

Программа решения навигационной задачи глобальных навигационных  
спутниковых систем «Navi»  
Руководство пользователя

Программа Navi решает навигационную задачу нахождения координат приёмника по кодовым измерениям ГНСС NAVSTAR GPS, ГЛОНАСС, GALILEO и BeiDou (COMPASS) как отдельно, так и совместно, используя файлы формата RINEX (версии 2.xx и 3.xx). Также программа поддерживает точные эфемериды в формате SP3.

Запуск программы можно осуществить двумя способами: запустить файл Navi.exe, тогда программа будет искать файлы с именами, которые указаны в параметрах **RINEXObsFilename** и **EphemerisFilename** из файла настроек navi.ini; также можно запустить программу путём перетаскивания выделенной группы нужных файлов на её значок: в этом случае соответствующие параметры из файла настроек будут проигнорированы. Второй способ эквивалентен запуску с параметрами командной строки (либо bat-файлом) следующего содержания:

«Navi.exe            имя\_файла\_наблюдений            имя\_файла\_эфемерид\_1  
имя\_файла\_эфемерид\_2 ... (ещё файлы, содержащие эфемериды других систем, если требуется)».

Входные данные содержатся как минимум в двух файлах: в файле наблюдений, в котором находятся измеренные псевдодальности на эпохи наблюдений и файле эфемерид (параметров орбит), где содержатся либо навигационные сообщения наблюдаемых спутников, либо их точные эфемериды на опорные моменты времени. Для работы с системой GPS необходимо запустить программу, указав для работы файл наблюдений (.ууо или \_MO.rnx) типа GPS или MIXED, при этом в качестве файла эфемерид указать файл навигационных сообщений для спутников GPS (.ууп или \_GN.rnx), параметр **System** должен иметь (или содержать) значение G (G, GR, GE, GC, GRE, GREC). Соответственно, для работы только с ГЛОНАСС нужен MIXED файл наблюдений, и файл сообщений для спутников ГЛОНАСС (.ууг), параметр **System** должен содержать R (R, GR, RE, RC, GRE, GREC). Для решения с использованием нескольких систем нужно указать все необходимые файлы эфемерид (или один файл MIXED для спутников нескольких систем .уур или \_MN.rnx), а параметр **System** должен иметь значение желаемой комбинации систем (ER, EGR). Для получения решения с использованием точных эфемерид нужно добавить в список файлов эфемерид файл с точными эфемеридами (.sp3). В этом случае эфемериды будут взяты исключительно из этого файла, а навигационные файлы будут служить лишь источником коэффициентов для моделей ионосферной задержки.

В результате решения навигационной задачи на каждую эпоху наблюдений программа находит:

- декартовы (x, y, z), геодезические (B, L, H) (опционально) координаты приёмника,
  - ошибку часов приёмника cdt в метрах для каждой системы, а также рассчитывает
  - смещённое среднеквадратичное отклонение (СКО) от заданных точных координат (**TruePosition**): в плоскости (SEN), по высоте (SU) и 3-D СКО (SENU) в топоцентрических координатах (E, N, U).
- Также, по завершению работы программа выдаёт:
- медианные значения координат xm ym zm,
  - усреднённые СКО за все эпохи наблюдений как относительно точных, так и медианных значений координат.

В случае, если выбран способ вывода информации в файл, то в соответствующей директории создаётся файл, содержащий в себе расширенную информацию по решению на каждую эпоху, отличающуюся от вышеперечисленной наличием значений:

- количества данных спутников, участвовавших в решении,
- факторов потери точности (DOP) в плоскости, по высоте, 3-D, по времени (HDOP, VDOP, PDOP, TDOP), рассчитанные, как и СКО, для топоцентрических координат.

Второй файл с префиксом RMS содержит усреднённую статистическую информацию за все эпохи для каждого запуска программы в данной конфигурации (станция, частотный режим, ГНСС, тропосферная и ионосферная модели) - СКО (относительно точных и медианных координат), кроме того, рассчитывается

- время в секундах, затраченное на решения навигационной задачи при каждом запуске.

Настройки программы находятся в файле navi.ini, который имеет следующую структуру:

**RINEXObsFilename=nrc10010.18o** – имя файла навигационных наблюдений.\*

**EphemerisFilename=nrc10010.18n nrc10010.18g** – имена файлов навигационных сообщений спутников.\*

*\* Если запуск программы осуществляется с параметрами командной строки, данные параметры будут проигнорированы.*

**System=GR** – используемые в решении системы, например:

- G – только GPS,
- R – только ГЛОНАСС,
- E – только GALILEO,
- C – только BeiDou,
- GR – GPS и ГЛОНАСС,
- GE – GPS и GALILEO,

GC – GPS и BeiDou,  
 RE – ГЛОНАСС и GALILEO,  
 RC – ГЛОНАСС и BeiDou,  
 EC – GALILEO и BeiDou  
 GRE – GPS, ГЛОНАСС и GALILEO  
 GREC – GPS, ГЛОНАСС, GALILEO и BeiDou

**InitialTime=0 0 0.0** – начальная эпоха наблюдений: часы минуты секунды.\*\*

**FinalTime=23 59 30.0** – конечная эпоха наблюдений: часы минуты секунды.\*\*

*\*\* Если данные параметры не указаны, либо равны 0 0 0, то после запуска программы ввод этих параметров будет производиться в консольном окне с клавиатуры.*

**Step=60.0** – шаг по времени между эпохами наблюдений: секунды. Значение должно быть кратно значению поля «INTERVAL» файла наблюдений и не должно быть меньше него.

*Если данный параметр не указан или равен нулю, то значение берётся из поля **Interval** файла навигационных наблюдений.*

**TruePosition=1.000000 1.000000 1.000000** – истинные координаты приёмника: x y z метры.\*\*\*  
 Необходимы для оценки ошибки позиционирования.

**ApproximatePosition=1.000000 1.000000 1.000000** – априорные (приблизительные) координаты приёмника: x0 y0 z0 метры.\*\*\*  
 Необходимы в качестве начальных значений для итерационного метода решения навигационной задачи.

*\*\*\* Если данные параметры не указаны или равны 0 0 0, то их значения берутся из поля **ApproxPosition** файла навигационных наблюдений.*

**FrequencyMode=SC1** – режим использования измерений:

SC1 – одночастотный режим с использованием только C1 (C1C) кода (C2I для BeiDou),

SC2 – одночастотный режим с использованием только C2 (C2C C5/C7 для Galileo, C7I для BeiDou) кода,

SP1 – одночастотный режим с использованием только P1 кода,

SP2 – одночастотный режим с использованием только P2 кода,

DP – двухчастотный режим с использованием только P1 и P2 кодов,

DC – двухчастотный режим с использованием только C1 и C2 кодов (C1 и C5/C7 для GALILEO, C2I и C7I для BeiDou),

DA – двухчастотный режим с автоматическим комбинированием кодов в зависимости от их наличия (P1 + P2, если нет какой-то из этих псевдодальностей - C1 + C2, если всё ещё не хватает какой-то из них - P1 + C2, если и так не получилось - C1 + P2 пока не будет получено хоть какое-то двухчастотное решение), при этом межчастотные задержки (DCB) не учитываются.

**GalileoDataType=I** – тип информации для ГНСС Galileo:

F – F/NAV, используется сигнал C5 (E5a) для одночастотного режима, сигналы C1 и C5 (E1 и E5a) для двухчастотного режима,

I – I/NAV, используется сигнал C1 (E1) или C7 (E5b) для одночастотного режима, сигналы C1 и C7 (E1 и E5b) для двухчастотного режима.

**ExcludeSattelites=G1 R5** – идентификаторы спутников, исключаемых из решения.

**SpecSatFilename=sats\_when\_1\_dropped\_G.txt** – имя файла, содержащего идентификаторы спутников на каждую эпоху наблюдений, которые будут задействованы в решении, формат (hh mm ss G03 G05 ... Xnn).

**ElevationMask=15.0** – маска отсечки по углу места, исключает из решения спутники, имеющие угол возвышения меньше заданного параметра: градусы.

**SNRMask=5** – маска отсечки по соотношению сигнал/шум (SNR):

SNR, дБ	Значение SNRMask
Неизвестно	0 или пусто (не известно, все равно)
< 12	1 (минимально возможный уровень сигнала)
12–17	2
18–23	3
24–29	4
30–35	5 (порог для хорошего отслеживания)
36–41	6
42–47	7
48–53	8
≥ 54	9 (максимально возможный уровень сигнала)

**CorrectIonosphereDelay=K** – моделирование ионосферной задержки:\*\*\*\*

0 – отключено,

K – модель Клобучара,

k – модифицированная модель Клобучара для ГНСС BeiDou (BDSK или MBDK)

A – адаптивная модель ГЛОНАСС с расчётом вертикального ПЭС посредством интегрирования методом Симпсона,

S – адаптивная модель ГЛОНАСС с упрощённым расчётом вертикального ПЭС,

N – модель NeQuick G,  
 n – модель NTCM G,  
 B – модель BDGIM,  
 G – модель GEMTEC,  
 I – карты GIM в формате Ionex,  
 M – карты заданных значений ПЭС в избыточном формате,  
 v – ряд значений вертикального ПЭС, полученный по методике TayAbsTEC,  
 s – ряды значений наклонного ПЭС для каждого спутника, полученные по методике TayAbsTEC).

**IonosphereMappingFunction=0** – выбор функции отображения ионосферной задержки (для пересчёта зенитного значения в наклонное):\*\*\*\*

0 – задействована «собственная» функция отображения, рекомендованная официальной документацией для каждой модели,

K – функция из модели Клобучара,

k – функция из модели Клобучара для GNSS BeiDou BDSK (MBDK),

A – функция из адаптивной модели ГЛОНАСС,

n – функция Modified Single Layer Model mapping function из модели NTCM G,

B – функция из модели BDGIM,

G – функция из модели GEMTEC,

v – функция, рекомендованная к методике TayAbsTEC,

I – классическая функция со значениями RE и hI (радиус Земли и высота ионосферного слоя) из параметра **IonosphereMappingParameters**.

*Выбор функции отображения не поддерживается и будет проигнорирован для модели NeQuick G и рядов наклонного ПЭС по методике TayAbsTEC, (N, s), другие же модели будут выдавать зенитные значения задержки, которые преобразуются в наклонные выбранной функцией.*

**Alpha=0.1 5.0567 8.7 6.6** – 4 коэффициента Alpha (для модели ионосферной задержки Клобучара и BDSK (MBDK)).\*\*\*\*

**Beta=0.1 5.0567 8.7 6.6** – 4 коэффициента Beta (для модели ионосферной задержки Клобучара и BDSK (MBDK)).\*\*\*\*

**A=0.8** – коэффициент адаптации (для модели ионосферной задержки ГЛОНАСС).\*\*\*\*

*Данный коэффициент согласно ИКД ГЛОНАСС 2016 г. должен транслироваться в навигационном сообщении, однако до сих пор он недоступен, значение взято из примера в ИКД.*

**F10.7=120.0** – индекс солнечной активности (для моделей ионосферной задержки GEMTEC и ГЛОНАСС).\*\*\*\*

*Данный коэффициент согласно ИКД ГЛОНАСС 2016 г. должен транслироваться в навигационном сообщении, однако до сих пор он недоступен, значение нужно брать из открытых источников.*

**Ap=30.0** – геомагнитный индекс (для модели ионосферной задержки ГЛОНАСС).\*\*\*\*

*Данный коэффициент согласно ИКД ГЛОНАСС 2016 г. должен транслироваться в навигационном сообщении, однако до сих пор он недоступен, значение нужно брать из открытых источников.*

**Az=0.1 5.0567 7.8** – 3 коэффициента Az (для моделей ионосферной задержки NeQuick G и NTCM G).\*\*\*\*

**BDGIMFilename=BGIM0010.18N** – имя файла, содержащего 9 коэффициентов Alpha на каждые 2 часа суток (для модели ионосферной задержки BDGIM).\*\*\*\*

**IONEXFilename=uqrg0010.18i** – имя файла ионосферных карт GIM в формате IONEX (для моделирования ионосферы путём интерполяции карт GIM).\*\*\*\*

**TECFilename=TEC\GIM\_TEC-IRI2016\_2017\_219.dat** – имя файла ионосферных карт в избыточном формате (Year, DayOfYear, UT, L, B, TECV) для значения параметра **CorrectIonosphereDelay=M** (моделирование ионосферы путём интерполяции заданных значений ПЭС). В процессе обработки файл конвертируется в формат Ionex и сохраняется в соответствующей директории.

При моделировании ионосферной задержки с помощью ряда *вертикальных* значений ПЭС, полученных по методике TayAbsTEC (**CorrectIonosphereDelay=v**), параметр используется как имя файла TayAbsTEC формат UT, TECV.\*\*\*\*

**TayAbsTECPath=TayAbsTEC** – директория, в которой находятся файлы с рядами значений *наклонного* ПЭС, полученного по методике TayAbsTEC (для режима моделирования ионосферной задержки **CorrectIonosphereDelay=s**).

**IonosphereMappingParameters=6371.0 400.0** – радиус Земли и высота ионосферного слоя (RE и hI) для значения параметра функции отображения ионосферной задержки **IonosphereMappingFunction=I**.\*\*\*\*

\*\*\*\* *Если используется двухчастотный режим, то данные параметры игнорируются.*

**CorrectTroposphereDelay=S** – моделирование тропосферной задержки

0 – отключено,  
 P – простейшая модель,  
 M – модифицированная простейшая модель,  
 G – модель GCAT,  
 H – модель Хопфилд,  
 B – модель Блэка,  
 S – модель Саастамойнена,  
 D – модель на основе модели Саастамойнена в интерпретации Дэвиса с использованием функции отображения CfA-2.2,  
 N – модель на основе модели Саастамойнена с использованием функции отображения Нейла.

**TroposphereMappingFunction=0** – выбор функции отображения тропосферной задержки (для пересчёта зенитного значения в наклонное)  
 0 – задействована «собственная» функция отображения для каждой модели,  
 P – простейшая функция,  
 M – модифицированная простейшая функция,  
 G – функция Блэка и Эйснера из модели GCAT,  
 H – функция отображения из модели Хопфилд,  
 B – функция отображения из модели Блэка,  
 C – функция Чао,  
 D – функция Дэвиса (CfA-2.2),  
 I – функция Айфадиса,  
 N – функция Нейла.

*Выбор функции отображения не поддерживается и будет проигнорирован для простейшей и модифицированной простейшей модели, а также классической версии модели Саастамойнена (P, M, S), другие же модели будут выдавать зенитные значения «сухой» и «влажной» задержек, которые преобразуются в наклонные выбранной функцией.*

**Weather=0.0 0.0 50.0** – давление (мбар), температура (K), относительная влажность воздуха (%) (для моделей тропосферной задержки Хопфилд и Саастамойнена, а также для работы функций отображения CfA-2.2, Ифадиса и Нейла).

*Если давление будет указано равным 0, то данные параметры игнорируются и будут рассчитаны при помощи модели Стандартной атмосферы, что вполне достаточно для приемлемой точности.*

**NumberOfIterations=5** – число итераций в решении методом наименьших квадратов.

*Решение сходится до мм, как правило, на 4 итерации, 5 здесь взято с запасом, на случай непредвиденного поведения программы. Если необходимо слегка повысить производительность, можно указать значение 4. На первых двух итерациях не работают модели ионосферы и тропосферы, а*

*также отсечка по углу места, чтобы не происходило переполнение переменных, а также преждевременное исключение спутников из решения из-за низкой точности координат.*

**RMSThreshold=100.0** – не отображать и не учитывать в статистике по всем эпохам решения, 3-D СКО которых больше данного параметра: метры.

**GeodethicCoordinates=1** – вывод значений решения в геодезических координатах:

0 – отключено,

1 – включено.

**OutputType=1** – вывод данных:

0 – только на экран,

1 – только в файл,

2 – на экран и в файл.

**OutputPath=Output** – директория, куда будут записаны файлы с решениями, создаётся автоматически.

**AccumulateOutputData=0** – накопление выходных данных в одном файле:

0 – отключено, файлы будут переписываться всякий раз заново,

1 – при одних и тех же параметрах (ГНСС, частотный режим, модели задержек) запись будет производиться в конец одного и того же файла при каждом запуске программы.