчетом аэродромных плит, выполненным в соответствии с рекомендациями Г. И. Глушкова [6, с. 376]. Для этого вычисляли изгибающие моменты в сечениях плиты и соответствующую им площадь арматуры. Сопоставительный анализ результатов подбора рабочей арматуры в нижней части плиты приведен в таблице.

Таблица 1

Результаты подбора арматуры

Температурное нагружение	Площадь арматуры на 1 м.п. плиты по ПК ЛИРА, $\text{см}^2$	Площадь арматуры на 1 м.п. плиты по расчету вручную, $\text{см}^2$	Значение расхождения, %	Количество подобранной арматуры на 1 м.п. плиты по результатам расчета на ПК ЛИРА	Количество подобранной арматуры на 1 м.п. плиты по результатам расчета вручную
1 (температура воздуха $+ 55^{\circ}$ )	3,51	2,81	19,94	5Ø10 A400C ( $A_s_{\text{факт}} = 3,93 \text{ см}^2$ )	5Ø10 A400C ( $A_s_{\text{факт}} = 3,93 \text{ см}^2$ )
2 (температура воздуха $+ 20^{\circ}$ )	3,55	2,78	21,69	5Ø10 A400C ( $A_s_{\text{факт}} = 3,93 \text{ см}^2$ )	5Ø10 A400C ( $A_s_{\text{факт}} = 3,93 \text{ см}^2$ )
3 (температура воздуха $0^{\circ}$ )	2,0	6,77	70,1	5Ø8 A400C ( $A_s_{\text{факт}} = 2,51 \text{ см}^2$ )	5Ø14 A400C ( $A_s_{\text{факт}} = 7,69 \text{ см}^2$ )
4 (температура воздуха $- 20^{\circ}$ )	2,0	6,63	69,83	5Ø8 A400C ( $A_s_{\text{факт}} = 2,51 \text{ см}^2$ )	5Ø14 A400C ( $A_s_{\text{факт}} = 7,69 \text{ см}^2$ )
5 (температура воздуха $- 36^{\circ}$ )	2,0	6,65	69,92	5Ø8 A400C ( $A_s_{\text{факт}} = 2,51 \text{ см}^2$ )	5Ø14 A400C ( $A_s_{\text{факт}} = 7,69 \text{ см}^2$ )

Как видно из таблицы, количество рабочей арматуры, подобранной в результате расчета вручную и на ПК ЛИРА существенно отличается при температуре воздуха 0°C и отрицательных температурах. При этом расхождение составляет 69,83 – 70,1 %. При температурах воздуха + 20° и + 55°C расхождение значительно меньше и составляет 19,94 – 21,69 %.

Причина такого расхождения, по нашему мнению, состоит в следующем:

- расчет в ПК ЛИРА выполнен в линейной постановке;
- в ручном расчете не в полной мере отражено взаимодействие плиты с основанием;
- при задании температурных нагрузок в ПК ЛИРА подразумевается температуру на поверхности плиты определять как среднюю между температурой в верхней и нижней части плиты, а температуру внизу плиты определять как разность температур в верхней и нижней части. При этом при переходе от положительных к отрицательным температурам разность температур в верхней и нижней части отличается незначительно, в связи с чем напряженно-деформируемое состояние плит тоже отличается незначительно, а площадь арматуры при резком изменении температуры воздуха фактически получается одинаковой.

Результаты работы доложены на IV Международном студенческом конкурсе научно-исследовательских работ, проходившем в г. Киев 29 – 30 мая 2013 года. По результатам работы предложено разработчикам программного комплекса ЛИРА внести корректировки в задание температурных нагрузок по толщине конструкции.

**Выводы.** При помощи ПК ЛИРА было рассчитано количество арматуры в верхней и нижней частях аэродромных плит при различных температурных воздействиях. Полученные результаты сравнены с результатами расчета вручную. Проанализированы причины расхождений результатов программного расчета и расчета вручную.

Считаем, что для получения более достоверных результатов расчета необходимы следующие мероприятия:

- установить по толщине плит термомпары с длительным измерением суточных, месячных, сезонных и годовых температур;
- учитывать фактические коэффициенты теплопроводности бетона каждого слоя в зависимости от его температуры;
- произвести расчет температурных полей по толщине аэродромных плит в условиях нестационарного теплового потока;
- рекомендовать разработчикам программного комплекса внести коррективы в задание температурных нагрузок в ПК ЛИРА, когда будет учитываться конкретная температура в верхней и нижней части плиты;
- рассматривать аэродромную плиту как многослойную конструкцию с учетом теплотехнических и деформативных характеристик каждого из слоев.

## ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Расчет распределения температурных полей по толщине аэродромных плит с учетом влияния температурно-климатических воздействий / А. Ю. Конопляник, Е. Д. Семенов // Вісник Придніпр. держ. акад. будівниц. та архітект. – Д. : ПДАБА, 2013. – № 9. – С. 28 – 34.

2. Городецкий А. С., Шмуклер В. С., Бондарев А. В. Информационные технологии расчета и проектирования строительных конструкций: учеб. пособ. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2003. – 889 с.

3. Клепиков С. Н. Расчет конструкций на упругом основании. – К. : Будівельник, 1967. – 184 с.

4. Аэродромы. СНиП 2.05.08 – 85. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 59 с.

5. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций. ПК ЛИРА, версия 9. Справочно-теоретическое пособие под ред. акад. АИН Украины А. С. Городецкого. – К.– М., 2003. – 464 с.

6. Изыскания и проектирование аэродромов: учеб. для вузов / Г. И. Глушков, В. Ф. Бабков, В. Е. Тригонни и др. – М. : Транспорт, 1992. – 463 с.

## SUMMARY

**Problem statement.** Temperature – climatic effects may have a significant impact on the stress - strain state of reinforced concrete structures. This effect depends on the temperature gradient through the thickness of the structure. Previously been calculated temperature distribution over the thickness of the slab for the airfield two extremes and three intermediate values of air temperature [1]. Considering the changes in daily temperatures, we can talk about having a place of non-stationary temperature conditions and in the corresponding temperature field through the thickness of the concrete structure. This research raises the question patterns of change of the stress – strain state airfield plates and reinforcement depending on temperature changes in thickness airfield plates.

**Analysis of publications.** In [1], which is a previous stage of the research carried out fully set out the methodology of calculation of temperature fields in thickness airfield plates depending on the maximum positive, negative, and intermediate temperature air.

**Objectives.** Calculation airfield plates on the temperature-climatic effects.

**Conclusions.** To get more reliable results of the calculation, the following activities:

- To establish the thickness of the plates with a long thermocouple measuring daily, monthly, seasonal and annual temperature;
- To take into account the actual coefficients of thermal conductivity of each layer of concrete, depending on its temperature;
- To calculate the temperature fields in thickness airfield plates in conditions of unsteady heat flux;
- Consider the airfield plate as a sandwich construction, taking into account the thermal and deformation characteristics of each layer.

## REFERENCES

1. Raschet raspredeleniya temperaturnykh poley po tolschine aerodromnykh plit s uchetom vliyaniya temperaturno-klimaticheskikh vozdeystviy /A. Yu. Konoplyanik, Y. D. Semenov // Visnik Pridnpr. derzh. akad. budivnytst. ta arhitekt. – D. : PDABA, 2013. – № 9. – S. 28 – 34.
2. Gorodetskiy A. S., Shmukler V. S., Bondarev A. V. Informatsionnyie tehnologii rascheta i proektirovaniya stroitelnykh konstruktsiy: ucheb. posob. – Harkov: NTU «HPI», 2003. – 889 s.
3. Klepikov S. N., Raschet konstruktsiy na uprugom osnovanii. – K. : Budivelnyk, 1967. – 184s.
4. Aerodromy. SNiP 2.05.08 – 85. – M. : TSITP Gosstroya SSSR, 1985. – 59s.
5. Programmnyi kompleks dlya rascheta i proektirovaniya konstruktsiy. PK LIRA, versiya 9. Spravochno-teoreticheskoe posobie pod red. akad. AIN Ukrainyi A. S. Gorodetskogo– K-M., 2003. – 464s.
6. Izyiskaniya i proektirovaniya aerodromov: ucheb. dlya vuzov / G. I. Glushkov, V. F. Babkov, Trigoni V. E. i dr. – M. : Transport, 1992. – 463s.

УДК 625.717.3: 624.042.5

**Расчет аэродромных плит на температурно-климатическую нагрузку / А. Ю. Конопляник, Е. Д. Семенов // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Д. : ПГАСА, 2014. – № 2. – С. 29 – 37 . – рис. 5. – табл. 1. – Библиогр. : ( 6 назв.).**

При помощи ПК ЛИРА рассчитано количество арматуры в верхней и нижней частях аэродромных плит при различных температурных воздействиях. Полученные результаты сравнены с результатами расчета вручную. Проанализированы причины расхождений результатов программного расчета и расчета вручную.

Предложено разработчикам программного комплекса ЛИРА внести корректировки в задание температурных нагрузок по толщине конструкции.

**Ключевые слова:** аэродромные плиты, упругое основание, температура, температурно-климатические воздействия, расчет плит, армирование плит.

**Розрахунок аеродромних плит на температурно-кліматичну навантаження / О. Ю. Конопляник, Е. Д. Семенов // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Д. : ПДАБА, 2014. – № 2. – С. 29 – 37. – рис. 5. – табл. 1. – Библиогр.: ( 6 назв.).**

За допомогою ПК ЛИРА розраховано кількість арматури у верхній і нижній частинах аеродромних плит за різних температурних впливів. Отримані результати порівняно з результатами розрахунку вручну. Проаналізовано причини розбіжностей результатів програмного розрахунку і розрахунку вручну.

Запропоновано розробникам програмного комплексу ЛИРА внести коректування в завдання температурних навантажень по товщині конструкції.

**Ключові слова:** аеродромні плити, пружна основа, температура, температурно-кліматичні дії, розрахунок плит, армування плит.

**Calculation airfield plates on the temperature-the climate load / A. Konoplyanik, I. Semenov // Visnyk of Pridnyprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture. – D. : PSACEA, 2014. – № 2. – P. 29 – 37. – pic. 5. – tabl. 1. – Bibliogr.: ( 6 names).**

With help of computer-appliance LIRA it was calculated the amount of reinforcement in the top and bottom parts of the airfield plates at different temperature impacts . The results obtained are compared with the results from calculations made by hand. Analyzed the causes of discrepancies between the results from manual calculation and program calculation.

Suggested that LIRA software developers should make adjustments to the input of temperature loads on thickness of the structure.

**Keywords:** airfield plates, elastic base , temperature, temperature and climatic effects , settlement plates , reinforcement plates.