

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДЕКСА РОВНОСТИ МЕТОДОМ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

А.А. Горб, А.И. Горб

Навигационно-геодезический центр, Харьков

Ключевые слова: ровность поверхности, наземное лазерное сканирование, ВПП ХАЗ.

Постановка проблемы

Одним из важных показателей эксплуатационного состояния взлетно-посадочных полос (ВПП) является ровность покрытия. В настоящее время ровность принято оценивать локальным отклонением поверхности качения колес самолета от геометрически идеальной поверхности для каждого геометрического элемента продольного профиля. Если отклонения имеют правильную форму, то математически их описывают синусоидальной, параболической, кусочно-прерывной функциями или функциями иного характера и называют детерминированными. Большинство же неровностей имеет случайный характер и поэтому их описывают гармоническими функциями и оценивают методами математической статистики, теорией вероятностей случайных процессов [1, 2], вычисляя амплитуду и частоту колебания, дисперсию, спектральную плотность распределения дисперсии амплитуд и уклонов продольного профиля. При этом определяют амплитуды и частоты колебаний, среднеквадратичные величины вертикальных ускорений, законы распределения и т.п.

Прямое определение неровностей как на автомобильной дороге, так и на ВПП производится с помощью измерительных реек, нивелиров и профилографов различных конструкций [3, 4]. Косвенное определение основано на записи относительных колебаний неподдресоренных и поддресоренных масс транспортных машин или специальных испытательных прицепов (установок). Критерием ровности в этом случае является сумма амплитуд колебаний, отнесенная к единице длины. Чаще всего размерность этого критерия выражается в м/км.

Связь с важными научными и практическими заданиями

В связи с проведением в Украине ЕВРО-2012 все украинские аэропорты, принимающие международные воздушные судна, должны соответствовать стандартам ИСАО. Поэтому существует острая необходимость привести отечественные документы по стандартизации аэропортов к международным нормам.

Анализ последних достижений и публикаций, которые относятся к решению этой проблемы

Ровность покрытия можно определить тремя показателями.

1. Индекс ровности R рассчитывают по формуле

$$R = 6,48 - \frac{4,62 \times c}{0,21^{k-2}}, \quad (1)$$

где c – коэффициент, характеризующий уровень спектральной плотности неровностей; k – коэффициент, характеризующий форму спектральной плотности неровностей.

В табл. 1 приведены все значения индекса ровности R .

Таблица 1

Значения индекса ровности R

R	Характеристика
5,0 и выше	отличная
4,9–4,6	хорошая, ближе к отличной
4,5–4,0	хорошая
3,9–3,6	хорошая, ближе к удовлетворительной
3,5–3,0	удовлетворительная
2,9–2,6	удовлетворительная, ближе к критической
2,5–2,0	критическая
2,0 и ниже	неудовлетворительная

2. Международный индекс ровности IRI [5], определяемый по формуле

$$E(IRI) = 1,65 + 0,08P + 0,0005P^2, \quad (2)$$

где $E(IRI)$ – оценка ровности участка по IRI , м/км; P – количество просветов под трехметровой рейкой, превышающих величину 3 мм. Эта величина выражается в процентах от общего количества просветов, полученных при измерении трехметровой рейкой на выбранном участке.

В табл. 2 приведены значения индекса ровности IRI в различных странах, в табл. 3 – значения IRI для ВПП, применимые к Украине.

3. Интегральный показатель I кривой среднего СКО профиля. Суть определения I заключается в определении площади, ограниченной сверху кривой ССКО, осью абсцисс снизу и ординатами начальной и конечной точек исследуемого линейного диапазона. Если $I > 1$, то ВПП непригодна к эксплуатации; если $I \leq 1$, то ВПП пригодна к эксплуатации.

Таблиця 2

Градации ровности дорог по IRI

№ п/п	Страна, место использования показателя IRI, начало использования	Характеристика ровности	Значение IRI, м/км
1	Бельгия, 1984 г.	класс А. Очень хорошая ровность	до 2
		класс В. Хорошая ровность	от 2 до 4
		класс С. Средняя ровность	от 4 до 6
		класс D. Плохая ровность	от 6 до 8
		класс E. Очень плохая ровность	более 8
		порог вмешательства	более 6
2	Швеция, 1988 г.	очень хорошая ровность	до 1,5
		хорошая ровность	1,5 – 2,5
		средняя ровность	2,5 – 3,5
		удовлетворительная ровность	3,5 – 4,5
		неудовлетворительная ровность	> 4,5
3	Финляндия, 2000 г.	автомагистрали	до 1,7
		прочие двухполосные государственные и национальные дороги	до 1,9
		прочие дороги общего пользования	до 2,1
4	Международный эксперимент (Мировой банк, Бразилия, 1982 г.)	взлетно-посадочные полосы в аэропортах и высокоскоростные автомобильные дороги	0,8 – 1,3
		новые дорожные покрытия	1,3 – 3,3
		эксплуатируемые автомобильные дороги	2,3 – 5,5
5	Международный эксперимент FILTER (Нидерланды, 1998 г.)	хорошая ровность	до 1,5
		средняя ровность	от 1,5 до 3,5
		плохая ровность	более 3,5

Таблиця 3

Значения IRI для ВПП в Украине

IRI, м/км	Характеристика
1,0 – 3,0	отличная
3,0 – 5,0	хорошая
5,0 – 7,0	удовлетворительная
7,0 – 10	критическая
10 – 20	неудовлетворительная

Индекс ровности (IRI) характеризует накопленные вертикальные перемещения подвески транспортного средства на скорости 80 км/ч.

В Украине основным показателем ровности ВПП принято считать индекс ровности R. К инструментальным методам определения R относятся:

- метод короткошагового геометрического нивелирования;
- метод измерения просветов трехметровой рейкой;
- метод измерения превышений лазерными датчиками с движущейся платформы;
- метод регистрации толчков посредством движущейся тележки (толчкомер).

Толчкомеры [5] – наиболее распространенные и недорогие средства измерения ровности в Украине и России. Простота конструкции, высокая производительность при минимальных затратах актуализируют их применение при строительстве, эксплуатации и диагностике покрытия дорог и ВПП.

Методу толчкомера присущи недостатки, связанные с повторяемостью и сопоставимостью результатов измерений. Эти недостатки обусловлены, главным образом, техническим состоянием транспортного средства, динамикой изменения параметров его подвески и шин, а также факторами методического характера.

Из всех вышперечисленных методов, несмотря на трудоемкость и высокую стоимость, метод короткоша-

гового геометрического нивелирования является самым точным в определении ровности покрытия ВПП. Этот метод можно реализовать с помощью:

- наземного лазерного сканирования;
- тахеометрической съемки;
- нивелирной съемки.

В работе детально рассмотрен метод наземного лазерного сканирования, так как он обладает неоспоримыми преимуществами перед другими двумя методами.

Изложение основного материала

Суть метода состоит в том, что с помощью лазерного сканера определяются высотные отметки (Z-координаты) продольного профиля поверхности ВПП в местах прохода основных стоек шасси воздушного судна. Сканер поочередно устанавливается либо вдоль линии центра (рис. 1), либо по краям ВПП от начала и до конца ВПП.

После завершения этапа сканирования наступает этап сшивки “регистрации” сканов в единое облако точек. После полной сшивки облако точек очищается от различных ненужных объектов или “шумов”. Дальнейший этап обработки заключается в построении продольных и поперечных профилей полотна ВПП и выбора высот, находящихся на одинаковом расстоянии друг от друга (через 0,25 или 0,5 м) из двух продольных профилей полотна ВПП. Эти профили выбирают на одинаковом расстоянии (4–5 м) с двух сторон от средней линии ВПП и параллельно ей – в местах прохода основных стоек шасси воздушного судна (самолета). Высоты записывают в отдельный файл с расширением *.XLS. Затем специальный математический программный комплекс рассчитывает файл с высотами и выдает оценку ровности полотна и строит диаграммы распределения неровностей по поверхности ВПП.

Метод лазерного сканування має переваги порівняно з двома іншими методами короткошагового геометричного нивелювання:

- безперешкодна зйомка для руху повітряних судів по ВПП (якщо сканер встановлено на краях ВПП);
- можливість роботи вночі;
- зменшення витрат виконавчої і топографічної зйомки;
- більш якісний результат, високий рівень деталізації (десятки мільйонів точок);
- зменшення витрат за рахунок швидкої і невідрушкової зйомки і мінімального часу польових робіт;
- точність сканування ± 4 мм;
- більш точні плани і звіти виконавчої зйомки.

До недоліків методу можна віднести:

- неможливість роботи в дощ і при отрицательних температурах;
- відносно невелика дальність вимірювань (160 м – за 1 скан).

Метод короткошагового геометричного нивелювання з використанням лазерного сканера апробовано при аналізі індексу рівності ВПП Харківського авіаційного заводу.

В червні 2010 р. спеціалісти компанії «Навігаційно-геодезичний центр» (НГЦ) виконали роботи по наземному лазерному скануванню взлітно-посадочної смуги аеродрому Харківського авіаційного заводу (Харків-Сокольники). Вимірювання проводилися лазерною скануючою системою Leica ScanStation компанії Leica Geosystems (Швейцарія).

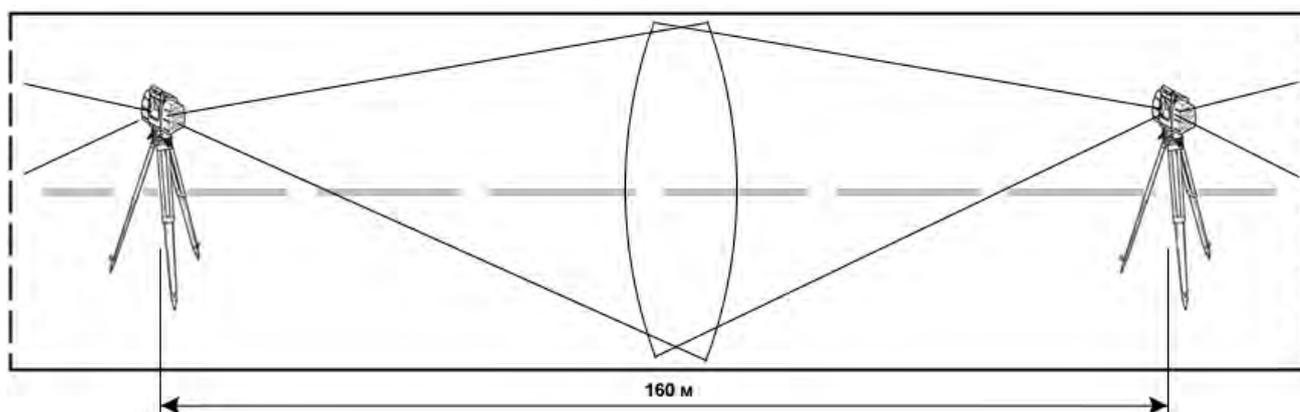


Рис. 1. Схема розташування лазерного сканера на ВПП

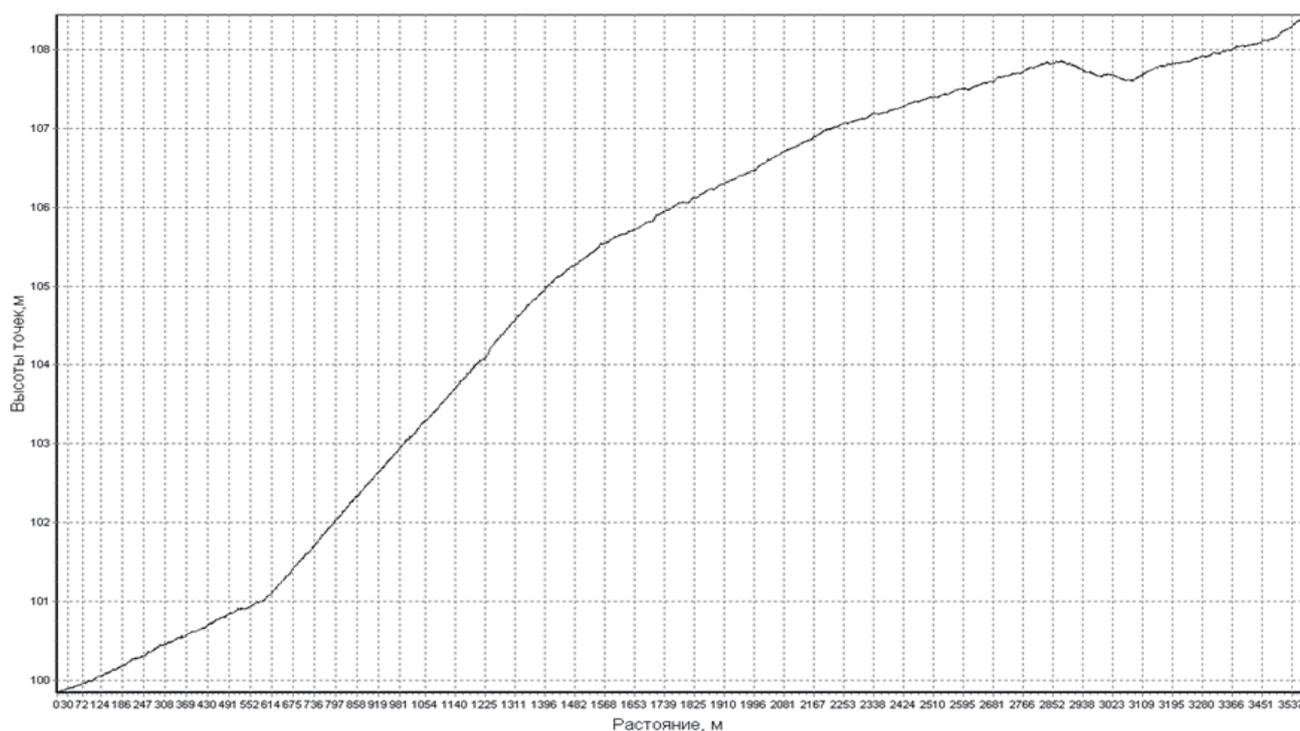


Рис. 2. Продольний профіль смуги наката № 1

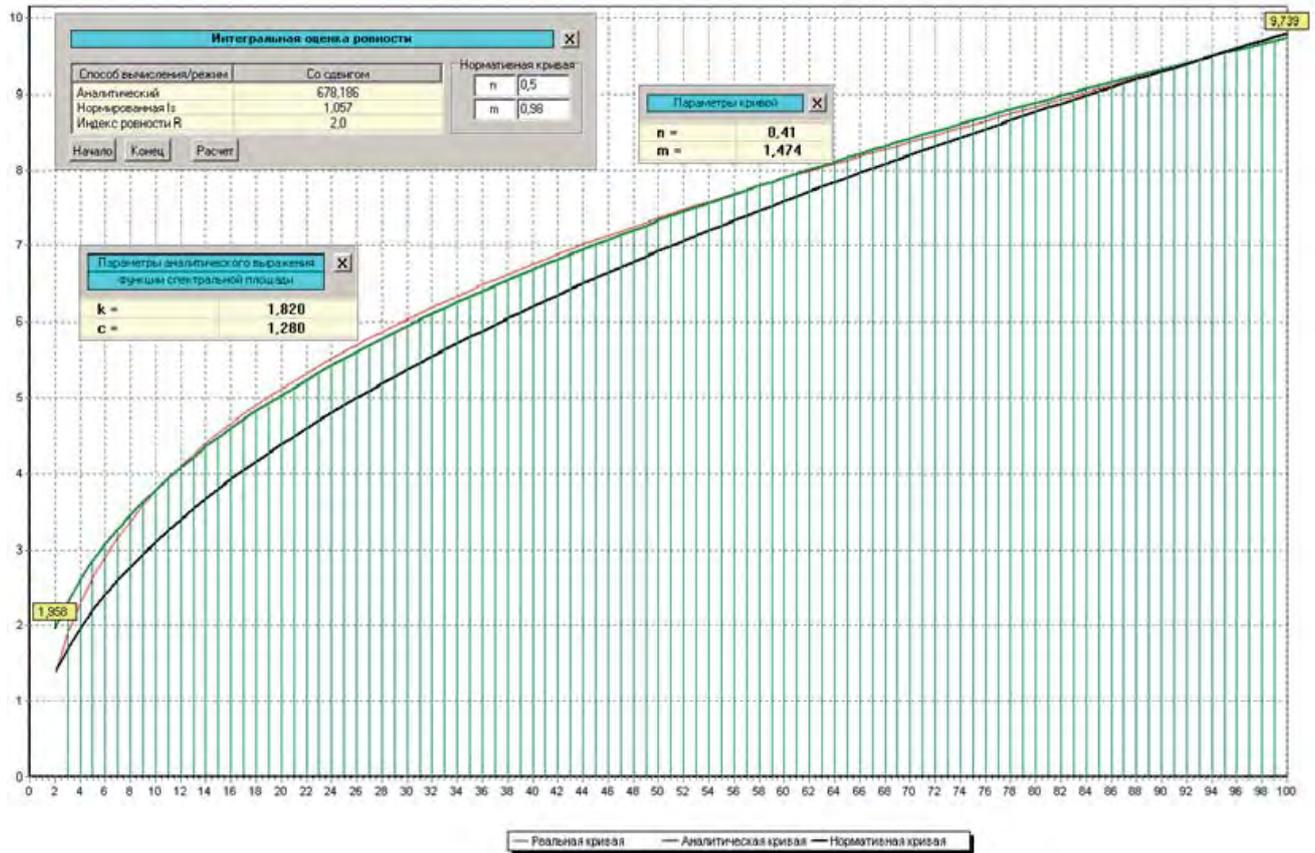


Рис. 3. Результаты аппроксимации и оценки неровностей полосы наката № 1

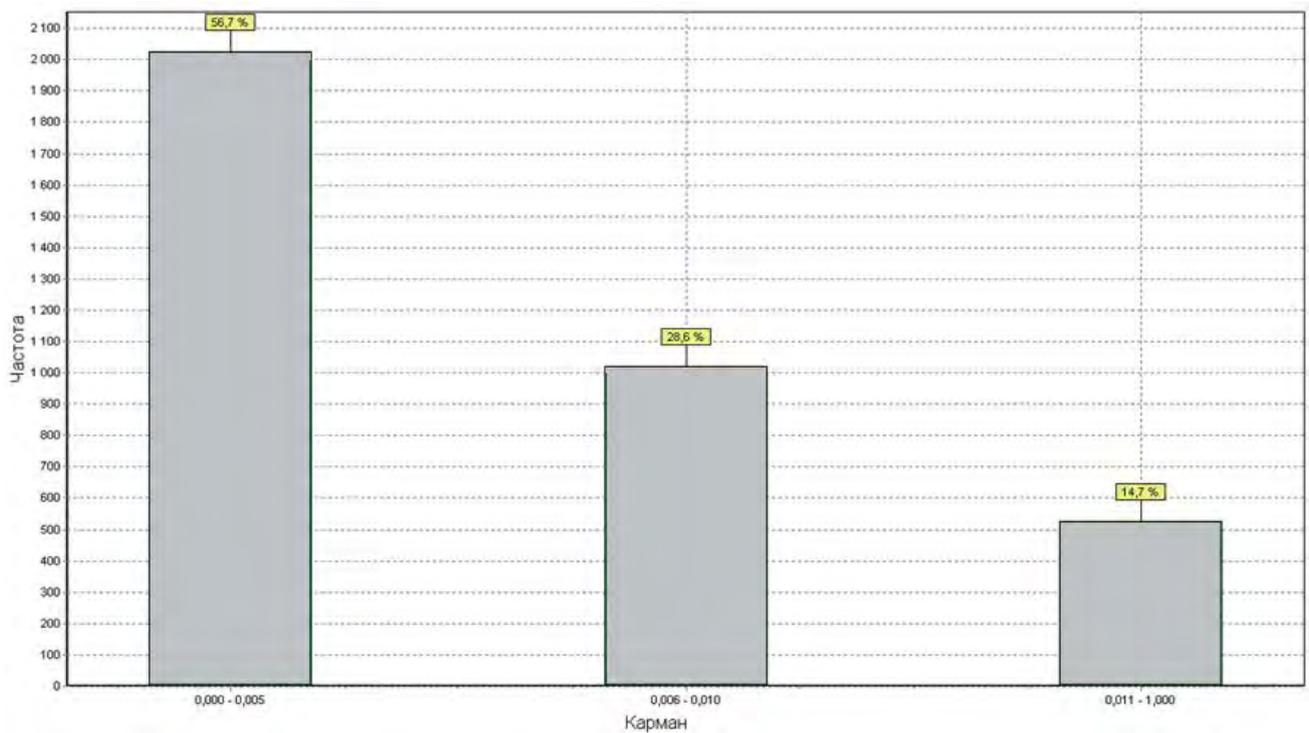


Рис. 4. Диаграмма распределения неровностей

В результате была отсканирована территория ВПП протяженностью 1800 м с общей площадью сканирования 5,4 гектара (54000 м²). Всего при сканировании ВПП ХАЗ получено более 36 миллионов координатных точек.

Обработка геодезических измерений, полученных лазерным сканером, производилась в программном комплексе Leica Cyclone версии 7.0.2 компании Leica Geosystems. В результате обработки получены:

1. Набор поперечных профилей полотна ВПП через каждые 0,5 м по всей протяженности ВПП (1800 м).

2. Два продольных профиля по всей протяженности полотна ВПП в местах прохода основных стоек шасси воздушного судна.

3. Набор высотных отметок продольных профилей полотна ВПП с шагом 0,5 м для определения показателей R и I (всего получено 7200 таких точек).

Обработка полученного массива Z-координат осуществлялась в специализированном математическом программном комплексе. Ее результатами стали (рис. 2):

1. Вычисление индекса ровности R полотна ВПП ХАЗ (рис. 3).

2. Вычисление интегрального показателя кривой среднего СКО профиля I ВПП (рис. 3).

Построение диаграмм распределения неровностей по поверхности ВПП (рис. 4).

Полученные значения индекса ровности R и интегрального показателя кривой среднего СКО профиля I ВПП приведены в табл. 4.

Таблица 4

Полученные значения R и I для ВПП ХАЗ

№ профиля	R	I
профиль 1	2,0	1,057
профиль 2	1,9	1,075

Выводы

Из проведенных исследований и обработки результатов следует, что применение существующей методики определения индекса ровности для эксплуатирующихся ВПП является корректным. Существующая методика требует некоторых усовершенствований и доработки.

1. Для оценки ровности вновь построенных, отремонтированных и эксплуатируемых ВПП необходимо применять метод короткошагового геометрического нивелирования.

2. Ровность ВПП зависит не только от дефектов, расположенных на покрытии, но и от элементов продольного профиля, заложенных на стадии проектирования.

3. В нормативных документах по строительству дорог необходимо установить допуски, соблюдая знаковую системность.

4. Полученные результаты указывают на неудовлетворительное состояние ВПП и необходимость улучшения эксплуатационных свойств ВПП.

Литература

1. Characteristic Power Spectral Density Functions for Vertical and Roll Components of Road Roughness / Symposium on Simulation and Control of Ground Vehicles and Transportation Systems. Proceedings., L. Segel, J.Y. Wong, E.H. Law and D. Hrovat ed., American Society of Mechanical Engineers, New York, 1986. – P. 113–139.
2. Диагностика автомобильных дорог: учеб. пособ. / И.И. Леонович, С.В. Богданович, В.В. Голубев и др.; под ред. И.И. Леоновича. – Мн.: БНТУ, 2002. – 357 с.
3. The International Road Roughness Experiment. Establishing Correlation and a Calibration Standard for Measurements: World Bank Technical Paper Number 45. WTP-45/ Sayers M.W., Gillespie T.D., Queiroz C.A.V./THE WORLD BANK. Manufactured in the United States of America, 1986. – 453 p.
4. Road Transport Research. Road surface characteristics: their interaction and their optimization: Report Prepared By An OECD Scientific Expert Group / Organisation For Economic Co-Operanion And Development. Paris. 1984. – 207 p.
5. Руководство по оценке ровности дорожных покрытий толчкометром: отраслевой дорожный методический документ / Росавтодор, ГПИиНИИ “Аэропроект”. – М.: Информавтодор, 2002. – 17 с.

Визначення індексу рівності методом наземного лазерного сканування

А.О. Горб, О.І. Горб

Викладена методика визначення індексу рівності полотна ВПС методом наземного лазерного сканування. За допомогою цієї методики виконано практичні дослідження індексу рівності ВПП Харківського авіаційного заводу.

Определение индекса ровности методом наземного лазерного сканирования

А.А. Горб, А.И. Горб

Изложена методика определения индекса ровности полотна ВПП методом наземного лазерного сканирования. С помощью этой методики проведены практические исследования индекса ровности ВПП Харьковского авиационного завода.

Definition of evenness index by method of ground-based laser scanning

A.A. Gorb, A.I. Gorb

The technique of definition the evenness index of roadbed runway by ground-based laser scanning. As part of this technique studies were carried out the evenness index of runway Kharkov aviation plant.