

GIODIS — НОВАЯ ПРОГРАММА ОБРАБОТКИ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

А.В. Бойков («Джавад Жи Эн Эс Эс»)

В 1985 г. окончил факультет прикладной космонавтики МИИГАиК по специальности «космическая геодезия». После окончания института работал в организациях Минобороны РФ, РосНИЦ «Земля», «Аштек», Javad Positioning Systems и Topcon. С 1996 г. работает в компании «Джавад Жи Эн Эс Эс» (JAVAD GNSS), в настоящее время — научный сотрудник.

Специалисты компании «Джавад Жи Эн Эс Эс» разработали многофункциональную программу GIODIS, предназначенную для высокоточной обработки измерений, полученных с помощью глобальных спутниковых навигационных систем (ГНСС). Целью работ было создание программы, сочетающей возможность максимально точной обработки данных с современным, простым и удобным пользовательским интерфейсом. Иными словами, чтобы алгоритм обработки данных соответствовал серьезному научному программному обеспечению, такому как Bernese (Астрономический институт г. Берн, Швейцария) или GAMIT (Массачусетс-

кий технологический институт, США), а удобство при работе с интерфейсом — пользовательской программе, предназначенной для постобработки спутниковых измерений.

Последние годы характеризуются появлением для специалистов, работающих с оборудованием ГНСС, новых возможностей, помогающих получать результаты быстрее и с большей точностью, например, таких как:

- наличие в сети Интернет общедоступных измерений с постоянно действующих референчных (базовых) станций и их пространственных координат;

- увеличение числа постоянно действующих референц-

ных станций, составляющих глобальные и региональные сети;

- создание коммуникационных средств, позволяющих обмениваться данными в режиме реального времени между специалистами, работающими в полевых условиях и в офисе;

- наличие детальных электронных (растровых) карт, которые можно использовать в качестве подложки при полевых измерениях.

Все это было учтено при разработке программы. Например, одним из основных элементов ее интерфейса является электронная карта (план). В зависимости от детальности карты (иногда вплоть до отдельно стоящих домов), имеющейся на конкретный район, пользователь в процессе обработки может видеть на экране положение пунктов обрабатываемой сети относительно окружающих объектов (рис. 1).

Другим удобным средством, реализованным в программе, является наличие опции скачивания с ftp-сервера измерительной информации и координат для любого количества постоянно действующих станций сетей CORS и IGS на задаваемую пользователем эпоху. Это снимает проблему поиска исходных пунктов и позволяет вычислить координаты точек в системах координат ITRF-2000 и ITRF-2005 на любую эпоху.

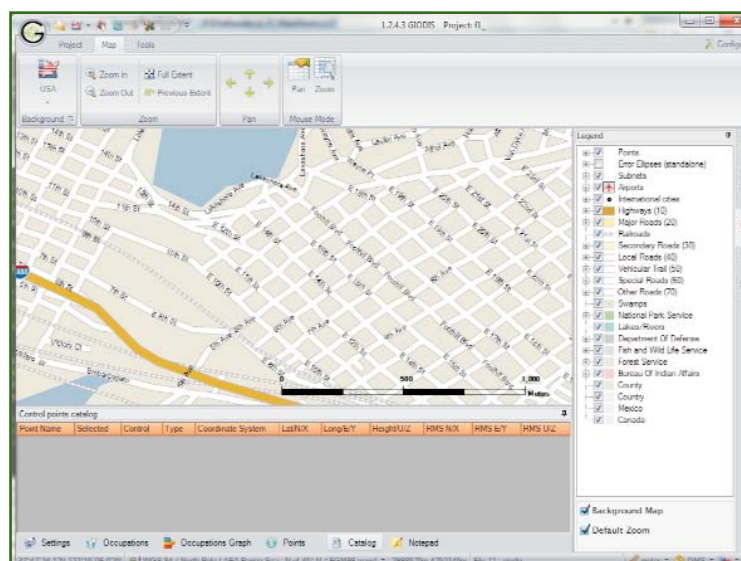


Рис. 1

Отображение электронной карты района работ в ПО GIODIS

Кроме карты, основными элементами интерфейса программы являются также две «закладки», расположенные в нижней части и справа от рабочего окна программы (рис. 2). В «закладке» справа отображается информация об импортированных файлах и контрольных точках проекта. В «закладке» внизу представлена измерительная информация и результаты, соответствующие этапам обработки — от информации о времени и последовательности измерений на пункте до уравненных значений координат.

Окно для ввода основных характеристик проекта позволяет перед началом обработки выполнить следующие операции:

- ввести параметры обработки измерений и уравнивания;
- назначить спутники систем GPS и ГЛОНАСС, принимаемые в обработку;
- задать единицы измерений и систему координат, в которой будут вычисляться уравненные координаты пунктов.

После указания параметров для выполнения всех основных операций — импорта файлов, их обработки, уравнивания сети и выдачи отчета — достаточно нажать соответствующую кнопку.

В программе имеется возможность помещать координаты

точек в каталог на любом этапе обработки. Это позволяет как вводить координаты контрольных точек перед вычислениями, так и экспортировать координаты любой точки в каталог при обработке и уравнивании. Причем, благодаря системе маркировки, наглядно видно, на каком этапе координаты помещены в каталог, и в каком качестве они используются в проекте, например, как контрольная точка при обработке глобальной или локальной сети при уравнивании или как точка, координаты которой вычисляются исполнителем. Особенно удобна работа с каталогом при большом количестве точек и подсетей, определенных в разные дни, и, возможно, в разных локальных системах координат, когда ранее полученные пользователем точки могут использоваться в качестве контрольных при дальнейшем развитии сети.

В программе GIODIS сразу обрабатываются данные со всех пунктов, одновременно участвовавших в сеансе измерений. Аналогичный подход реализован в высокоточных программах для научных исследований. Такой процесс обработки называют «мультибазовым» или «сессионным». Он снимает проблему так называемых тривиальных векто-

ров. В этом случае, если одновременно наблюдалось три пункта, то независимыми или нетривиальными являются только два вектора. А если все же обрабатывать и затем уравнивать как независимые, так и тривиальные векторы, то не стоит удивляться тому, что ошибка единицы веса после уравнивания будет сильно отличаться от единицы, поскольку столь необходимая в геодезии избыточность измерений на деле отсутствует. В GIODIS подобного не происходит за счет строгого учета корреляции между одновременно измеренными векторами. Так, результатом обработки единого сеанса измерений из N станций является сеть из независимых векторов и ее единая ковариационная матрица, размерностью $(N - 1)$.

Для разрешения фазовых неоднозначностей измерений обобщением ГНСС используется наиболее эффективный в настоящее время лямбда-метод, применяемый, в частности, и в программе постобработки Национальной геодезической службы США (NGS).

Другим новшеством явился отказ от формирования первых и вторых разностей фаз при обработке. В программе обрабатываются непосредственно фазовые измерения. Оцениваемыми параметрами, помимо векторов или координат пунктов, являются абсолютные значения фазовых неоднозначностей и ошибок часов спутников и приемников, а также оценки непосредственного влияния ионосферы и тропосферы.

Кроме того, в число неизвестных включены и ошибки параметров орбит наблюдаемых спутников. Уточняются не все параметры орбиты, а сдвиг положения спутника, вычисляемый по бортовым эфемеридам, относительно «точной» орбиты. Такой метод позволил увеличить расстояния между определяемыми пунктами до 2000 км даже без применения точных эфемерид.

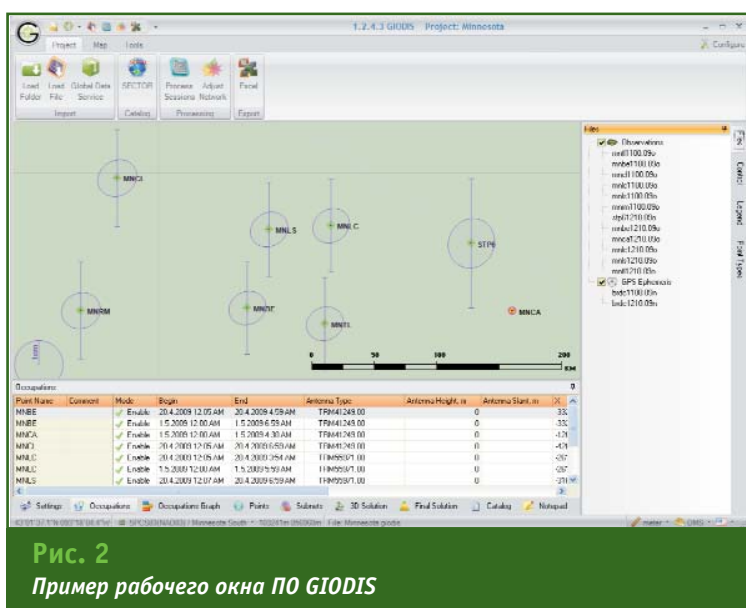


Рис. 2
Пример рабочего окна ПО GIODIS

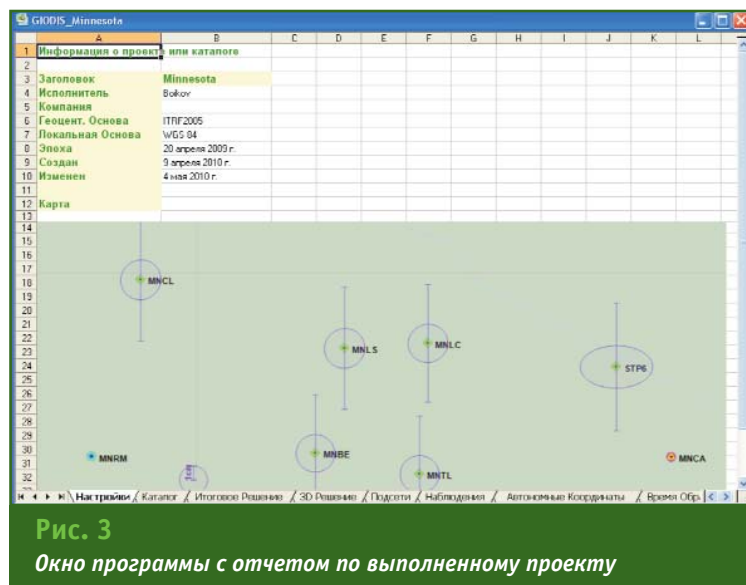


Рис. 3
Окно программы с отчетом по выполненному проекту

Новый подход реализован и в отношении использования постоянно действующих референсных станций, данные с которых размещены в Интернет. В GIODIS измерения на станциях и их опорные координаты обрабатываются совместно с данными, полученными пользователем, улучшая тем самым точность создаваемой съемочной сети. Естественно, возникает вопрос: каким образом пункты международной сети, удаленные от пунктов, расположенных в России, на тысячу километров, могут помочь при обработке? Во-первых, точность привязки к пунктам международной сети ITRF в GIODIS составляет порядка 2–3 см, что само по себе неплохо, а во-вторых — даже удаленные референсные станции позволяют уточнить параметры ионосферы и тропосферы, ошибки часов спутников и орбит, а значит, в конечном счете, и координаты точек создаваемого проекта. Разработанная математическая теория обработки обеспечивает хорошие результаты не только для решения геодезических задач по созданию опорных сетей, но и при измерениях в режиме «статика» даже при малом времени наблюдения на точках.

Еще одной особенностью программы является возможность получения метеопарамет-

ров для учета влияния тропосферы. На практике для пользователя не всегда удобно измерять метеопараметры непосредственно на пунктах наблюдения. Поэтому в программу GIODIS была включена база данных метеопараметров для глобальной сети метеостанций. В процессе обработки эти параметры автоматически интерполируются для местоположения пользователя, даты и времени суток его наблюдений. Таким образом, достигнут разумный компромисс между необходимостью использовать стандартные метеопараметры при обработке и необходимостью применять метеодатчик в полевых условиях.

В программе уравниваются как отдельные сети, так и наборы сетей (и их общие ковариационные матрицы), полученные из обработки разных сеансов наблюдений. При совместном уравнивании координат пунктов, определенных с помощью оборудования ГНСС, и пунктов наземной сети в число параметров уравнивания, помимо значений координат, включены и параметры перехода между глобальной (пространственной) и локальной (пространственной или плоской) системами координат. В зависимости от того, какая основа используется в проекте — высотная, плановая

или обе — можно выполнять уравнивание либо высот, либо плановых координат, либо совместно и тех и других.

Работа над проектом завершается подготовкой отчета. Он создается в виде файла формата Microsoft Excel и состоит из последовательности отдельных листов, которые содержат информацию по каждому этапу обработки (рис. 3):

- настройка проекта со схемой расположения пунктов;
- каталог координат;
- уравненные координаты (итоговое решение);
- координаты после обработки;

- информация о подсетях;
- информация о наблюдениях;

- автономные координаты, определенные методом точного позиционирования PPP (Precise Point Positioning) с использованием значений точных эфемерид;

- время обработки.

Отчет сохраняется автоматически в папке для отчетов, если пользователь не укажет иную папку, и всегда доступен для просмотра. Это особенно удобно при необходимости снова вернуться к работе над проектом — достаточно внести какие-либо изменения в настройки или исходную информацию и выполнить обработку. При этом появляется возможность сравнить результаты, полученные в обоих случаях, и проанализировать расхождение между ними.

RESUME

Capabilities of the GIODIS multifunctional program for geodetic processing measurements acquired with the GNSS equipment are given. A possibility of using data of the both continuously operating reference stations and global meteorological stations network as a base for electronic maps is marked. This provides for the maximal accuracy of the data processed together with original processing algorithms.