



20-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos
TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA,
vykusios 2017 m. gegužės 12 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 20th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'
TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT, 12 May 2017, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 20-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»
ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК, 12 мая 2017 г., Вильнюс, Литва

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДОРОГ И ИСКУССТВЕННОГО ПОКРЫТИЯ АЭРОДРОМОВ

Дмитрий Петрович Васильев¹, Андрей Александрович Белятынский¹,
Арсен Евгеньевич Клочан²

¹Кафедра реконструкции аэропортов и автодорог, Национальный авиационный университет, Киев, Украина

²Кафедра электроники и вычислительной техники, Национальный транспортный университет,
Киев, Украина

Эл. почта: freimaster.af@gmail.com; beljatynskij@mail.ru; varsenchuk@gmail.com

Аннотация. Работа посвящена вопросу разработки поляриметрического метода измерения продольных и поперечных уклонов поверхности дорог и искусственного покрытия аэродромов. В работе рассмотрены требования к уклонам искусственного покрытия аэродромов и современные устройства их определения. Предложенный метод позволит потенциально повысить точность и быстродействие измерения. В статье приведена схема поляриметрического метода измерения рельефа поверхности и формулы для определения координат текущих точек измеряемой поверхности. По координатам текущих точек строится модель измеряемой поверхности, а дальнейшая компьютерная обработка данной модели позволяет определить значения параметров, которые характеризуют состояние штучного покрытия дорог и аэродромов.

Ключевые слова: поляриметр, диэлектрическая пластина, метод измерения, уклон, микрорельеф, математическое моделирование, ферриты, фотополяриметр.

Вступление

Современный этап развития общества характеризуется повышением мобильности населения, развитием национального и международного туризма, ростом деловой активности предприятий и процессом глобализации. Это в свою очередь приводит к расширению рынка транспортных перевозок. В последние годы наблюдается динамичное развитие отрасли автомобильных и авиационных перевозок. Автомобильный транспорт занимает доминирующую роль в континентальных пассажирских и грузовых перевозках. Авиационный транспорт занимает лидирующую позицию в трансконтинентальных перевозках. При этом наблюдается увеличение объемов перевозок этими видами транспорта. Так, согласно данным ИКАО наблюдается ежегодный рост объема регулярных грузовых и пассажирских перевозок. К примеру, за 2015 год (Annual... 2015) наблюдался прирост объема пассажирских перевозок на 7,1% и прирост объема грузовых перевозок на 1,7%. Рост объема транспортных перевозок и грузоподъемности транспортных средств приводит к появлению дополнительных нагрузок на искусственное покрытие дорог и аэро-

дромов, что может приводить к преждевременному износу покрытия и деталей транспортного средства.

Одновременно с ухудшением состояния дорожных покрытий и искусственных покрытий аэродромов наблюдается снижение безопасности движения. Это приводит к увеличению количества аварий и катастроф на автомобильном и авиационном транспорте. Так анализ статистики авиационных катастроф показывает, что наиболее критическими этапами полета воздушного судна (ВС) есть этапы взлета и посадки. На этап взлета приходится до 12% авиакатастроф и авиационных инцидентов, а на этап посадки – до 49%. Критичность этих этапов состоит в переходе от движения ВС по поверхности взлетно-посадочной полосы (ВПП) к полету – для этапа взлета, и в переходе от полета ВС до его движения по поверхности ВПП – для этапа посадки. При этом на качество этих переходов существенно влияет состояние покрытий аэродрома.

Постановка проблемы

Ухудшение состояния и повышение требований к искусственным покрытиям дорог и аэродромов,

повышение скорости движения и грузоподъемности самолетов и автомобилей вызывает появление потребности в периодическом мониторинге состояния искусственного покрытия. В то же время повышение интенсивности движения транспортных средств привело к сокращению времени мониторинга. Это привело к появлению двух противоречивых тенденций в процессе определения состояния искусственного покрытия: повышение точности измерения и сокращения времени измерения.

Таким образом, возникает потребность в совершенствовании существующих или разработке нового метода определения состояния искусственного покрытий.

Параметры состояния искусственного покрытия аэродрома и современные устройства их определения

При рассмотрении параметров состояния искусственного покрытия основное внимание уделим рассмотрению искусственных покрытий аэродромов, поскольку к ним предъявляются более жесткие требования, чем к покрытиям автомобильных дорог.

Искусственное покрытие аэродрома в целом должна соответствовать следующим критериям: обеспечивать достаточную несущую способность, обеспечивать хорошие эксплуатационные качества, обеспечивать хорошие характеристики прививки, быть долговечным, характеризоваться легкостью обслуживания. Первый критерий касается структуры искусственного покрытия, второй – геометрической формы верхнего слоя поверхности искусственного покрытия, третий – текстуры фактической поверхности и дренажа покрытие, которое находится в мокром состоянии, четвертый и пятый критерии кроме экономического аспекта касаются годности искусственного покрытия для эксплуатации воздушного судна.

В процессе эксплуатации покрытия конструкций аэродрома осуществляется физическая, температурная, химическое воздействие, в результате чего происходит движение плит, изменение рельефа покрытия и его коррозия.

Основными параметрами, характеризующими аэродромное покрытие являются: продольные и поперечные уклоны, коэффициент сцепления, текстура поверхности, рельеф поверхности и другие. Продольные уклоны при взлете или посадке создают составляющую силы тяжести самолета. Таким образом, при движении самолета против уклона увеличивается длина разбега и сокращается длина пробега, а при движении по уклону длина разбега уменьшается и увеличивается длина пробега. Поперечные уклоны, с одной стороны вызывают смещение результирующей вектора веса ВС и вектора подъемной силы в сторону, что в свою очередь снижает безопасность полетов, а с другой стороны поперечные уклоны обеспечивают дренаж воды с поверхности покрытия, повышает коэффициент сцепления и повышает безопасность

полетов. Значения поперечных и продольных уклонов строго регламентируются для каждого класса взлетно-посадочной полосы (ВПП). Максимальные продольные и поперечные уклоны ВПП с искусственным покрытием для различных классов ВПП приведены в табл. 1. Коэффициент сцепления на поверхности аэродромного покрытия тесно связан с коэффициентом торможения воздушного судна. Он зависит от следующих факторов: текстуры покрытия, сезона года, загрязненности покрытия, текстуры пневматика колес и других. Снижение коэффициента прививки ведет к снижению уровня безопасности. Текстура поверхности аэродромного покрытия – это наиболее важный аспект характеристик прививки. Во время взлета текстура влияет на длину разбега ПС через коэффициент трения качения колес. А при посадке текстура влияет на длину пробега через коэффициент трения торможения колес. Под рельефом понимаются неравенства аэродромного покрытия, которые возникают в процессе его эксплуатации. Поскольку в процессе эксплуатации аэродромных поверхностей происходит изменение параметров, которые его характеризуют, то возникает потребность в проведении периодического их мониторинга. Основными параметрами искусственного покрытия аэродрома, требующих периодического мониторинга является продольные и поперечные уклоны, микро- и макрорельеф.

Таблица 1. Максимально допустимые продольные и поперечные уклоны для различных классов ВПП

Наименование уклона	Класс ВПП				
	А, Б, В	Г	Д	Е	
Продольный уклон любой части среднего участка	0,0125	0,015	0,015	0,02	
Продольный уклон любой части конечного участка	0,008	0,015	0,015	0,015	
Средний продольный уклон	0,01	0,01	0,01	0,017	
Поперечный уклон любой части	0,015	0,015	0,02	0,02	

Многие из показателей, по которым проводится оценка пригодности аэропортов к эксплуатации, определяются по результатам классических геодезических измерений. Для измерения неровностей поверхности покрытия используют высокоточные нивелиры Ni-002, НЗЛК и специальные линейки с миллиметровой шкале и корректирующими винтами для установки вертикального положения шкалы. Также для измерения ровности поверхности выполняется коротко шаговое нивелирование с целью определения статистического индекса «R» и оценке макро- и микрорельефа на соответствие требованиям.

Для измерения продольного профиля также используется микронивелира, в котором используется

электронный акселерометр, воспринимает любое ускорение, в том числе и гравитационное. Акселерометр определяет угол наклона чувствительного элемента относительно горизонтального положения. Используя фиксированные, с высокой точностью расстояния между опорными точками и измеряя угол наклона в точке измерения, выполняются вычисления и с высокой точностью определяется профиль. При проведении таких измерений с использованием, например, электронного микронивелира Dipstick-2000 были получены следующие результаты: на съемку двух продольных профилей ИВПП длиной 2500 м с шагом съемки 0,5 м расходуется 12–15 ч. непрерывной работы. По результатам сравнительного анализа было установлено, что погрешность распределения разности высот точек, удаленных на расстояние до 1 км при съемке с шагом 0,5 м составляет не более 2 мм. При этом появляется возможность работы в темное время суток, то есть в период наименьшей интенсивности полетов, которая практически отсутствует при использовании традиционных геодезических методов.

Однако потребность в геодезической информации постоянно растет, предъявляя новые требования как к объему и оперативности обновления геодезических данных об аэродроме. Наиболее важными сегодня являются следующие параметры:

- оценка деформационных характеристик искусственного покрытия взлетно-посадочной полосы (ВПП), рулежных дорожек (РД) перрона;
- результаты нивелирования для оценки ровности покрытия и построения профиля ВПП;
- координаты и высоты порогов для определения геометрических характеристик ВПП и границ областей приземления.

Поляриметрические методы определения уклонов искусственного покрытия дорог и аэродромов

Оптические методы измерения нашли широкое применение в различных областях науки и техники, а сфера их использования значительно расширилась за последние годы. Это связано с их преимуществами. Оптические методы измерения имеют следующие преимущества: бесконтактность измерения, неразрушающий контроль, высокая скорость, точность и чувствительность измерения и другие. Одним из наиболее чувствительных и точных методов оптических измерений является измерение поляризации излучения. Поляриметрические методы измерения позволяют измерять азимут плоскости поляризации излучения с точностью $0,0005^\circ$ (Peredacha... 2011).

Под поляриметрическими технологиями будем понимать совокупность процессов сбора, накопления, обработки, передачи, хранения и отображения информации, которые используют поляриметрические методы и устройства получения первичной информации об изучаемом объекте.

В настоящее время начал разрабатываться поляриметрический метод определения направления оп-

тического излучения (Skripets *et al.* 2015), который предлагается использовать для измерения уклонов искусственного покрытия дорог и аэродромов. Этот метод основывается на явлении поворота плоскости поляризации излучения после прохождения сквозь диэлектрическую изотопную пластину. Это явление объясняется различными коэффициентами пропускания p - и s -компонент падающего луча. Зависимость азимута плоскости поляризации проходящего луча от угла падения и азимута плоскости поляризации падающего луча имеет следующий вид:

$$\varphi_d = \arctan\left(\frac{\cos(i-r)}{\sin(i+r)} \tan \varphi_e\right), \quad (1)$$

где φ_e – азимут плоскости поляризации падающего луча; φ_d – азимут плоскости поляризации падающего луча; i – угол падения луча; r – угол преломления луча.

Блок-схема оптического канала измерения приведена на рис. 1.

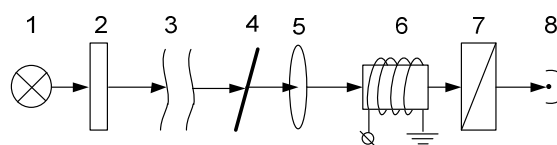


Рис. 1. Схема оптического канала измерения

Источник излучения 1 предназначено для излучения неполяризованного излучения. Оптический фильтр 2 предназначен для фильтрации излучения. Поляризованное излучение распространяется в среде распространения излучения 3. Диэлектрическая пластина 4 предназначена для поворота плоскости поляризации проходящего луча в зависимости от угла падения. Она обеспечивает получение первичной информации об угле падения и азимут плоскости поляризации излучения. Фокусирующая линза 5 предназначена для фокусировки поляризованного излучения после диэлектрической пластины на модулятор 6. Модулятор 6 предназначен для модуляции поляризованного излучения в переменном магнитном поле для повышения чувствительности измерения. Анализатор 7 предназначен для определения азимута плоскости поляризации проходящего луча. Фотоприемник 8 предназначен для преобразования интенсивности падающего излучения в электрический сигнал. Полученный электрический сигнал поступает в блок измерения для определения азимута плоскости поляризации и угла падения излучения.

Предложенный метод предусматривает использование системы измерения, которая состоит из двух основных сторон: блока излучения и блока измерения. Блок излучения размещается в стационарной точке в районе участка штучного покрытия, мониторинг которого нужно произвести, и предназначен для излучения поляризованного луча с определенным значением азимуту плоскости поляризации. Блок измерения размещается на подвижной основе, которая перемещается по поверхности штучного покрытия и предназначен для измерения азимута плоскости

поляризации проходящего луча и вычисления значений продольного и поперечного уклона участка штучного покрытия с некоторым, заведомо определенным, шагом.

На рис. 2 представлена общая схема поляриметрического метода измерения рельефа поверхности. Блок измерения 2, расположенный на подвижной основе 1 и принимает плоско поляризованное излучение. В процессе движения плоскость платформы и соответственно угол падения излучения будут менять свое направление в соответствии с рельефом покрытия. Угол падения излучения (следовательно, направление платформы и направление касательной к рельефу в области измерения рельефа) измеряется с точностью до десятков секунд. Зная направление касательной к рельефу, исчисляется и сам рельеф. Таким образом, повышается точность и быстродействие измерений.

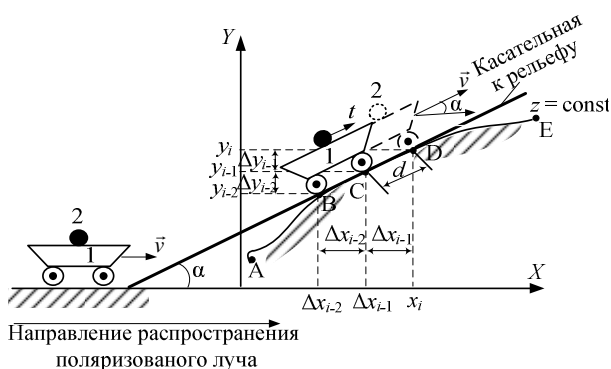


Рис. 2. Общая схема поляриметрического метода измерения рельефа поверхности

Обозначим длину рельефа от точки А к точке Е через S (см. Рис. 2), а расстояние между точками касания колес платформы с поверхностью рельефа (точки В, С и D) – d , скорость перемещения платформы – v .

Приращение функции Δy по отношению к приращению аргумента Δx для каждого шага измерения определяют по формуле:

$$\Delta y = \frac{dy}{dx} \Delta x. \quad (2)$$

В вышеупомянутой формуле производную функции определяют через измеренный угол α :

$$\operatorname{tg} \alpha = k = \frac{dy}{dx}. \quad (3)$$

Текущее i -тое измерения значений x и y при равномерном движении подвижной основы по поверхности рельефа равно:

$$x = x_i = \sum_{i=1}^n x_i; \Delta x_{i-1} = x_i - x_{i-1} = d \cdot \cos \alpha, \quad (4)$$

$$y = y_i = \sum_{i=1}^n y_i; \Delta y_{i-1} = y_i - y_{i-1} = d \cdot \sin \alpha, \quad (5)$$

$$x = x_n = \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n d \cdot \cos \alpha_i = d \sum_{i=1}^n \cos \alpha_i, \quad (6)$$

$$y = y_n = \sum_{i=1}^n y_i = \sum_{i=1}^n d \cdot \sin \alpha_i = d \sum_{i=1}^n \sin \alpha_i. \quad (7)$$

Значение $z = \text{const}$. В нашем случае это расстояние между осевыми линиями задних колес тележки. Зависимость между значениями y и z , которая определяется через поперечный угол β подвижной платформы относительно горизонта, определяют с помощью формул:

$$y = y_n = \sum_{i=1}^n y_i = \sum_{i=1}^n z_m \cdot \sin \beta_i = z_m \sum_{i=1}^n \sin \beta_i, \quad (8)$$

$$y = z_m = \sum_{j=1}^m z_j. \quad (9)$$

Регистрируя изменение углов падения лучей α , следовательно, и положение анализатора в пространстве определяем углы наклона подвижной основы, которые соответственно равны углам наклонов рельефа и соответствуют неровностям пройденного пути. Регистрируя значения этих углов, получим соответствующие значения перепада напряжения на выходе фоточувствительных элементов (переводим углы в напряжение). Осуществление синхронной передающие значения напряжений из трех анализаторов и значение пройденного пути с помощью радио передатчика (или сохраняя данных на флеш-памяти), установленного на подвижной основе, позволяет обеспечить привязку измеренных углы к соответствующим координатам. После окончания процесса измерения проводится анализ и моделирование измеренного рельефа с помощью компьютерной техники. На основе обработки данных определяются значения параметров, характеризующих рельеф.

Выводы

В работе рассмотрены существующие устройства для измерения рельефа искусственных покрытий аэропортов и предложены поляриметрический метод измерения рельефа поверхности. Использование предложенного метода позволит потенциально повысить точность и быстродействие измерений рельефа искусственных покрытий аэропортов, а также позволит обеспечить их полную автоматизацию.

Литература

Annual Report of the ICAO Council: 2015.

Application dielectric isotropic plate in technique for determine the direction of light beam. Skripets A.V. et al. *Proceeding of XI International conference «Electronics and Applied Physics»*. October, 21–24, 2015, Kyiv, Ukraine. 2015. P. 174–175.

Skripets, A.V. et al. 2011. Peredacha azy'muta ob'ekta na rastoyany'e s pry'meneny'em magny'toopy'cheskogo modulyatora, Elektronika ta sy'stemy' upravlinnya. 1(27): 5–8.