

Донченко М.В., Рябенський О.О., Миколаївський державний гуманітарний університет  
ім. Петра Могили  
Гуцол В.П., СІТД ДП "Дельта-Лоцман", м. Миколаїв

## *Автоматизація гідрографічних робіт*

Стаття описує розроблений програмний комплекс "Delta Project" для виконання повного циклу обробки гідрографічних даних. У статті продемонстрована можливість перерахунків географічних координат в лінійні для WGS-84. Особливістю програми, описаної в статті, є те, що "Delta Project" є комплексом програм, які дозволяють автоматизувати весь процес гідрографічних робіт, від виконання промірів в режимі реального часу до поетапної обробки отриманих даних. Результати обробки доведені до створення поверхні за даними промірів з широким набором інструментальних засобів для роботи з такими моделями. Комплекс програм пройшов випробування на підприємстві "Дельта-Лоцман" і за висновками фахівців вигідно відрізняється на фоні інших відомих гідрографічних пакетів. Стаття є актуальною на даний час, оскільки вона розкриває можливості швидкого виконання гідрографічних робіт та вирішення поточних проблем в даній галузі за допомогою засобів інформаційних технологій.

The Article "Automatization of hydrographic work" is referred to a programming complex "Delta Project", which serves for complete execution cycle of hydrographic data. Possibility of coordinates conversion from geographical coordinates into linear for WGS-84 systems are considered and demonstrated in this article. Described peculiarities indicate that "Delta Project" is a complex of programs, which allows to automatize the complete cycle of hydrographic work from real time surveying to the stage processing of received data. The result of data processing is creation of surface with a wide toolkit for working with such models. This complex of programs was examined by "Delta Pilot" company and agreed its specialists. Advantages of this complex are quite different from the other well-known hydrographic programs. Nowadays it is an actual article which reveals possibilities of quick accomplishment of hydrographic work and solutions of current problems in hydrographic region due the help of information technologies.

При виконанні гідрографічних робіт останнім часом, як правило, використовується ехолот і GPS. У результаті отримуємо величезний масив даних (50000 і більше). Для їхньої обробки можна використовувати програмні пакети HYPACK-MAX, HYDRO-PRO, Autodesk Land Desktop, Autodesk Survey та ін. Ці програми мають ряд переваг і недоліків, кожна свої. Такі програми як Autodesk Survey та HYDRO-PRO мають хороші інструменти для отримання та впорядкування промірних даних, але не дуже розвинені інструменти для обробки даних. Інструменти для роботи з поверхнями та з цифровими картами в цих програмах неповні та дещо спрощені, а то і зовсім відсутні. HYPACK-MAX є більш удосконаленою програмою і має достатньо розвинені засоби зберігання та обробки гідрографічних даних [7]. Програма достатньо коректно виконує фільтрацію та

вибірку необхідних точок. Але при цьому вона дозволяє працювати тільки з реальними лініями галсів. В HYPACK-MAX є також засоби для побудови поверхонь. Поверхні представляються у вигляді TIN-моделей, які виконують роль малюнків. Тобто в програмі не передбачено ніяких інструментів для роботи з отриманою поверхнею. І це є головним її недоліком. В Autodesk Land Desktop достатньо розвинені засоби побудови поверхонь [6]. Але через триангуляційну побудову поверхні трохи знижується точність, а можливості використання такої поверхні обмежені, тобто в програмі передбачено мінімум засобів для гнучкої роботи з отриманою поверхнею. В даній програмі також відсутні засоби для обробки промірних даних та засоби формування проектних та реальних ліній галсів. Тобто, проаналізувавши ринок програмного забезпечення в даному

напрямку, неважко зробити висновок, що програма, яка б повністю задовольняла всі потреби користувача, відсутня.

Тому було прийнято рішення розробити ряд методів та реалізувати їх у програмному забезпеченні, яке б дозволило користувачу комплексно розв'язувати комплекс задач: від виконання промірних робіт до побудови поверхні дна каналу у вигляді, найбільш зручному для подальшої роботи. Це насамперед – представлення і перегляд з індикацією глибин і профілів, розрахунки об'ємів та ін.

Найбільш якісно поверхню можна побудувати в системі Autodesk Mechanical Desktop R6. Тому було прийнято рішення базуватися саме на цій програмі. Програма DeltaProject є надбудовою над AutoCAD Mechanical Desktop R6 і призначена для виконання повного циклу робіт з обробки гідрографічних даних. DeltaProject складається з чотирьох основних частин:

DeltaSurvey – програма виконання промірів у режимі реального часу;

DeltaPoints – програма призначена для обробки промірних даних;

DeltaViewer – програма для формування і перегляду ехограм;

DeltaSurface – програма для представлення промірних даних у вигляді поверхні.

DeltaSurvey – відображає на екрані дисплею положення промірювального судна, точки виконаних вимірювань, траєкторії плану промірювальних робіт і зберігає в файл отримані дані в географічному представленні координат.

DeltaProject сприймає файли в двох форматах: в географічному та в лінійному. Вихідний формат файлу в програмі DeltaProject один. Це формат файлу з лінійними координатами. Оскільки дана програма є надбудовою над Autodesk Mechanical Desktop, то вона має всі засоби редагування і представлення даних AutoCAD і Mechanical Desktop. Це дає нам можливість використовувати розподіл даних в шарах, використовувати в'юпорти і вигляди для корекції графічного представлення об'єктів. Використовуючи вбудовані команди експорту в DeltaProject,

можна представляти дані не тільки в текстовому форматі, а й у векторному вигляді і так передавати їх в інші програми.

Головні труднощі при створенні програми були пов'язані з перерахунком координат. Справа в тому, що координати, які надходять від системи глобального позиціонування, представлені, в географічному форматі, а система AutoCAD працює з лінійними координатами, а тому постає питання щодо переходу від однієї системи координат до іншої. Для цього використовують формули для переходу від геодезичних координат до лінійних [9].

Перед використанням кінцевих формул необхідно вирахувати цілий ряд параметрів, а також знати параметри еліпсоїду WGS-84.

Велика та мала півосі еліпсоїду:

$$a = 6378245,0;$$

$$b = 6356863,019.$$

Звідки знаходимо полярне стисання:

$$a = (a - b)/a.$$

Квадрати першого та другого ексцентриситетів відповідно дорівнюють:

$$e^2 = (a^2 - b^2)/a^2 = 0,0066934216;$$

$$e^{12} = (a^2 - b^2)/b^2 = 0,0067385254.$$

Перша функція геодезичної широти вираховується за формулою:

$$M = a \cdot (1 - e^2) \cdot W^3.$$

Радіус кривизни меридіана дорівнює:

$$N = a / W.$$

Радіус кривизни першого вертикалу:

$$R = \sqrt{M \cdot N} = a \cdot \sqrt{1 - e^2} / W^2.$$

Середній радіус кривизни:

$$c = a / \sqrt{1 - e^2} = a \cdot \sqrt{1 + e^{12}}.$$

Полярний радіус кривизни:

$$V = \sqrt{1 + e^{12}} \cdot \cos^2 B = W \cdot \sqrt{1 + e^{12}} = W / \sqrt{1 - e^2}.$$

Друга функція геодезичної широти:

Перш ніж вести розрахунок лінійних координат, необхідно в географічні координати ввести поправку по меридіану. Позначимо дану поправку  $Z$  від точки на меридіану від екватора до точки з даною

$$+ (C \sin 4B) / 4 - (D \sin 6B) / 6),$$

геодезичною широтою. Знаходиться вона шляхом розрахунку дуги меридіана:

дорівнюють:

$$A = 1105051773,9;$$

$$B = 0,00106237764;$$

$$t = \operatorname{tg} B; C = 0,00002062451;$$

$$\eta = e^2 \operatorname{Cos} B.$$

$$D = 0,00000000281;$$

$$r = 206264,8062.$$

Далі виконуємо перерахунок координат:

де необхідні коефіцієнти відповідно

$$X = Z + \frac{L^2}{2\rho^2} N \cdot \sin B \cdot \operatorname{Cos} B \cdot R;$$

$$R = 1 + \frac{e^2 \operatorname{Cos}^2 B}{12\rho^2} (5 - t^2 + 9\eta^2 + 4\eta^4) +$$

$$+ \frac{e^4 \operatorname{Cos}^4 B}{360\rho^4} (61 - 58t^2 + t^4);$$

$$Y = \frac{e'}{\rho} N \cdot \operatorname{Cos} B \left( 1 + \frac{e^2 \operatorname{Cos}^2 B}{6\rho^2} (1 - t^2 + \eta^2) + \right.$$

$$\left. + \frac{e^4 \operatorname{Cos}^4 B}{120\rho^4} (5 - 18t^2 + t^4 + 14\eta^2 - 58\eta^2 \rho^2) \right),$$

де допоміжні величини знаходяться за формулами:

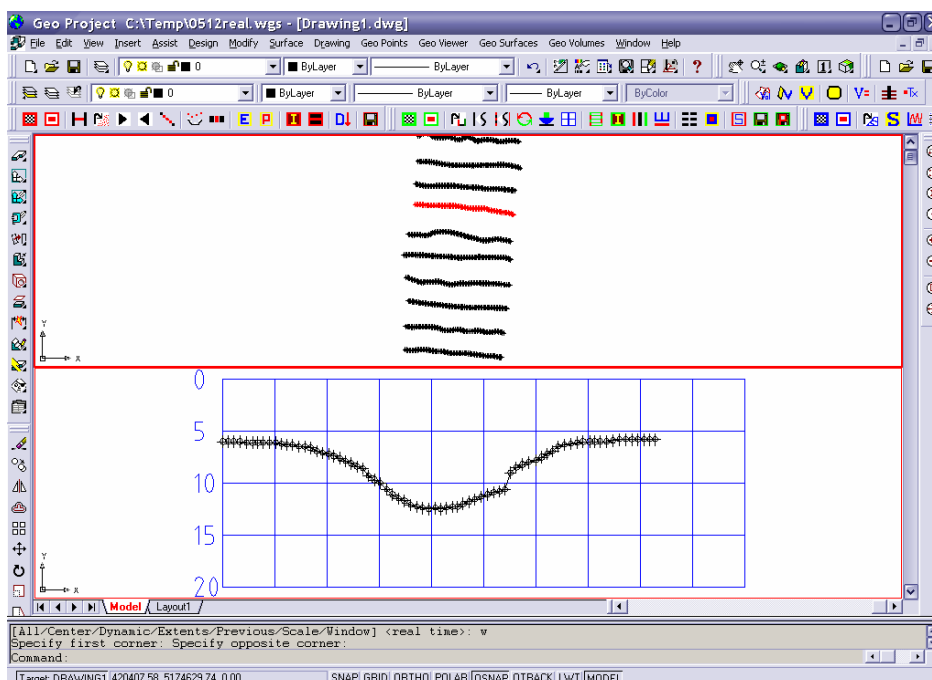


Рис. 1. Загальний вигляд робочого вікна модуля DeltaPoints

DeltaPoints надає засоби для перегляду ехограм перегортанням вперед чи назад. При цьому виконується автоматичне підсвічування промірних точок, які відображаються на поточному вигляді ехограми. Розмір області видимості ехограми може бути будь-яким і залежить від вибору користувача. Користувачу надана також можливість вибору масштабних коефіцієнтів в осях, а також шаг сітки перегляду ехограми.

Програма надає широкі можливості з модифікації даних. Існує ряд інструментів для видалення і додавання нових промірних точок. Видалення і додавання може здійснюватися як по одній точці, так і по цілій групі точок. Користувачу надаються інструменти фільтрації точок. Фільтрація може бути виконана на дистанції (тобто фільтрація точок через визначений інтервал) і по глибині (фільтрація промірних точок по визначеному діапазоні глибин). Дані засоби є основними математичними методами фільтрації гідрографії [2]. У програмі передбачені також можливості коригування Z-значення точок на конкретну величину. Це відповідно змінює представлення ехограми і вигляду проміру. Коригування глибини може бути виконане як по одній точці, так і для цілого файлу. У програмі є можливість приведення значень глибин до конкретного рівня як на плані проміру, так

і на ехограмі. Це виконується шляхом побудови ідеального рельєфу [4] дна, що задається полілінією й осіданням точок на задану полілінію.

DeltaPoints також надає розвинуті інструменти навігації по промірним даним і по ехограмі. У програмі передбачена можливість масштабування зображення по осях, зменшення і збільшення вигляду проміру. Користувачу також представлена можливість автоматичного зумування і підсвічування обраних даних. Це надає зручну і потужну можливість пошуку необхідних для редагування чи перегляду даних серед десятків-сотень тисяч вхідних значень.

DeltaPoints зберігає дані в текстовий файл у лінійній системі координат, що потім передається в модуль DeltaViewer для подальшої обробки.

DeltaViewer також розділяє екран на дві частини за допомогою виглядів. У верхній вигляд довантажуються попередньо оброблені промірні дані у вигляді набору отриманих промірних точок і реальні лінії галсів. Нижній вигляд перегляду призначений для отримання ехограми в проектному галсі з урахуванням інтерпольованих значень. На нижньому вигляді відображається канал в усталеному виді - з зеленою і червоною брівками. Усі дані модуля розподілені в шарах, що підвищує зручність їхньої

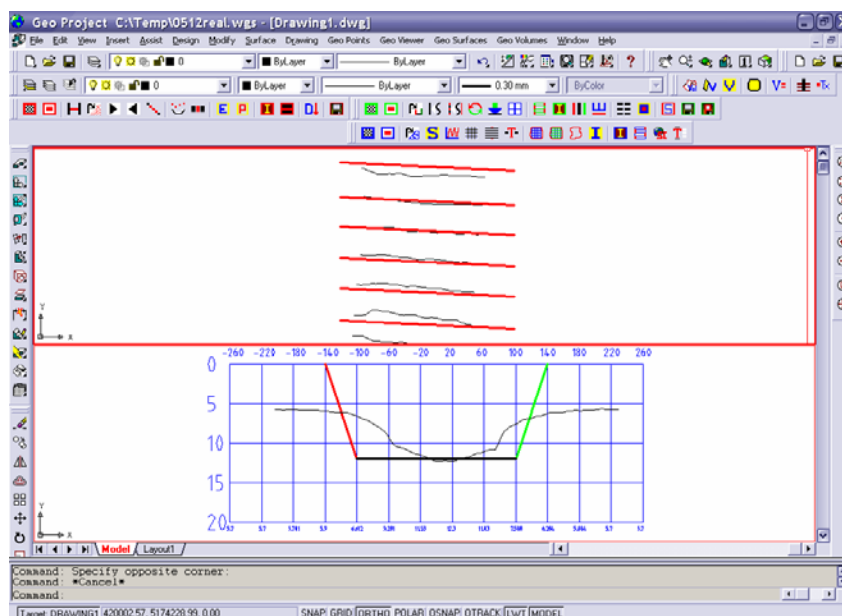


Рис. 2. Загальний вигляд модуля DeltaViewer

Модуль DeltaViewer надає користувачу можливість наносити проектні галси з будь-яким шагом і під будь-яким кутом. Дані проектні галси є ідеалізованими, на які потім проектуються реальні лінії галсів. При цьому виконується інтерполяція значень глибини по всій лінії галсу, автоматичне визначення червоної і зеленої брівки каналу, визначення осі каналу і коректне відображення зрізу каналу в проектному галсі на діаграмі нижнього вигляду.

Програма надає користувачу можливість змінювати практично всі настройки інтерфейсу. Профіль каналу і його розмірності можуть бути обрані будь-якими. Сітка діаграми також може бути обрана з будь-якими параметрами як глибини і ширини, так і шагових значень по глибині і ширині. Надається також вибір масштабних коефіцієнтів за двома напрямками ( $X$  і  $Y$ ). У розпорядженні користувача знаходяться також інструменти автоматичного збільшення і зменшення зображень, зміни виглядів, представлень і колірної палітри як промірних даних, так і інтерфейсу програми.

DeltaViewer дозволяє користувачу працювати як із симетричними, так і з асиметричними, відносно осі, лініями галсів. Це виконується шляхом автоматичного сканування точки перетину лінії галсу з віссю каналу і дозволяє коректно відображати інтерпольовані значення глибин. У програмі передбачені інструменти для вибору точок за визначеним шагом щодо осі каналу. Спочатку в даній процедурі вводяться значення діапазонів глибин, а також вибираються параметри текстових позначень і позначень точок. Потім виконується витягування інтерпольованих значень глибин з визначеним шагом. У результаті ми одержуємо матрицю глибин на визначеній ділянці робіт з колірною градацією по діапазонах. Дана матриця представляється стандартними графічними об'єктами і дозволяє легко змінювати її, модифікувати чи зберігати, перетворювати в інші формати даних, а також надається можливість друку й одержання вже готових планшетів.

Програма надає можливості збереження оброблених даних. Збереження може

виконуватися як усього файлу у векторному форматі, так і його частин. Приміром, діаграма зрізу каналу на визначеній ділянці може бути збережена в окремій папці і в окремому файлі на диску. Це дає нам можливість набрати статистику зміни глибини на визначеній ділянці за місяці-роки. Потім можна легко виконати аналіз даних шляхом завантаження і співставлення діаграм на тому самому профілі, але в різний час.

У DeltaProject можна зберігати змінні промірні дані. Існують дві можливості збереження: за значеннями точок глибин і за значеннями поліліній. Т.ч. користувач у програмі може працювати не тільки з завантаженими точками глибин, а також і з полілініями, шляхом зміни їхнього положення в просторі чи модифікації вершин поліліній. При цьому необхідно стежити за послідовністю галсів для наступного коректного відображення поверхні дна.

Програма DeltaSurface має можливість не тільки побудови поверхонь по промірним даним, але і надає користувачу ряд інструментів для роботи з побудованою моделлю поверхні.

Вхідними даними в програму є файл із крапками, що являють собою реальні чи проектні лінії галсів. DeltaSurface підтримує два формати файлів:

- з лінійними координатами точок проміру ( $X$ - $Y$ - $Z$ );
- з координатами точок проміру, представленими у географічному вигляді.

Програма виконує автоматичне перетворення координат і розміщає точки в системі AutoCAD у визначеному шарі з попередньо заданими коефіцієнтами масштабування в осях. Далі виконується побудова ліній галсів. Особливістю побудови ліній галсів [4] є те, що програма сама розділяє галси з потоку вхідних даних шляхом визначення міжгалсової відстані, заданого попередньо. Лінії галсів будуються за допомогою поліліній. Потім виконується побудова поверхні.

У програмі існує кілька способів побудови поверхонь. В автоматичному режимі DeltaSurface будує поверхню на базі послідовності каркасних ліній галсів.

Черговість галсів визначається порядком проходження каркасних поліліній у файлі даних. Є також можливість побудови поверхні за поздовжніми і поперечними лініями галсів.

На етапі побудови поверхні користувачу надається можливість установлення параметрів побудови поверхні. До цих параметрів відносяться такі значення перемінних математичної моделі ділянки

дна, як точність згладжування поверхні, точність визначення нормалей, точність інтерполяції проміжних значень поверхні, точність інтерполяції на згинах, що задається мінімальним кутом згладжування [8].

При побудові поверхні в розпорядженні користувача знаходяться такі засоби надання даних, як збільшення і зменшення виглядів і представлень, використання

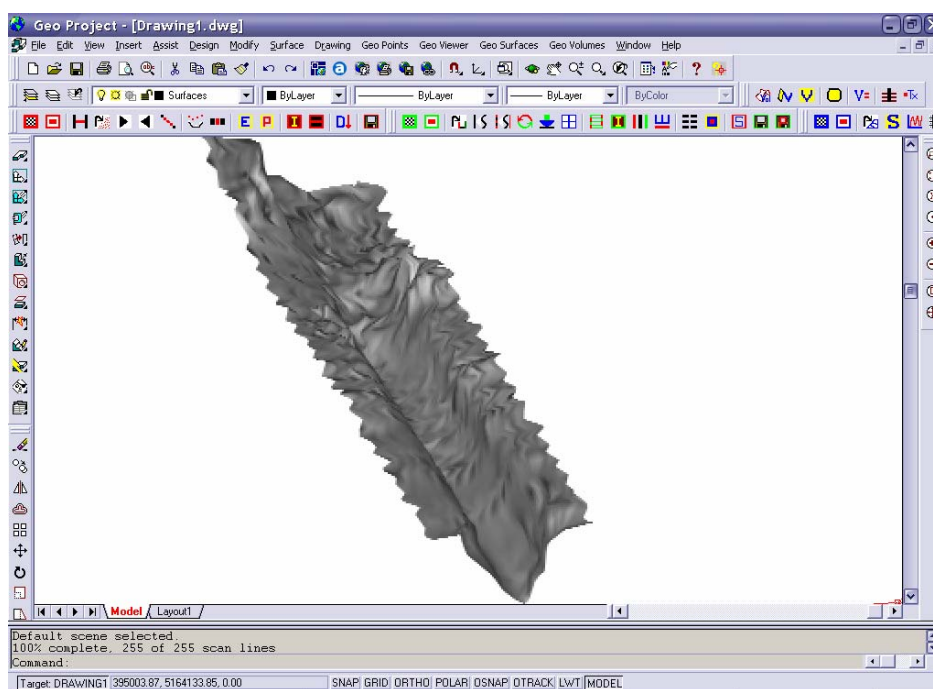


Рис. 3. Приклад побудованої в DeltaSurface моделі поверхні за промірними даними

У розпорядженні користувачу DeltaSurface надає ряд функцій для роботи з поверхнею. Однією з таких функцій є одержання діаграми глибин по якомуньбудь зрізі поверхні. Дана команда спочатку запитує базову поверхню, а потім дві точки – кінці лінії зрізу. Програма автоматично робить лінію зрізу на поверхні і відображає її як на поверхні, так і на діаграмі. Колір лінії й інших параметрів задаються стандартними засобами AutoCAD – програма сама визначає поточні значення. При наступному виклику команди попередня лінія зрізу на поверхні видаляється, а на діаграмі залишається. Це дає можливість на одній діаграмі розміщати кілька ліній зрізу різного кольору і аналізувати зміну глибин в

каналі. На діаграмі лінія зрізу відображається нижче нуля, відповідно до її глибинних параметрів, і представляється у вигляді полілінії.

Діаграми можуть бути отримані і по проектних лініях галсів, які можна довантажити в програму. У результаті ми отримуємо ряд діаграм – результат перетину поверхні поперечними січними площинами.

У програму вбудована ще одна важлива функція – це отримання матриці глибин. Матриця глибин [3] може бути отримана для всієї поверхні з параметрами графічних об'єктів, необхідних користувачу. Матриця будується шляхом опускання перпендикуляра з нульового рівня на побудовану поверхню з шагом, що

змінюється, по горизонталі і вертикалі (широті і довготі). Точка перетину перпендикуляра з поверхнею і буде нашим шуканим значенням глибини. У зв'язку з тим, що матриця представляється на дисплеї графічно у векторному форматі, то її можна експортувати в інші гідрографічні програми, а також зберігати дані у текстовому файлі.

Математична модель поверхні надає ряд переваг. Перетинаючи поверхню горизонтальними січними площинами, ми одержуємо лінії зрізу, які є лініями рівних глибин - ізобатами.

DeltaSurface може автоматично виконувати перетин поверхні з необхідним шагом по глибині й будувати ізобати. Всі ізобати представлені у вигляді поліліній, що дає можливість модифікувати їх, вирівнювати, видаляти і конвертувати в інші об'єкти. Кожна ізобата підписується з визначеним подовжнім шагом.

Одержуючи у такий спосіб з математичної моделі поверхні матрицю

глибин і ізобати, ми фактично маємо готовий планшет. Усі дані можна зберігати в окремому файлі чи роздруковувати безпосередньо із середовища DeltaProject.

У програмі передбачена також частина функцій для роботи з об'ємами. Маючи математичну модель, можна легко обчислити повний об'єм нашої поверхні чи об'єм на якій-небудь її ділянці. Значення об'ємів можна зберігати у файлах і вести статистику. Даний фактор дуже важливий при гідрологічному дослідженні дна: проведення аналізу замулення дна, облік замулення, а також при оцінці вартості робіт для очищення каналу і при обчисленні оптимальних параметрів каналу для успішної і безпечної проводки суден.

Розроблений пакет програм пройшов випробування в ДП "Дельта-Лоцман" і вже успішно використовується в виконанні промірних робіт і обробці їх результатів на Бузько-Дніпровському лимані і на Дунаї.

## Література

1. Финкельштейн З. AutoCAD-14. Библия. – СПб.: Диалектика, 1998. – 900 с.
2. Коломийчук Н.Д. Гидрография. ЦКФ ВМФ, 1988.
3. Сорокин А.И. Морская картография. ЦКФ ВМФ, 1985.
4. Сорокин А.И. Теоретические основы гидрографических исследований. ЦКФ ВМФ, 1972.
5. Хренов Л.С. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 1985.
6. [www.autodesk.com](http://www.autodesk.com)
7. [www.coastalo.com](http://www.coastalo.com)
8. Wendell E. Grove. Brief Numerical Methods. Prentice-Hall, Englewood cliffs, N.J, 1966.
9. Закаатов П.С. Курс высшей геодезии. – М.: Высшая школа, 1988.