

УДК 528.74+004:911.375.5

А.А. Шоломицкий¹, д-р. техн. наук, доц.,
 А.А. Лунев¹, канд. техн. наук, доц.,
 О.М. Тарасова²

1 – Государственное высшее учебное заведение „Донецкий национальный технический университет“, г. Донецк, Украина, e-mail: sholomitskij@gis.dgtu.donetsk.ua
 2 – ООО „Геоинжиниринг“, г. Донецк, Украина, e-mail: grigoriva.olga@gmail.com

ТЕХНОЛОГИЯ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ГОРОДОВ

A.A. Sholomitskiy¹, Dr. Sc. (Tech.), Associate Professor,
 A.A. Lunev¹, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor,
 O.R. Tarasova²

1 – State Higher Educational Institution “Donetsk National Technical University”, Donetsk, Ukraine, e-mail: sholomitskij@gis.dgtu.donetsk.ua
 2 – ООО “Geoengineering”, Donetsk, Ukraine, e-mail: grigoriva.olga@gmail.com

THE TECHNOLOGY OF THE 3D-CITY MODELLING

Рассмотрены различные технологии трехмерного моделирования городских территорий, описана технология полуавтоматического создания трехмерных моделей, реализованная в Delta/Digitals, и представлены результаты выполнения пилотного проекта по городу Донецку.

Ключевые слова: 3D модель, цифровая камера, аэросканер, цифровая фотограмметрическая станция, 3D примитивы

Введение. Для человека естественно воспринимать окружающий мир в виде трехмерных объектов, а не в виде картографических символов, которые нужно уметь правильно интерпретировать. Поэтому современное картографирование изменяется в сторону построения трехмерных подобных моделей реального мира, чем расширяет круг потребителей картографической продукции. Успех Google [1] в популяризации космических снимков и трехмерных моделей только подтверждает правильность этой тенденции. Эти несложные модели позволяют создать правдоподобные уменьшенные копии действительности, что достаточно для большинства пользователей.

Технология построения трехмерных моделей городов развивается по нескольким направлениям. Первое направление – это моделирование в „ручном“ режиме. Модели зданий создаются в таких программах как AutoCAD, ArcGIS с модулем 3DAnalyst, 3dMax или Google SketchUp. Моделирование геометрии и текстурирование моделей проводятся вручную. Для упрощения процесса в городской застройке выделяются наборы типовых строений. Модели создаются для каждого типа строений и затем множатся нужное количество раз при размещении на карте. Для ускорения процесса трехмерные объекты часто получают методом „выдавливания“ зданий по их контурам на плане города. Высоту, на которую выдавливаются каждое здание, получают из атрибута, определяющего этажность. Текстурирование обычно выполняется по наземным фотоснимкам и изображениям из библиотек текстур. Данный метод создания 3D моделей городов является одним из самых старых и изученных. Процесс получения 3D моделей данным методом является трудоемким, потому как все процессы выполняются вручную оператором, и до

настоящего времени используется для уникальных зданий и исторических памятников.

Второе направление – использование полуавтоматических методов. Геометрические модели зданий создаются вручную операторами по аэроснимкам. Этот подход применяется в Delta/Digitals [2] и CyberCity-Modeler [3], который позволяет также использовать данные лазерного сканирования.

Создание трехмерной модели здания состоит из измерения оператором характерных точек контура крыши. Измерения выполняются в стереоскопическом режиме. Для ускорения процесса применяются шаблоны, разработанные для основных типов крыш. Сложные формы образуются путем комбинации более простых шаблонов. Высота стен зданий не измеряется. Стены образуются путем проецирования точек основания крыши на поверхность рельефа. Описанная методика позволяет создавать модели зданий быстро и качественно. По времени у опытного оператора (например в Delta/Digitals) на одно здание тратится от 10 секунд до одной минуты, в зависимости от сложности объекта [4]. Точность измерений сопоставима с геометрической точностью исходных аэроснимков.

Создание моделей зданий – единственный ручной процесс при генерации трехмерной модели города. Дальнейшая обработка созданных моделей производится в автоматическом режиме. Текстуры фасадов и крыш извлекаются из тех же снимков, что использовались для создания геометрии. Для получения текстур необходимым условием является видимость всех сторон здания на снимках. Это достигается за счет использования боковых наклонных снимков или снимков из специально спроектированных залетов. При отсутствии боковых наклонных камер при проектировании залета необходимо планировать съемку таким образом, чтобы достигалось не менее 50% межмаршрутного перекрытия. Альтернативой могут

служить дополнительные маршруты, направленные перпендикулярно основным.

В одной из новейших технологий используются алгоритмы восстановления геометрической формы объектов по их стереоизображениям. Стереоизображения получают с носителя, для этого используют наклонные цифровые камеры типа Pictometry [5] или Geosystem 3-OC-1 [6]. Эти же изображения используются как источник текстур фасадов зданий. Для уточнения геометрии зданий и получения модели рельефа могут использоваться данные воздушного лазерного сканирования.

Одним из показательных примеров данной технологии являются модели, создаваемые шведской компанией S3 Technologies. По утверждению представителей компании, трехмерные модели городов создаются только по наклонным и вертикальным снимкам без использования данных лазерного сканирования. Весь процесс полностью автоматизирован. На основании алгоритма поиска одноименных точек на перекрывающихся снимках формируется облако точек, описывающее земную поверхность и возвышающиеся над ней объекты. Затем облако точек триангулируется с целью получения поверхности. В полученной поверхности выполняется поиск плоскостей для лучшей передачи стен и крыш зданий. Конечным продуктом является трехмерная модель местности, представленная с различной степенью детализации и доступная для просмотра on-line [7].

Также существует технология автоматического построения трехмерных моделей зданий, разработанная в университете Беркли, США [8]. Здесь аэро съемка и данные воздушного лазерного сканирования могут дополняться фотоснимками и облаком точек, полученного в результате наземного лазерного сканирования. Лазерный сканер и фотокамера устанавливаются на автомобиль, перемещающийся по улицам и выполняющий съемку зданий. Лазерный сканер помогает восстановить форму фасадов зданий и отсеять препятствия, находящиеся перед зданиями: деревья, автомобили, пешеходы. Также облако точек лазерного сканера помогает восстановить траекторию движения автомобиля, что необходимо для точного определения положения зданий и геопривязки фотоснимков для последующего автоматического текстурирования.

Каждому из этих видов моделирования присущи как достоинства, так и недостатки. Так автоматический метод построения является очень производительным, однако он имеет проблемы в выделении и распознавании зданий как отдельных объектов – пока он позволяет сформировать единую поверхность, которая включает здания и земную поверхность с деревьями и другими объектами. В настоящее время наиболее распространен полуавтоматический метод создания трехмерных моделей городов в сочетании с „ручным“ методом, который используется для отдельных зданий.

В Украине научно-производственная фирма „Гео-система“ [2] занимается созданием аппаратных и

программных средств для получения и обработки аэро съемки для целей картографии и трехмерного моделирования.

С 1995 года эта фирма выпускает цифровую фотограмметрическую станцию Delta Digitalls. Позже, в 2003 году, совместно с компанией Wehrliand Associates (США) ими была создана авиационная сканирующая камера „3-DAS-1“, которая выпускается с 2005 года серийно (рис.1, 2).



Рис. 1. Авиационная сканирующая камера 3-DAS-1



Рис. 2. Камера 3-DAS-1, установленная в самолете Cessna 206

Устройство сканирующих авиационных камер практически аналогично устройству космических сканеров. В связи с тем, что они устанавливаются на легкие летательные аппараты, в полете происходят значительные отклонения от заданной траектории движения. Для повышения качества съемки камера может устанавливаться на гидростабилизирующую платформу (например PAV 30 фирмы Leica). Для сканирующих камер обязательно использование интегрированных инерциальной и спутниковой систем GPS/IMU, которые позволяют воссоздать точную траекторию полета и углы наклона камеры в каждый момент времени. Такие системы выпускают многие фирмы. Например, канадская фирма Applanix выпускает ряд интегрированных систем POS AV 410, 510, 610.

Інтегровані системи зв'язуються з системою управління зйомкою, яка дозволяє контролювати прямолинійність маршрутів, висоту, учитывать снос, перекриття маршрутів і інші параметри залета.

Сканируюча авіаційна камера має 3 групи лінійок, які одночасно виконують зйомку „вперед“, „надир“ (вертикально вниз) і „назад“. В одному маршруті польета формується 3 знімки, по яким можна воссоздать стереоскопічну модель місцевості, комбінуючи знімки „вперед“– „надир“ і „назад“– „надир“.

Зйомка авіаційними сканерами особливо ефективна при тривимірному моделюванні будівель, т.к. дозволяє в автоматичному режимі отримувати текстурні не тільки для дахів, але і для стін будівель. Для отримання текстур со всіх сторін будівель використовується зйомка во взаємно перпендикулярних напрямках або спеціальні камери з боковими лінійками.

Після обов'язкового етапу геометричної корекції цих знімків – вони дають якісне стереоскопічне зображення, яке обробляється в DigitalS.

Моделювання тривимірних об'єктів, в основному, заключається в побудові (оконтуриванні) дахів будівель. В DigitalS для цих цілей розроблені ряд шаблонів збирання, які описують найбільш поширені типи дахів (17 видів) [9]:

1. Плоска Крыша (Flat roof).
2. Плоская Крыша с количеством углов более/менее четырех (Flat Roof with more or less than four corners).
3. Односкатная крыша (Lean-to roof).
4. Двускатная крыша (Gable Roof).
5. Вальмовая крыша (Hip Roof).
6. Двухскатная вальмовая крыша (Hipped Gable Roof).
7. Шатровая крыша (Tent Roof).
8. Мансардная крыша (Mansard Roof).
9. Сочетание Двускатной и Вальмовой Крыши (Combination of Gable and Hip Roof).
10. Сочетание Двускатной и Двускатной Вальмовой Крыши (Combination of Gable and Hipped Gable Roof).

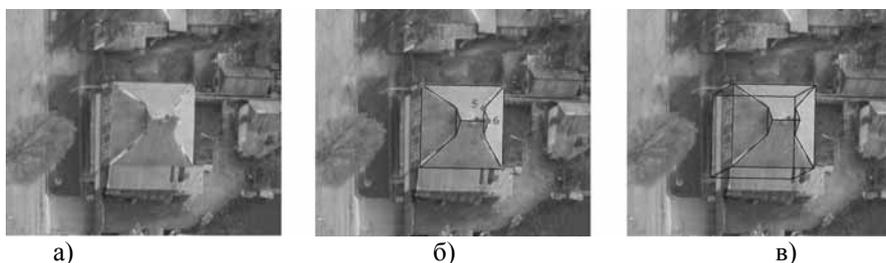


Рис. 4. Пример построения здания с двускатной вальмовой крышей:
а) изображение здания на снимке; б) результат конструирования двускатной вальмовой крыши;
в) проецирование стен на цифровую модель рельефа

Збирання інформації про будівлі со складною конфігурацією потребує великих затрат часу оператора. Розглянемо цей процес на прикладі навчального корпусу Донецького національного технічного університету (рис. 5, а). Для конструювання такого

11. Усеченная Вальмовая Крыша (Cut Hipped Roof).
12. Башня (Tower).
13. Башня (Tower Roof).
14. Шатровая Крыша (Polytent Roof).
15. Цилиндрическая крыша (Barrel Roof).
16. Купол (Dome Roof).
17. Стена (Wall).

побудови будівлі починається з формування геометрії даху і закінчується реєструванням висоти будівлі. Розглянемо геометричне побудову даху на декількох об'єктах з простою архітектурою, що відповідає типовим шаблонам збирання.

На рис. 3 представлений приклад вальмової даху. Для її побудови оператору необхідно зареєструвати 4 точки (рис. 3, а, б). Щоб прискорити процес побудови моделі, в DigitalS реалізована технологія збирання будівель тільки по дахам з наступним автоматичним побудовою стін від основою даху до цифрової моделі рельєфу (рис. 3, в).

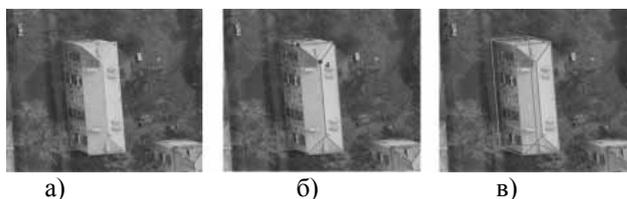


Рис. 3. Пример построения здания с вальмовой крышей:
а) изображение здания на снимке; б) результат конструирования вальмовой крыши;
в) проецирование стен на цифровую модель рельефа

В качестве второго примера построения объекта с простой архитектурой рассмотрим двускатную вальмовую крышу, представленную на рис. 4. Для ее построения оператору необходимо зареєструвати 6 точок в порядку, визначеному для даного шаблону. Побудову граней даху виконується автоматично.

об'єкта необхідно, в першу чергу, виділити основні (рис. 5, б) і допоміжні (рис. 5, в) елементи будівлі. Конструювання даху оператор буде починати з основних елементів і поступово допрацьовувати до неї допоміжні елементи.

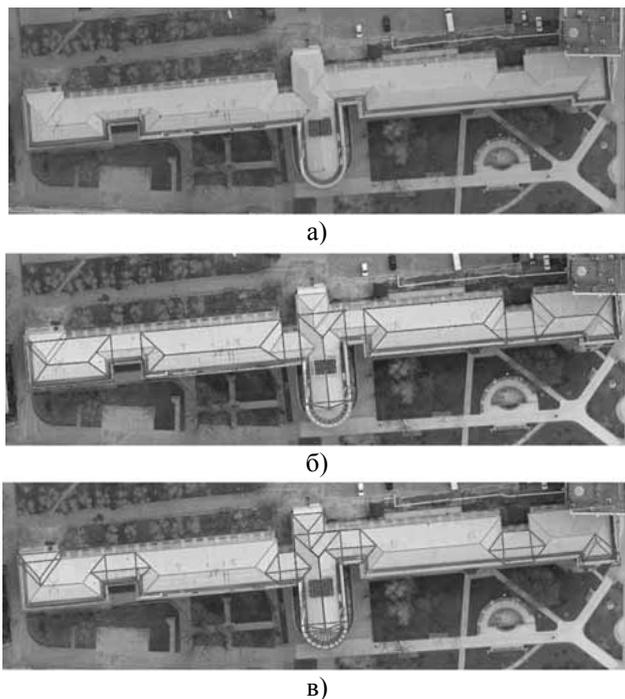


Рис. 5. Пример построения здания сложной конфигурации:
 а) изображение здания на снимке; б) основные элементы крыши (выделены черным цветом);
 в) вспомогательные элементы крыши (выделены черным цветом)

В результате получим крышу, состоящую из 14 смежных объектов. Представление здания несколькими смежными объектами затрудняет правильное восприятие объекта и хранение в общей базе данных, а также визуализацию модели.

В большинстве случаев все соприкасающиеся объекты считаются принадлежащими к одному зданию. Объединив 3D-объекты в один объект, ему можно присвоить семантическую информацию и использовать его для решения различных задач. Для оптимизации геометрии 3D-объектов существует функция объединения смежных пространственных объектов, в результате выполнения которой удаляются все невидимые грани и части граней, а соответственно уменьшается количество объектов в карте. Вызванное этим уменьшение площади приводит к уменьшению размеров текстур при последующей их генерации (рис. 6, 7). Это позволяет сэкономить ресурсы компьютера, затрачиваемые на последующую визуализацию модели. Приведем показатели оптимизации модели на примере здания, изображенного на рис. 7. Общая площадь граней уменьшилась с 16026 до 11644 м², что составляет 27%. Такая оптимизация имеет большое значение в случае, если трехмерные модели содержат большое количество сложных объектов, т.к. позволяет быстрее регенерировать объекты при отображении на экране компьютера как на локальном рабочем месте, так и в сети Интернет.

Возможность моделирования сложных конструкций с надстройками, навесами и тентами обеспечивается идентификаторами слоев. Принадлежность точек соответствующему слою обеспечивает особенности конструирования крыши (таблица).

Таблица

Идентификаторы слоев крыш

ID слоя	Проецирование	Назначение
1–30	Проецирование стен до цифровой модели рельефа	Основные стены
31–50	Проецирование на ближайшие к ним основные крыши	Надстройки
> 50	Не проецируются	„Парящие“ крыши

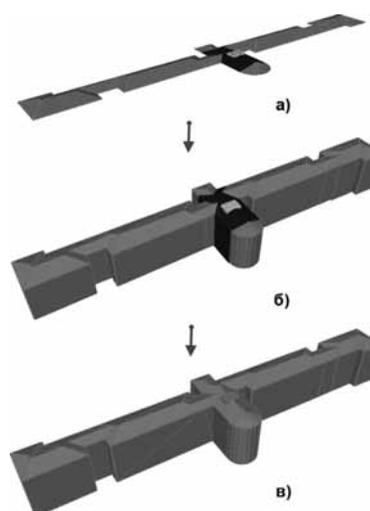


Рис. 6. Этапы построения геометрической модели здания: а) построение геометрической модели крыши; б) проецирование стен на ЦМР; в) объединение модели

Точность построения моделей влияет на ее стоимость и определяется в каждом конкретном случае техническим заданием на создание трехмерной модели. Обычно абсолютная ошибка местоположения точки задается 0,5 м, а относительная – 1м.

Вторым важным аспектом создания трехмерных моделей является детальность моделирования. Так в техническом задании может быть определена площадь крыши здания, начиная с которой здания отображаются как трехмерные модели. Объекты с меньшей площадью отображаются как текстурные элементы на цифровой модели рельефа.

Следующим этапом после конструирования геометрической модели здания или города в целом является текстурирование модели. Текстурирование модели выполняется в автоматическом режиме и состоит из двух частей: текстурирования трехмерных объектов и текстурирования цифровой модели рельефа.

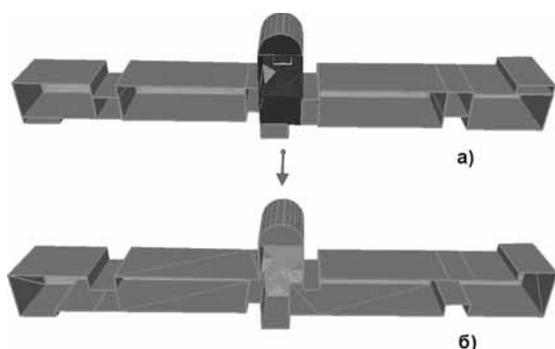


Рис. 7. Результат объединения 3D объекта – удаление невидимых граней и частей граней (вид снизу): а) объект до объединения; б) объект после объединения

Для текстурирования 3D объектов используются наклонные снимки. Вычисление текстурных координат граней объекта производится по фотограмметрическим формулам в результате восстановления пучка лучей от грани к сенсору камеры. Текстурирование ЦМР выполняется с использованием горизонтальных снимков или ортоизображения и производится путем проецирования на поверхность каждого фрагмента снимка фиксированного размера.

Таким образом, в результате объединения и текстурирования геометрической модели здания и цифровой модели рельефа, получаем трехмерную сцену, представленную на рис. 8, 9.



Рис. 8. Пример объемной фотореалистичной модели

Полученная модель уже является трехмерной фотореалистичной моделью. Однако для увеличения реалистичности модели можно добавить объекты растительности и инфраструктуры города (столбы, автобусные остановки, лавочки, телефонные будки и т.д.). Для этого в Digitala существует возможность добавления в модель 3D символов, которые представляют собой прототип геометрии.

Одним из основных преимуществ использования Digitala для трехмерного моделирования является возможность экспорта модели в широко используемый открытый формат. Программа поддерживает экспорт (импорт) в форматы KML/KMZ и COLLADA – открытые форматы хранения и передачи географических данных и объектов 3D сцены, основание на языке XML. Так же при экспорте модели существует возможность создания различных уровней детализации как геометрической модели, так и текстур 3D-объектов и ЦМР.

Выводы. Технология 3D моделирования, предложенная НПП „Геосистема“, достаточно проста в понимании и освоении. Так 3, оператора, в режиме обучения, менее чем за месяц освоили технологию и создали трехмерную модель на участок города Донецка с более, чем 1000 зданиями, среди которых были здания со сложной архитектурой (рис. 5–9).

Построение 3D модели для небольшого фрагмента города выполняется студентами 4 курса кафедры геоинформатики и геодезии Донецкого национального технического университета в рамках лабораторных работ курса „Фотограмметрия и дистанционное зондирование“, а также при курсовом и дипломном проектировании.



Рис. 9. Фрагмент 3D модели города Донецка

Описанная авторами технология будет использоваться в дальнейшем в работах по созданию трехмерной модели города Донецка, который будет аналогичен проекту [10] и будет содержать информацию не только о зданиях и объектах, расположенных в них, но адресный план с улицами, транспортными маршрутами, остановками и другой справочной информацией.

Список литературы

1. Карти Google [Электронный ресурс]. – Режим доступа: – <http://maps.google.com.ua/maps>. – Название с экрана.

2. НПП „Геосистема“ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vingeo.com/Rus/index.html>. – Название с экрана.
3. Программное обеспечение трехмерного моделирования городов компании CyberCity AG [Электронный ресурс]. – Режим доступа: – http://www.earsel.org/workshops/SIG-URS-2006/PDF/Poster2_Ulm.pdf. – Название с экрана.
4. Григорова О. Как построить свой первый виртуальный город [Электронный ресурс]. / Григорова О. – Режим доступа: <http://geosystema.net/digitals/?act=3dbuild>. – Название с экрана.
5. Pictometry – The Aerial Oblique Photography Company [Электронный ресурс]. – Режим доступа : – <http://www.pictometry.com/home/home.shtml>. – Название с экрана.
6. Wehrli & associates Inc. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: – http://www.wehrliassoc.com/Professional_Surveyor_October_2008.pdf. – Название с экрана.
7. C3 – The world in 3D [Электронный ресурс]. – Режим доступа : – <http://www.c3technologies.com/>. – Название с экрана.
8. Технология автоматической генерации моделей городов, университет Беркли, США [Электронный ресурс]. – Режим доступа: – <http://www-video.eecs.berkeley.edu/~frueh/3d/>. – Название с экрана.

9. Бондарец А. Основные стратегии создания 3D моделей городов [Электронный ресурс]. / Бондарец А. – Режим доступа: <http://gis-lab.info/qa/3dcities.html>. – Название с экрана.
10. Трехмерная модель города Винница [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.vinmap.net/vinnitsa/>. – Название с экрана.

Розглянуто різні технології тривимірної моделювання міських територій, описано технологію напівавтоматичного створення тривимірних моделей, реалізовану в Delta/Digitals, і представлено результати виконання пілотного проекту по місту Донецьку.

Ключові слова: 3D модель, цифрова камера, аеросканер, цифрова фотограмметрична станція, 3D примітиви

The various technologies of three dimensional modeling of urban areas have been considered and the technology of three dimensional semi-automatic models have been described. Technology has been performed in an environment of the Delta/Digitals. The results of the pilot project for the Donetsk city is described in the article.

Keywords: 3D model, Digital Camera, Airborne Scanner, Digital Photogrammetric Station, 3D primitive elements

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук Б.С. Бусыгиним. Дата надходження рукопису 28.02.11

УДК 528.852

**Б.С. Бусыгин, д-р техн. наук, проф.,
С.Л. Никулин, канд. геол. наук, доц.,
Е.П. Зацепин**

Государственное высшее учебное заведение „Национальный горный университет“, г. Днепропетровск, Украина, e-mail: busyginb@nmu.org.ua

ПРОГНОЗ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО КОМПЛЕКСУ ГРАВИМАГНИТНЫХ И КОСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ НА ТЕРРИТОРИИ ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОЙ ВПАДИНЫ

**B.S. Busygin, Dr. Sc. (Tech.), Professor,
S.L. Nikulin, Cand. Sc. (Geol.), Associate Professor,
Ye.P. Zatsepin**

State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: busyginb@nmu.org.ua

THE HYDROCARBON OBJECTS PREDICTION BY THE COMPLEX OF GRAVIMAGNETIC AND SPACE DATA WITHIN THE TERRITORY OF DNEPR-DONETS CAVITY

Представлена компьютерная технология интегрированного анализа комплексных гравимагнитных и космических данных при поисках углеводородных объектов. Дано описание специализированной системы РАПИД. Приведены результаты экспериментов по оценке эффективности прогноза углеводородных объектов путём интегрированного анализа космических и гравимагнитных материалов на территории Днепровско-Донецкой впадины (ДДВ). Приведены результаты, подтверждающие эффективность развиваемого подхода к прогнозированию углеводородных объектов на территории ДДВ, основанного на методах линейного анализа.

Ключевые слова: компьютерная технология, геоинформационная система, углеводородные объекты, гравимагнитные и космические данные, линейменты, Днепровско-Донецкая впадина

Введение. Днепровско-Донецкая впадина (ДДВ) является крупнейшей нефтегазоносной областью Ук-

раины, интенсивно исследуемой и разрабатываемой более 50-ти лет. В связи с этим, практически все углеводородные залежи, находящиеся на глубинах до 5 км, на данный момент выявлены и частично отра-