

---

характеризуются влиянием различных специфических факторов (переменная интенсивность эксплуатации, случайность величины суммарной наработки однотипных изделий и т.д.).

В рамках широкой научной и практической проблемы обеспечения безопасной и эффективной эксплуатации судов за техническим состоянием выделена актуальная научная задача по совершенствованию методического обеспечения управления техническим состоянием агрегатов средств водного транспорта по уровню надежности при нестабильных условиях наблюдений.

**Ключевые слова:** система технической эксплуатации, средства водного транспорта, надежность, научно-методическое обеспечение эксплуатации, характеристики эксплуатации.

Рецензент: д.т.н., профессор Пашков Д.П.,  
Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління

УДК 528.

**Иванова Л.И.**

## ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ ФОТОГРАММЕТРИИ

В статье рассматриваются основные направления развития современной инженерной фотограмметрии. Приводятся сведения о техническом оснащении съемочных работ, о методах получения измерительной информации по результатам съемок. Наряду с существующими технологиями рассматривается современное направление съемочных работ – лазерное сканирование.

**Ключевые слова:** инженерные виды съемок, фотограмметрические съемки, лазерное сканирование, фотографические камеры, цифровые камеры, 3D-камеры.

**Введение и историческая справка.** Фотограмметрия, как метод бесконтактных измерений объектов, нашла широкое применение при создании топографических карт и планов, а также при решении различных инженерных задач, связанных с выполнением измерительных работ.

Более чем 170-летний период развития фотограмметрии расширил возможности этого метода в различных сферах деятельности человека. По мере развития науки и техники в целом развивались и совершенствовались фотограмметрические методы.

Инженерная фотограмметрия возникла вслед за появлением фотографии (1839 г.) хотя простейшие способы получения перспективных изображений известны за 350 лет до н.э., а теория перспективы разрабатывалась в эпоху Возрождения.

Изначально использовалась наземная фотографическая съемка для решения задач архитектуры, при изысканиях железных дорог, при попытках составления топографических планов. Но несовершенство технических средств получения и использования фотоснимков ограничивало их применение.

С появлением летательных аппаратов активизировалась работа по совершенствованию съемочных камер, разрабатывались и совершенствовались обрабатывающие приборы, уделялось внимание теоретическим основам фотограмметрии как наземной, так и воздушной. Профессор Урмаев Н.А., в 1937г. доказал, что формулы наземной фотограмметрии есть частный случай общих уравнений воздушной фотограмметрии. Методы инженерной

---

фотограмметрии использовались при горных работах, в маркшейдерии, геологии, промышленном и гражданском строительстве, в архитектуре, при изысканиях и проектировании трасс линейных сооружений, в сельском хозяйстве и др. отраслях. При решении этих задач использовались наземные и воздушные съемки.

**Инженерные задачи решаемые методами фотограмметрии.** Стремительное развитие электронно-вычислительной техники в последние годы позволило применять для обработки фотоснимков цифровые технологии, что влечет за собой разработку и использование цифровых съемочных камер, разработку теории и методики обработки цифровых снимков.

В настоящее время области применения методов фотограмметрии при решении инженерных задач постоянно расширяются. Это связано с появлением новых и совершенствованием существующих фотографических и нефотографических видов съемок, расширением возможностей космических съемок с высоким и сверхвысоким разрешением, разработкой нового и совершенствованием существующего программного обеспечения для обработки различных видов съемки.

Развитие методов инженерной фотограмметрии базируется на достижениях фотограмметрической науки в целом, а также на использовании других отраслей знаний, таких как: теория цифровой обработки изображений, компьютерное зрение, теория сигналов и распознавание образов и др.

Основными направлениями инженерной фотограмметрии в настоящее время являются:

- строительство и архитектура;
- изыскания и проектирование линейных сооружений;
- гидрографические изыскания;
- решение горно-метрических задач;
- геология;
- сельское и лесное хозяйство;
- промышленные объекты;
- экологические вопросы и многие другие.

Для решения инженерных задач методами фотограмметрии применяют различные съемочные камеры.

При космической съемке используют снимки с высоким и сверхвысоким разрешением (50-60 см) со спутников ДЗЗ, оснащенных оптико-электронной

аппаратурой. К ним относятся World-View-1 (США), QuickBird (США), Eros-B (Израиль) разрешающая способность этих снимков в панхроматическом режиме до 1м, используются и другие, с меньшим разрешением.

По материалам космических съемок производится поиск и прогнозирование полезных ископаемых, инвентаризация и мониторинг земли, изучение и решение задач лесного хозяйства, транспорта, коммуникации, связи и т.д.

**Съемочные камеры используемые в инженерной фотограмметрии.** При аэросъемке для решения задач картографирования, инженерных изысканий, кадастра, землеустройства наряду с фотографическими камерами используют цифровые съемочные камеры. Их подразделяют на

- неметрические Hasselblad H2, Canon E02 и др.;
- цифровые камеры среднего формата - DSS (Applanix, Канада), AIC Integral, Rolley (Fototechnic, Германия) и др.;
- аэрокамеры большого формата - DMC (Z/I Imaging Corp, США), Ultracamd, Ultracamx (Vexcel Imaging, Австрия) и др.;
- сканерные аэросъемочные системы - ADS-40 (Leica Geosystems, Швейцария), 3DAS-1 (совместная разработка Wehrli Associates, США и Geosystem, Украина) и др.

Съемка может производиться одновременно несколькими камерами с различными объективами.

---

Для наземной съемки используют метрические и неметрические цифровые камеры. Метрические камеры изготавливают различные фирмы. Наиболее распространенными камерами есть такие: USA EOS, DCS1, D2000, Kodak DCS 420, 460, 520, Kodak DC 210, Nikon, Minolta и др. Используются также камеры среднеформатные: RCD 100 (Leica Geosystems, Швейцария), семейство камер RMK (Integrgraph, США), которые предназначены для съемки небольших площадных объектов или вытянутых вдоль определенных направлений. Эти камеры обладают сравнительно высокой разрешающей способностью, но и высокой стоимостью.

Наряду с метрическими цифровыми камерами широко используют цифровые фотоаппараты различных классов. Для них должна быть выполнена полная калибровка, т.е. определены элементы внутреннего ориентирования и дисторсия объектива.

Для инженерных целей используются также видеокамеры, такие как DCK-VX9000E с углом зрения  $60^\circ$ , Sony-235, Panasonic M-9000, S-VHS MOVIE с разрешением 400 точек на дюйм.

При фотографировании с воздуха возможно выполнение видеосъемки на камеру Canon 5D Mark I с разрешением Full HD 1920x1080. Известен опыт применения подводных камер для составления планов подводного дна, обследования подводных трубопроводов, кабелей, подводных сооружений. Для этих целей использовались камеры фирмы «Никоно» с форматом 35мм, фокусное расстояние 35мм и 70мм. Для съемки шельфа морского дна использовались камеры Фоторама фирмы «Ребикофф».

Для изучения микрорельефа поверхностей используют растровые электронные микроскопы РЭМ [9].

Этот далеко не полный обзор съемочной аппаратуры для решения инженерных задач свидетельствует о том, что за последние 10-15 лет произошли существенные изменения в технологиях съемок, сборе и обработке данных пространственного размещения объектов, получения их качественных и количественных характеристик.

**Современные методы обработки материалов съемок.** Для обеспечения заданной точности производства работ производится расчет параметров съемки по известным формулам. Виды съемок могут быть разнообразны в зависимости от снимаемых объектов: нормальный, с вертикальным базисом, с наклоном оптических осей и др.

При съемке объект должен быть полностью отображен на снимке и обеспечено дешифрирование отдельных элементов.

Программная реализация фотограмметрической обработки материалов съемок есть решение прямой и обратной фотограмметрической засечек.

При решении прямой фотограмметрической засечки по измеренным координатам точек на снимках и известным элементам внутреннего и внешнего ориентирования снимков определяют координаты точек объектов, создают цифровые модели местности и рельефа.

Для решения обратной фотограмметрической засечки необходимы координаты каких-либо точек местности и измеренные координаты точек на снимках. В результате решения обратной фотограмметрической засечки возможно определить пространственные координаты точек местности и элементы ориентирования.

По цифровым снимкам методами фотограмметрии возможно получать ортофотоснимки и ортофотопланы. При этом реализуется обратная фотограмметрическая засечка.

Совместное использование геодезических и фотограмметрических измерений имеет цель достичь максимальной точности при минимальных затратах средств и труда. Области совместного использования этих методов в строительстве - это наблюдения за горизонтальными и вертикальными смещениями точек на различных уровнях сооружений, для обеспечения геометрической точности технологических процессов, наблюдения за деформациями естественных и искусственных объектов, за динамическими процессами природной среды и др.

---

Разработаны универсальные методы пространственной фототриангуляции по метрическим и неметрическим снимкам, разработана единая система моделей геодезической и фотограмметрической измерительной информации.

За последнее десятилетие возникли новые направления выполнения измерительных работ дистанционным методом – это трехмерное сканирование. Появилась возможность получать изображения моделей объектов, сооружений, застроенных территорий с максимальной полнотой и детальностью. Наземное лазерное сканирование стало одним из направлений для получения геометрических характеристик крупногабаритных промышленных объектов, горных выработок, телекоммуникационных объектов. Трехмерное лазерное сканирование также возможно использовать для определения площадей, объемов, деформаций сооружений, а также для съемок и документирования культурного наследия, для охраны и реставрации памятников.

Основным измерительным прибором для трехмерного сканирования есть лазерный дальномер, фиксирующий время прохождения луча до объекта и обратно с точностью измеренных расстояний между точками 10-15мм. В некоторых 3D сканах для развертки луча в вертикальной и горизонтальной плоскостях используют вращающиеся призмы. Многие 3D сканеры оснащены цифровыми фотоаппаратами.

Результатом работы 3D сканера есть «облако точек» с трехмерными координатами. Положение точек определяется в сферической системе координат, а затем в геодезической. Для этого одновременно со сканированием необходимо определять координаты каждой станции. Для сшивки сканов надо иметь четыре точки. Высокая скорость сканера позволяет получать наиболее полную информацию о геометрии объекта в единый физический момент времени.

На основании сканов производится визуализация объектов в форме отдельных фотографий, компьютерных анимаций, черно-белых или цветных ортофотопланов.

Для представления форм сооружений исторических памятников создаются ортофотопланы. Каждую точку при этом получают в ортогональной проекции на плоскость. Для каждой точки могут быть сохранены все три геодезические координаты, что позволяет получать трехмерный ортофотоплан.

В зависимости от лазерных устройств все сканеры 3D делят на авиационные, автомобильные и наземные. Авиационные лазерные сканеры снимают местность с воздушного судна с высоты 500-1500м. Автомобильные лазерные сканеры осуществляют сбор данных в динамическом режиме с использованием инерционной и спутниковой систем навигации. Наземные сканеры различаются технологией сканирования и некоторыми другими показателями.

В научных исследованиях (Павленко А.В. Новосибирск, 2006) установлена взаимосвязь между фотограмметрическими стереомоделями и 3D моделями, полученными компьютерной графикой.

Ведутся работы по совмещению трехмерного лазерного сканирования и цифровой фотограмметрии. Предлагается съемку выполнять цифровой камерой, которая тщательно калибруется. Полученные снимки трансформируют по строгим фотограмметрическим формулам, производят пересчет координат точек скана из геодезических координат в систему координат снимка и получают цвет для каждой точки. В результате данных лазерного сканирования и цифровой съемки получают реальную цветную дискретную модель [7].

Развитию трехмерного моделирования в настоящее время уделяется значительное внимание. 3D сканеры изготавливают фирмы геодезического приборостроения такие как Aster Group, Z Corporation, Leica, Mensi, Faro и др.

Для обработки сканерной съемки используется большое количество программных продуктов. Одним из наилучших программных комплексов считается продукт Leica Cyclone, который имеет все необходимые инструменты для выполнения полного цикла работ в инженерной геодезии и инженерной фотограмметрии с использованием Leica Geosystems. Материалы авиационной лазерной съемки возможно отрабатывать на цифровых

---

фотограмметрических станциях используя программные продукты Delta, Photomod, Erdos и др.

Разрабатываются и совершенствуются отдельные модули к программным комплексам или создается специальное программное обеспечение для решения конкретных задач. Разрабатываются нормативные базы по производству работ на основе трехмерного лазерного сканирования, стандартизованные технологии по оценке точности измерений.

Подводя итоги вышесказанному, следует отметить, что инженерная фотограмметрия переживает бурный процесс перестройки на новые технологии получения и обработки информации. Расширяются сферы применения методов фотограмметрии, широко используется космическая съемка для решения глобальных и региональных вопросов.

### **Выводы**

Краткий анализ некоторых направлений развития инженерной фотограмметрии позволяет сделать следующие выводы:

1. Решение измерительных инженерных задач будет выполняться в большей мере дистанционными методами.
2. Для задач, связанными с измерениями на земной поверхности, и впредь будут использоваться космические, аэро- и наземные съемки.
3. Для съемки местности будут в основном использоваться цифровые съемочные камеры разных форматов и с различным разрешением, лазерное сканирование с соответствующим навигационным оборудованием.
4. Для измерительных целей объектов на земной поверхности будут использоваться съемочные камеры наземного назначения и лазерные технологии, которые постоянно совершенствуются.
5. Дистанционные методы получения количественной информации об объектах будут постоянно расширять области использования.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Дорожинський О.Л. Аналітична і цифрова фотограмметрія. Львівська політехніка. Львів, 2002. – 163с.
2. Лобов М.И. и др. Применение наземной фотограмметрии и лазерного сканирования для исследования динамического состояния мачтовых сооружений. Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Випуск 2010. – С.24 – 28.
3. Сердюков В.М. Фотограмметрия в промышленном и гражданском строительстве. М. Недра, 1977. – 270с.
4. Середович А.В. Методика создания цифровых моделей объектов нефтегазовых промыслов средствами наземного лазерного сканирования. Новосибирск, СГГА, 2007.– 25с.
5. Тюрин С. К вопросу использования данных лазерного сканирования и цифровой фотограмметрической съемки для фиксации памятников архитектуры. Журнал АРДиС, Издательский дом АРДиС №1 (44), 2010. – С.18–22.
6. Устинович Г.А., Пошивайло Я.Г. О применении неметрических цифровых камер для инженерно-геодезических измерений. Геодезия и картография, №8, 2005. – С.31–35.
7. Шостак А.В. РЕМ - фотограмметричне оцінювання мікрорельєфу поверхонь. Вісник геодезії та картографії, №1, 2011.– 23с.

**Ivanova L. I.**

#### **MAIN DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF ENGINEERING PHOTOGRAMMETRY**

*The main directions of development of modern engineering photogrammetry are considered in the article. Information on the technical equipment of film work, on methods for obtaining measurement information from survey results is given. Along with the existing technologies, the modern direction of shooting is being considered - laser scanning.*

---

**Keywords:** *engineering types of surveys, photogrammetric surveys, laser scanning, photographic cameras, digital cameras, 3D cameras.*

## REFERENCES

1. Dorozhinskij, O.L. (2002). *Analitichna i cifrova fotogrammetriya [Analytical and digital photogrammetry]*, Lvivska politehnika. Lviv, 163p.
2. Lobov, M.I. (2010). Primenenie nazemnoj fotogrammetrii i lazernogo skanirovaniya dlya issledovaniya dinamicheskogo sostoyaniya machtovyh sooruzhenij [Application of terrestrial photogrammetry and laser scanning to study the dynamic state of mast structures], *Visnik Donbaskoyi nacionalnoyi akademiyi budivnictva i arhitekturi*, Vol.2010, pp. 24–28
3. Serdyukov, V.M. (1977). *Fotogrammetriya v promyshlennom i grazhdanskom stroitelstve [Photogrammetry in industrial and civil construction]*, M. Nedra, 270p.
4. Seredovich, A.B. (2007). Metodika sozdaniya cifrovyyh modelej obektov neftegazopromyslov sredstvami nazemnogo lazernogo skanirovaniya [Methods of creating digital models of oil and gas objects by means of ground laser scanning], Avtoreferat dissertacii k.t.n. Novosibirsk, SGGGA, 25p.
5. Tyurin, S.K. (2010). Voprosu ispolzovaniya dannyh lazernogo skanirovaniya i cifrovoj fotogrammetricheskoy semki dlya fiksacii pamyatnikov arhitektury [On the use of laser scanning data and digital photogrammetric surveys to fix architectural monuments], *Zhurnal ARDiS*, No.1(44), pp.18–22
6. Ustinovich, G.A. and Poshivajlo, Ya.G. (2005). O primenenii nemetricheskikh cifrovyyh kamer dlya inzhenerno-geodezicheskikh izmerenij [About application of nonmetric digital cameras for engineering-geodesic measurements], *Geodeziya i kartografiya*, No. 8, pp. 31–35
7. Shostak, A.B. (2011). REM – fotogrammetrichne ocinyuvannya mikrorelyefu poverhon [REM – photogrammetric evaluation of microrelief surfaces], *Visnik geodeziyi ta kartografiyi*, No.1, 23p.

**Іванова Л. В.**

### **ОСНОВНІ НАПРЯМИ РОЗВИТКУ ІНЖЕНЕРНОЇ ФОТОГРАММЕТРІЇ**

*У статті розглядаються основні напрямки розвитку сучасної інженерної фотограмметрії. Наводяться відомості про технічне оснащення знімальних робіт, про методи отримання виміральної інформації за результатами схемок. Поряд з існуючими технологіями розглядається сучасний напрямок знімальних робіт – лазерне сканування.*

**Ключові слова:** *інженерні види зйомок, фотограмметричні зйомки, лазерне сканування, фотографічні камери, цифрові камери, 3D-камери.*

Рецензент: д.т.н., проф. Боровий В.О., ПВНЗ УНТ