

## **Использование средств цифровой фотограмметрии при решении нетопографических задач для определения параметров шероховатости дорожных покрытий автомобильных дорог”.**

Московский автомобильно-дорожный институт (технический университет) Кафедра изысканий и проектирования автомобильных дорог. Инж. А. А. Шевяков, 2001 год.

На современном этапе развития компьютерных технологий, стало возможным расширить область применения дистанционного метода зондирования. Одним из наиболее развитых методов дистанционного зондирования является получение, хранение, обработка и передача фотограмметрической информации в цифровом виде. Цифровые фотограмметрические системы (ЦФС) топографического назначения делают актуальной оценку возможностей их использования при исследовании поверхностей и объектов различного происхождения.

На кафедре изысканий и проектирования дорог МАДИ (ТУ) ведутся работы по использованию данных дистанционного зондирования при исследовании различных текстур поверхностей покрытий автомобильных дорог (макросъемка). Первой задачей, которая была решена, явилась применение цифровой фотограмметрической системы PHOTOMOD фирмы “Ракурс” совместно с автоматизированной системой проектирования дорог “Кредо” для получения высокоточной цифровой модели местности, которая послужила основой для трассирования автомобильной дороги. Другое направление исследований было направлено на разработку методики исследования шероховатости дорожного покрытия, его износ, шелушение материала покрытия и дорожных сооружений, образование колеиности и трещин и т.д., т.е. решалась нетопографическая задача.

В качестве базовой цифровой фотограмметрической системы была использована версия PHOTOMOD Lite, имеющая ограничение максимального разрешения снимков, составившее 2000x2000 пикселей. Получение снимков исследуемых поверхностей осуществлялась цифровой фотокамерой OLIMPUS C-21, имеющей максимальное разрешение 1600x1200 пикселей.

Фотограмметрический комплекс PHOTOMOD Lite состоит из четырех модулей, отвечающие за определенный вид обработки стереопары. Также было установлено, что на построение высокоточных цифровых моделей влияние оказывают параметры фотокамеры: фокусное расстояние, значение и направленность дисторсии, положение главной точки снимка, выбор базиса фотоаграфирования. Эти параметры определялись с помощью калибровки, которая вычисляет истинные значения фокусного расстояния и главной точки, а также выявлены места искажений снимка, появляющиеся на краях кадра. Важной характеристикой фотокамеры является коэффициент, учитывающий свойства объектива (широкоугольный или длиннофокусный) и являющимся отношением отстояния объекта до камеры к линейному размеру снимка.

Технологический процесс обработки стереопар с учетом вышеперечисленных особенностей представляет собой оптическое сканирование исследуемой поверхности (фотографирование и получение стереопары), проведение взаимного ориентирования в результате которого создается высокоточная цифровая модель поверхности. Все пространственные измерения осуществляются в реальных координатах пользователя, т.е. в тех координатах, которые исследователь задает при взаимном ориентировании. Точность определения значений координат всех точек цифровой модели, определяется точностью ввода опорных точек, которая составила 0,01 мм. Тест - измерения показали, что средняя ошибка измерений в плане составила 0,05%, а по высоте 0,024 %, при этом вычисленный размер пиксела изображения оказался равным 0,027 - 0,11 мм в зависимости от высоты съемки, т.е. частицы, имеющие размеры больше или равные указанным значениям пиксела, хорошо поддаются обработке.

Ортотопоплан является основой для построения продольных и поперечных профилей, в зависимости от того, как была сориентирована поверхность по отношению к общему плану дороги. Необходимо было установить, какое количество профилей характеризует исследуемую текстуру. В качестве основного параметра шероховатости использовалась максимальная высота профиля ( $R_{max}$ ) от базовой линии в пределах ее длины. Для этого были построены 30 сечений (профилей), при чем каждое сечение автоматически разбивалось на 200 точек, в результате чего шаг зондирования колебался от 0,95 до 1,3 мм, а расстояние между сечениями равнялось 5 мм. Площадь поверхности составила 650 – 750 см<sup>2</sup>. В результате анализа текстуры полученных профилей было установлено, что для получения достоверных данных о величине шероховатости достаточно обработать не более 6 – 7 сечений.

Благодаря широким возможностям и способности варьирования элементами алгоритма в цифровой фотограмметрической системе PHOTOMOD Lite, а также разработанной методике обработки цифровых

снимков дорожной поверхности в этом комплексе, стало возможным получения высокоточных цифровых моделей поверхностей и на их основе ортофотопланов.

Так как цифровая модель поверхности несет в себе информацию о трехмерных координатах точек текстуры, обработанных алгоритмом расчета объемов пустот и выступов шероховатой поверхности, то благодаря этому вычисляются такие параметры как: средняя приведенная высота выступов ( $R_{cp}$ ), средняя приведенная глубина впадин ( $H_{cp}$ ), средняя высота выступов ( $R_z$ ) и коэффициент шага шероховатости ( $K_{ш}$ ). Профиль шероховатой поверхности, полученный вследствие аппроксимации поверхности текстуры с шагом, задаваемым на этапе построения триангуляционной сетки цифровой модели, дает возможность\_\_ рассчитывать параметры микрогеометрии, к которым относятся: среднее арифметическое отклонение профиля ( $R_a$ ), высота неровностей по десяти точкам ( $R_z$ ), наибольшая высота профиля ( $R_{max}$ ), средний шаг неровностей ( $S_m$ ), угол при вершине выступов ( $\alpha$ ), радиус при вершине выступов ( $r$ ) и относительная опорная длина профиля ( $t_p$ ). На кафедре проектирования дорог разработана автоматизированная система расчета параметров микрогеометрии дорожных текстур, в основу которой положены алгоритмы, реализующие обработку как трехмерных координат точек цифровой модели поверхности покрытия, так и двумерных координат точек, полученных в результате построения профилограмм на ортофотоплане.

Автоматизированная программа разработана под операционную систему MS-DOS и обрабатывает массив данных, который хранится в текстовом формате. Обработка профилограмм, имеющих значения точек по двум координатам X или Y, Z реализует следующие этапы определения параметров: на первом этапе строится линия регрессии ( $Z = aX + b$ ), где определяются значения коэффициентов a и b, а также вычисляются значения угла наклона профиля ( $j$ ) относительно горизонтальной линии и коэффициент корреляции ( $R$ ); на втором этапе происходит пересчет старой системы координат в новую систему путем переноса осей в точку центра масс профиля с координатами ( $X_{cp}, Z_{cp}$ ) с разворотом на угол  $j$ ; на третьем этапе происходит расчет углов при вершине выступов; на четвертом этапе рассчитывается шаг между неровностями, т.е. определяются точки максимума, строится гистограмма и кумулятивная кривая, благодаря которой определяются средние величины расстояний и значения, соответствующие 50% -му уровню обеспеченности; на пятом этапе определяется величины радиусов при вершине выступов, значения которых соответствуют средним и 50% -му уровню обеспеченности; на шестом этапе рассчитывается среднее арифметическое отклонение профиля, наибольшая высота выступов и высота неровностей по десяти точкам, пять из которых принадлежат наименьшим точкам минимума, а пять другим наибольшим точкам максимума; на седьмом этапе происходит расчет значений опорной длины профиля (кривой Аббота), которая служит для оценки фактической площади касания протектора шины с поверхностью, исходя из уровня сближения, контурного давления в зоне контакта и упругой характеристики резины.

Другой алгоритм обработки связан с получением информации о текстуре шероховатой поверхности, касающейся только определения высотных параметров, значения которых рассчитаны с более высокой достоверностью. Реализация данного алгоритма заключается в том, что вычисление\_\_ объемов происходит в результате наложения поверхности, состоящей из правильных шестиугольников, на локальные максимумы или на локальные минимумы заданной поверхности, представленной исходным массивом трехмерных координат. Между этими двумя поверхностями вычисляются объем пустот или объем выступов. То есть на данном шаге строится триангуляционная решетка, опирающаяся на вершины выступов или вершины впадин и являющейся кусочно-линейной поверхностью в трехмерном пространстве. Параллельно с этим вычисляются площади проекции поверхности пустот и выступов на плоскость XOY. Следующим шагом является вычисление высотных параметров, определяемых по формулам:

$$H_{cp} = V_p / S_p \quad (1)$$

$$R_{cp} = V_v / S_v \quad (2)$$

$$R_z = H_{cp} + R_{cp} \quad (3)$$

$$K_{ш} = V_p / (V_p + V_v) = V_p / V_{ш.сл} \quad (4)$$

Проведенные исследования текстуры покрытия, выполненного по способу поверхностной обработки, методом дистанционного зондирования поверхности, позволили убедиться в том, что спроектированные цифровые модели с высокой точностью описывают текстуру любой поверхности, что в свою очередь позволяет, получать высокоточные значения параметров шероховатости на разных участках покрытий. В дальнейшем представляется возможным рассчитывать параметры шероховатости по объему, используя для этого третью координату ( $Z$ ). Это даст возможность получать абсолютные значения параметра шероховатости и позволит найти корреляционную связь с коэффициентом сцепления для косвенного определения последнего.

Применение цифровых моделей при оценке различных текстур поверхностей позволяет производить оценку с очень высокой точностью рассчитываемых параметров, а также дает

возможность визуализировать и контролировать процесс проектирования на всех стадиях становления.

Разработанная технология не зависит от условий и характера движения автомобилей по дороге, обладает высокой производительностью (время необходимое для получения исходной стереопары обследуемого участка покрытия составляет 30-40 с.) и функциональными возможностями по сравнению с традиционными способами и методами оценки текстур поверхностей покрытий и других объектов.