



17-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos  
**TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA,**  
vykusios 2014 m. gegužės 8 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 17th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'  
**TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT**, 8 May 2014, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 17-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»  
**ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК**, 8 мая 2014 г., Вильнюс, Литва

## РАСЧЕТ ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ВЕРТОЛЕТНЫХ ПЛОЩАДОК

**А. Белятинский<sup>1</sup>, В. Першаков<sup>2</sup>, Т. Близнюк<sup>3</sup>**

*Национальный Авиационный Университет, Институт Аэропортов  
пр. Космонавта Комарова 1, 03058 Киев, Украина*

*Эл. почта: <sup>1</sup>beljatynskij@mail.ru; <sup>2</sup>pershakov@nau.edu.ua; <sup>3</sup>bliznyuk10@mail.ru*

**Аннотация.** Данная статья посвящена вопросу выбора рационального типа покрытия в зависимости от весовой категории вертолета. В работе выполнен анализ целесообразности использования цементобетонных покрытий вертолетных площадок.

**Ключевые слова:** вертолетная площадка, покрытие, граничный изгибающий момент, запас прочности, плита покрытия.

### Вступление

Вертолёт в настоящее время – это наиболее совершенный представитель семейства аппаратов вертикального взлета и посадки. На данный момент вертолётный транспорт в Украине еще недостаточно развит, однако объем вертолетных перевозок постоянно увеличивается, поэтому можно ожидать, что он займет свое место в системе городского транспорта.

В сравнении с остальными представителями воздушного транспорта основное преимущество вертолётов заключается в высокой скорости передвижения, которая достигает 200–300 км/ч, независимости направления движения от системы улиц, а также большой маневренности, простоте и относительно небольшой стоимости строительства посадочных площадок.

С каждым годом вертолетная тематика становится все более перспективной. В противовес самолетам, вертолеты дешевле в обслуживании и не требуют особых условий для эксплуатации. В отличие от бизнес-авиации, им не нужны большие оборудованные аэродромы, достаточно небольшой площадки.

Эти и другие привлекательные особенности вертолетов стали причиной постоянного расширения спектра их использования. И если раньше вертолеты имели военную или специальную «прописку», то сейчас они уверенно овладевают гражданским сектором авиации (Ashford *et al.* 2011).

Для вертодромов, расположенных на уровне земли рекомендуется использовать цементобетонные покрытия (сборные или монолитные). Учитывая

сравнительно небольшие нагрузки от опор вертолетов, используются только однослойные покрытия. Однако, учитывая большой диапазон нагрузок от главных опор вертолетов (изменяется в диапазоне от 0,5 т до 20–30 т) использование этого типа покрытия не всегда целесообразно, поскольку не полностью используется ресурс прочности покрытия. К тому же вертодромы, в отличие от аэродромов, обслуживают сравнительно небольшую территорию (окружность радиусом 200–300 км), Это связано со стоимостью летного часа вертолетов.

Анализируя тенденции развития воздушного транспорта, отметим, что взлетный вес современных и перспективных вертолетов почти не увеличивается, следовательно нет необходимости в чрезмерном усложнении конструкции их опор. Поэтому из всех существующих сверхтяжелых вертолетов только Ми-26, Bell V-22 Osprey и Bell Boeing Quad TiltRotor имеют двухколесное шасси, остальные вертолеты имеют одноколесные главные опоры.

Учитывая сравнительно невысокую дальность полета, в полной мере раскрыть высокий потенциал вертолётов позволит сеть вертолётных площадок. Широкий перечень выполняемых задач может потребовать устройства площадки в труднодоступной местности. В таких условиях использование традиционных материалов может быть нерационально.

Вышеперечисленные факторы необходимо учитывать при подборе оптимального покрытия вертодрома. К сожалению, в Украине отсутствует нормативная документация, в которой бы содержались

указания по проектированию и расчету вертодромных покрытий для каждой весовой категории вертолёта. Нормативные документы ИСАО (Annex 2009) ограничиваются общими рекомендациями, не учитывая при этом местные особенности устройства вертолетных площадок.

### Решение проблемы

Для того, чтобы оценить целесообразность применения цементобетона в качестве покрытия вертолетной площадки, необходимо иметь представление о силовом воздействии воздушного судна на само покрытие.

Нормативная методика расчета может быть использована для расчета воздействия на плиту покрытия лишь колесной опоры, воздействие ползковых опор не учитывается.

Для выполнения расчетов использовался ПК ЛИРА САПР, позволяющий смоделировать покрытие любой формы и не имеющий ограничений по заданию нагрузки (LIRA 2006).

В ПК ЛИРА САПР покрытие моделировалось в виде матрицы из 9 плит, между плитами предусмотрена упругая связь с помощью штырей (или, в случае использования плит ПАГ – сваркой скоб соседних плит). Использование одной плиты недопустимо, поскольку в таком случае не будет учтено взаимодействие между плитами покрытия.

Моделирование связи между плитами с помощью штырей выполнялось с использованием конечных элементов № 55 в ПК ЛИРА САПР (Rodchenko 2007). Этот тип конечного элемента работает линейно на растяжение и сжатие до «бесконечности» с заданной жесткостью  $R$ . Он используется для учета податливости между узлами модели покрытия, элемент позволяет спроектировать как линейную, так и угловую податливость связи относительно осей  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  в глобальной системе координат (рис. 1).

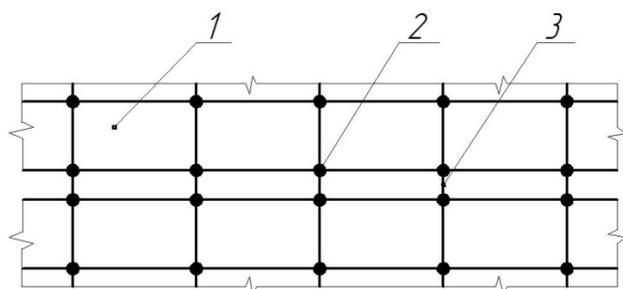


Рис. 1. Штыревые соединения между плитами покрытия в ПК ЛИРА: 1 – конечный элемент пластина; 2 – узел; 3 – конечный элемент № 55 (моделирует упругую связь между плитами покрытия)

Жесткость штыревого соединения плит покрытия определяется по формуле (1) согласно (Advanced 2007).

$$k = \frac{D}{s}, \quad (1)$$

где  $s$  – шаг штырей;  $D$  – коэффициент сцепления штыря с бетоном (обуславливает вертикальную жесткость) и жесткостью, вызванной изгибом плиты.

Учитывая то, что по длине соединения плит устанавливается несколько штырей с определенным шагом, жесткость одного штыря определяется по формуле

$$R = \frac{1}{s(n-1) \left( \frac{w}{0,9G_d A_d} + \frac{w^3}{12E_d I_d} + \frac{2+\beta w}{4\beta^3 E_d I_d} \right)}, \quad (2)$$

где  $n$  – количество штырей;  $E_d$  – модуль сдвига стержня;  $w$  – ширина шва, м.

Такой подход позволяет спроектировать передачу нагрузки между плитами. В ПК ЛИРА САПР полученное значение используется как жесткость конечных элементов № 55 в вертикальном направлении, с помощью которых моделируется связь между плитами.

Для проверки достоверности результатов расчета с помощью ЛИРА САПР был выполнен тестовый расчет. Покрытие загружалось одной главной опорой по центру плиты.

Для тестового расчета была выбрана следующая конструкция покрытия: цементобетонное покрытие толщиной 0,2 м, модуль упругости бетона  $E$  составляет  $3,24 \cdot 10^4$  МПа. Размер плит –  $5,0 \times 5,0$  м, ширина шва – 6 мм, передача нагрузки между плитами осуществляется с помощью штырей (шаг – 0,5 м, диаметр 20 мм, длина 0,5 м), вертодром расположен во II дорожно – климатической зоне, грунт основания – суглинок пылеватый (коэффициент постели составляет  $40 \text{ МН/м}^3$ ). Эквивалентный коэффициент постели составляет для этого случая  $86,5 \text{ МН/м}^3$ . В качестве расчетного вертолета выбран Ми-8. Нагрузка на основную опору составляет 5,2 т, давление в пневматике 0,5 МПа, главная опора одноколесная. Радиус отпечатка колеса составляет 0,199 м. При расчете покрытия на воздействие вертолета Ми-26 его толщина была увеличена до 0,3 м.

Схема разбивки плиты на конечные элементы приведена на рис. 2.

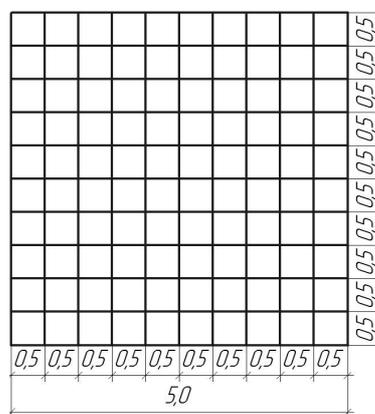


Рис. 2. Схема разбивки плиты покрытия на конечные элементы

Результаты тестового расчета в ПК ЛИРА САПР приведены на рис. 3.

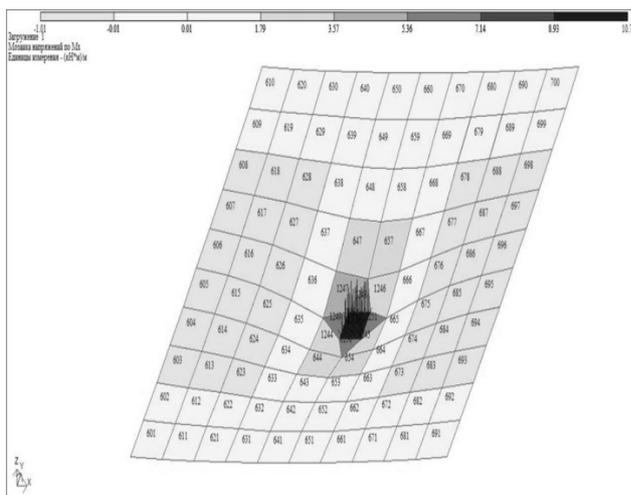


Рис. 3. Результаты тестового расчета вертодромного покрытия в ПК ЛИРА САПР

Для контроля расчета в ПК ЛИРА были выполнены вычисления по следующим зависимостям (табл. 1)

Таблица 1. Расчетные зависимости для определения изгибающего момента в плите покрытия

| № | Название   | Зависимость  |
|---|--|--|
| 1 | СНиП 2.05.08-85 (LIRA 2006)  | $n_{c,max} = f(\alpha)F_d$   |
| 2 | По формуле Вестергарда   | $M = \frac{3F_d(1+\mu)}{12\pi} \left[ \ln\left(\frac{2l}{R_e}\right) + 0,5 - \gamma \right]$ |
| 3 | По формуле Тимошенко (Тумошенко et al. 1966)   | $\frac{F_d}{4\pi} (1+\mu) \left[ \ln\left(\frac{1}{R_e}\right) + 0,616 \right]$              |
| 4 | По формуле Тимошенко для нагрузки, равномерно распределенной по площади конечного элемента (Тумошенко et al. 1966) | $\frac{F_d}{4\pi} (1+\mu) \left[ \ln\left(\frac{1}{a}\right) + 1,177 \right]$                |

где  $\mu$  – коэффициент Пуассона;  $F_d$  – расчетная нагрузка на колесо, кН;  $l$  – упругая характеристика, м;  $R_e$  – радиус отпечатка колеса, м;  $a$  – сторона конечного элемента, м.

Сравнение результатов расчета выполнено в табличной форме, (табл. 2).

Для дальнейшего исследования влияния опор вертолетов на жесткое покрытие были использованы вертолеты Ми-26, Ми-38, Agusta AW-139 и EC 155B1 (полосковое шасси). В связи со сравнительно небольшой нагрузкой на опору использовалось только однослойное покрытие. Результаты расчетов приведены на рис. 4–7.

Таблица 2. Результаты тестового расчета вертодромного покрытия

| № з/п | Расчетная зависимость  | Изгибающий момент | Погрешность в сравнении с результатом ПК ЛИРА САПР |
|-------|--|-------------------|--|
| 1     | СНиП 2.05.08-85  | 10,98             | 2,46   |
| 2     | По формуле Вестергарда   | 10,969            | 2,36   |
| 3     | По формуле Тимошенко   | 10,97             | 2,37   |
| 4     | По формуле Тимошенко для нагрузки, равномерно распределенной по площади конечного элемента | 10,948            | 2,17   |
| 5     | ПК ЛИРА САПР   | 10,71             | –  |

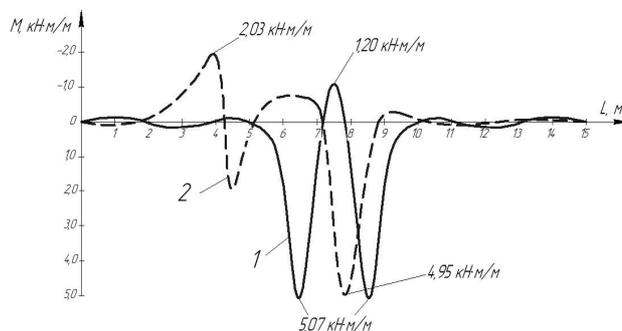


Рис. 4. Изгибающие моменты в покрытии от действия вертолета AW-139 (монолитное покрытие): 1 – центральное загрузжение; 2 – краевое загрузжение

При определении внутренних усилий в плитах покрытия моделировалось два случая нагрузки. Опоры вертолета смещались к краю покрытия, во втором случае, вычислялись внутренние усилия от действия центрального загрузжения (Roesler et al. 2007). Поскольку нормативная методика не дает возможности учесть влияние всех опор одновременно, расчет выполнялся только в ПК ЛИРА САПР.

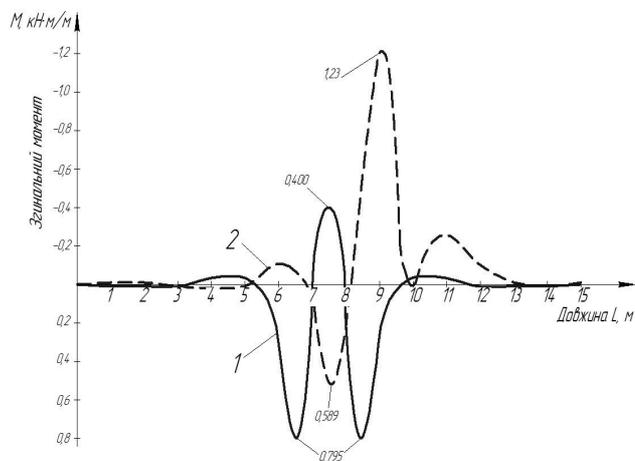


Рис. 5. Изгибающие моменты в покрытии от действия вертолета EC-155B1 (монолитное покрытие): 1 – центральное загрузжение; 2 – краевое загрузжение

В случае с ползковой опорой моделировалось размещение опоры таким образом, что один из ползьев располагался по центру плиты. Краевым считалось загрузеие, при котором один из ползьев располагался у края плиты. При этом из-за малого расстояния между ползьями, в обоих случаях на центральную плиту передавался вес всего вертолета.

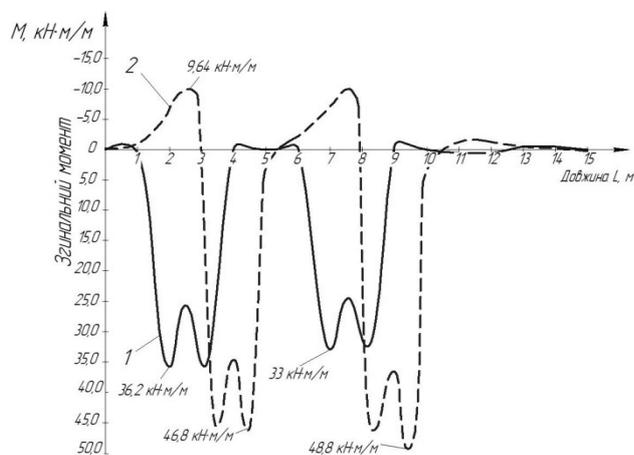


Рис. 6. Изгибающие моменты в покрытии от действия вертолета Ми-26 (монолитное покрытие): 1 – центральное загрузеие; 2 – краевое загрузеие

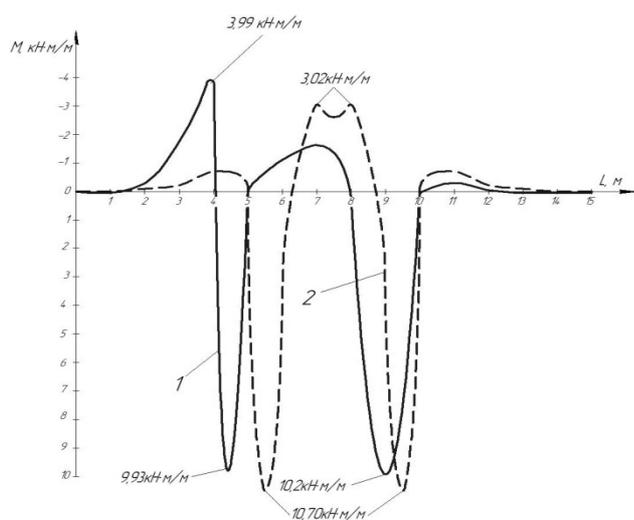


Рис. 7. Изгибающие моменты в покрытии от действия вертолета Ми-38 (монолитное покрытие): 1 – центральное загрузеие; 2 – краевое загрузеие

Граничный момент для покрытия определялся по формуле

$$m_u = \gamma_c R_{btb} \frac{t^2}{6} k_u, \quad (3)$$

где  $m_u$  – граничный момент, кН·м/м;  $\gamma_c$  – коэффициент условий работы покрытия;  $R_{btb}$  – расчетное со-

противление бетона растяжению при изгибе МПа;  $t$  – толщина покрытия, м;  $k_u$  – коэффициент условий работы покрытия.

Коэффициент запаса прочности покрытия определялся как отношение граничного момента к максимальному расчетному изгибающему моменту.

Результаты расчета представлены в табличной форме (табл. 3).

Таблица 3. Сравнительный анализ силового воздействия на покрытие разных типов вертолетов

| Тип вертолета | Цементобетонное покрытие |                   |
|---------------|--------------------------|-------------------|
|               | Центральное загрузеие    | Краевое загрузеие |
| 1             | 2                        | 3                 |
| ЕС-155В1      | 0,795                    | 1,23              |
| АW-139        | 5,07                     | 4,95              |
| Ми-38         | 10,70                    | 10,20             |
| Ми-26         | 36,2                     | 48,8              |

Для цементобетонного покрытия толщиной 20 см значение предельного момента составляет 27,44 кН м/м, для 30-сантиметрового покрытия  $m_u = 57,88$  кН м/м.

Для монолитного цементобетонного покрытия запас прочности составляет соответственно: для ЕС-155В1 – 22,31; АW-139 – 5,41; Ми-38 – 2,57; Ми-26 – 1,19.

Исходя из полученных результатов, можно утверждать, что цементобетонные покрытия целесообразно использовать для категории тяжелых вертолетов, для других весовых категорий применение типовых цементобетонных покрытий ведет к нерациональному использованию ресурсов материала.

### Выводы

Полученные результаты позволяют утверждать что:

1. Традиционные жесткие покрытия нецелесообразно использовать для строительства отдельных вертолетных площадок под легкие и средние вертолеты. Их рекомендуется использовать в случае строительства постоянно действующих вертодромов, в случае базирования вертолетов на аэродроме, а также в качестве покрытия под тяжелые вертолеты.

2. Для других случаев следует большее внимание уделить проектированию и расчету сборно-разборных вертолетных площадок. Это позволит значительно ускорить процесс строительства, даст возможность устройства вертолетных площадок в труднодоступной местности, позволит осуществлять перебазирование площадки с повторным использованием строительных материалов.

### Литература

Ashford, N. J.; Saleh, M.; Paul, H. W.; M 2011 *Airport Engineering: planning, design, and development of 21<sup>st</sup> century airports* 4th ed. 769 p.

- Annex 14 to the Convention on International Civil Organisation. Aerodromes Vol.2 Heliports. International Standards and Recommended Practices. 3<sup>rd</sup> edition. 2009, 98 p. Available from internet: <[http://www.orga.nl/pdf/Annex%2014%20Volume%20II%20-%20Heliports%203rd%20Edition%20\(July%202009\).pdf](http://www.orga.nl/pdf/Annex%2014%20Volume%20II%20-%20Heliports%203rd%20Edition%20(July%202009).pdf)>.
- LIRA 9.4 Primery rascheta i proektirovanija. Prilozhenije k ychebnomy posobiju LIRA 9.2 / [Genzerskij J. V., Kytsenko A. N., Marchenko D.V., Slobodyan J. V., Titok V. P.]. – K.: NIIASS, 2006. 124 p.
- Rodchenko, O. V. 2007. *Teoretychni osnovy proektuvannya zhorstkyh pokryttiv aerodromiv na dijiy nadvazhkyh navantazhen'*. Disertacija na zdobuttya stupenya kandydata technichykh nauk (05.22.11 – Bydivnyctvo avtomobilnyh shlyahiv ta aerodromiv). Kyiv, National Aviation University 200 p. (in Ukrainian).
- Advanced Pavement Design: Finite Element Modeling for Rigid Pavement Joints, Report III: Model Simplification and Application, Report No. DOT/FAA/AR-98/70, FAA / Michael I. Hammons, Reed B. Freeman. – Washington: Federal Aviation Administration, 2007. 31 p. Available from internet: <<http://www.tc.faa.gov/its/worldpac/techrpt/ar97-7.pdf>>.
- Tymoshenko S. P. Plastynki I obolochki / S. P. Tymoshenko, S. Vojnovskij-Kruger. M.: Nauka, 1966. 635 p.
- Roesler, J.; Evangelista, F. Jr.; Domingues, M. 2007. *Effect of gear positions on airfield rigid pavement critical stress location*. 2007 FAA Airport Technology Transfer Conference, Atlantic City, New Jersey, April. 2007 13 p. Available from internet: <<http://www.airporttech.tc.faa.gov/NAPTF/att07/2007/Papers/P07064%20Roesler%20et%20al.pdf>>.