

Утверждаю
Генеральный директор «Гиролаб»



Кутман А.Б.
20.10.13

Протокол №17

Проверка ошибок навигации в составе передвижной лаборатории.

Изделие БИНС М500

Гл. конструктор «Гиролаб»

Начальник ПМО «Гиролаб»




И.И. Нестеров

Н.В. Мальгин

1. Цель испытаний

Целью испытаний является:

- проверка ошибок счисления координат изделием БИНС М500 в следующих режимах работы:
 - А) с коррекцией по одометрическому датчику пройденного пути,
 - Б) с коррекцией по показаниям приёмника спутниковой навигации СН-5831 АНАИ.469635.002 (Навис),
 - В) в автономном режиме за час работы в движении.
- Расчёт юстировочных коэффициентов датчика пройденного пути и углов установки БИНС относительно оси движения автомобиля по тестовым заездам.

2. Объект испытаний

Изделие БИНС М500 МИКГ.402311.003 производства «Гиролаб» в составе штатного амортизирующего основания установленное на испытательной плите передвижной лаборатории.

3. Используемое оборудование

В качестве транспортного средства использовался автомобиль типа «Ларгус». БИНС крепилась на установочной плите жёстко связанной в трёх точках с кузовом автомобиля. Установочная плита закреплена на кузове в местах усиления имеющих площадки с резьбовым (М8) креплением (площадки предназначены для крепления грузов).

В составе комплекса использовался приёмник спутниковой навигации типа СН-5831 АНАИ.469635.002 (Навис).

В качестве датчика пройденного пути использовался штатный датчик автомобиля, установленный на раздаточной коробке передней оси автомобиля.

4. Объём испытаний

1. Движение с коррекцией по одометрическому датчику и с выключенным приёмником спутниковой навигации (признак HDOP=100).
2. Движение в автономном режиме с выключенным приёмником спутниковой навигации (HDOP=100) и выключенным датчиком пройденного пути за час работы.

Дополнительно проверялись переходные режимы работы изделия с выключением и включением данных от приёмника спутниковой навигации в процессе движения в следующих режимах работы изделия:

3. Движение при включенном датчике пройденного пути, переход к одометрическому режиму счисления пути, и обратно.
4. Движение при выключенном датчике пройденного пути, переход к автономному режиму счисления пути, и обратно.

Проверки по пункту 3,4 выполнялись во время тестовых заездов длительностью не менее одного часа, приёмник спутниковой навигации выключался не менее чем на 20 минут движения.

Во всех режимах испытаний контроль текущего положения передвижной лаборатории протоколировался от отдельного приёмника спутниковой навигации одновременно с данными получаемыми от инерциальной системы.

5. Условия проведения испытаний

Испытания проводились при температуре окружающего воздуха 8 градусов Цельсия, при сухом дорожном покрытии.

6. Методика испытаний

Проверка ошибок счисления координат выполнялась в соответствии с пунктом А6 приложения А согласованной программы испытаний с «ЦНИИ Буревестник».

С целью оценки ошибок счисления координат в процессе движения для изделия БИНС М500 были приняты меры по снижению вклада ошибки начальной выставки. Начальная выставка изделия БИНС М500 выполнялась автономно без привлечения информации от внешних измерителей курса, но выполнялась в режиме двойного гирокомпасирования с разворотом изделия более 120 градусов с помощью переезда автомобиля. Начальные координаты для задачи начальной выставки задавались по показаниям спутниковой навигационной системы СН-5831 АНАИ.469635.002.

Перед заездом была выполнена юстировка коэффициента датчика пройденного пути автомобиля с помощью встроенного ПО БИНС М500 по штатной методике на изделие без привлечения информации от внешних измерителей.

Перед заездом была выполнена юстировка установочных углов изделия относительно продольной оси автомобиля с помощью встроенного ПО БИНС М500 по штатной методике на изделие без привлечения информации от внешних измерителей.

Юстировочные операции выполнялись 4 раза с протоколированием результатов.

Испытания проводились на трассе общей протяжённостью 52 км. Движение по трассе было разбито на несколько участков с учётом требования к разнесению контрольных точек, карта движения на каждом участке прилагается.

Дополнительные испытания для проверки переходных режимов изделия при выключении и включении спутникового приёмника выполнялись на всей протяжённости выбранной трассы без учёта требований к разнесению контрольных точек.

Движение по трассе повторялось в каждом отдельно контролируемом режиме работы изделия.

Протоколирование координат в процессе движения и в контрольных точках выполнялось в прямоугольной системе координат СК-42 (проекция Гаусса-Крюгера) с помощью приёмника спутниковой навигации СН-5831 свидетельство средства измерения N49747. СКО определения координат 2.5м (в соответствии с приложением к свидетельству средства измерения).

Общая схема трассы приведена на рисунке 1 ниже.

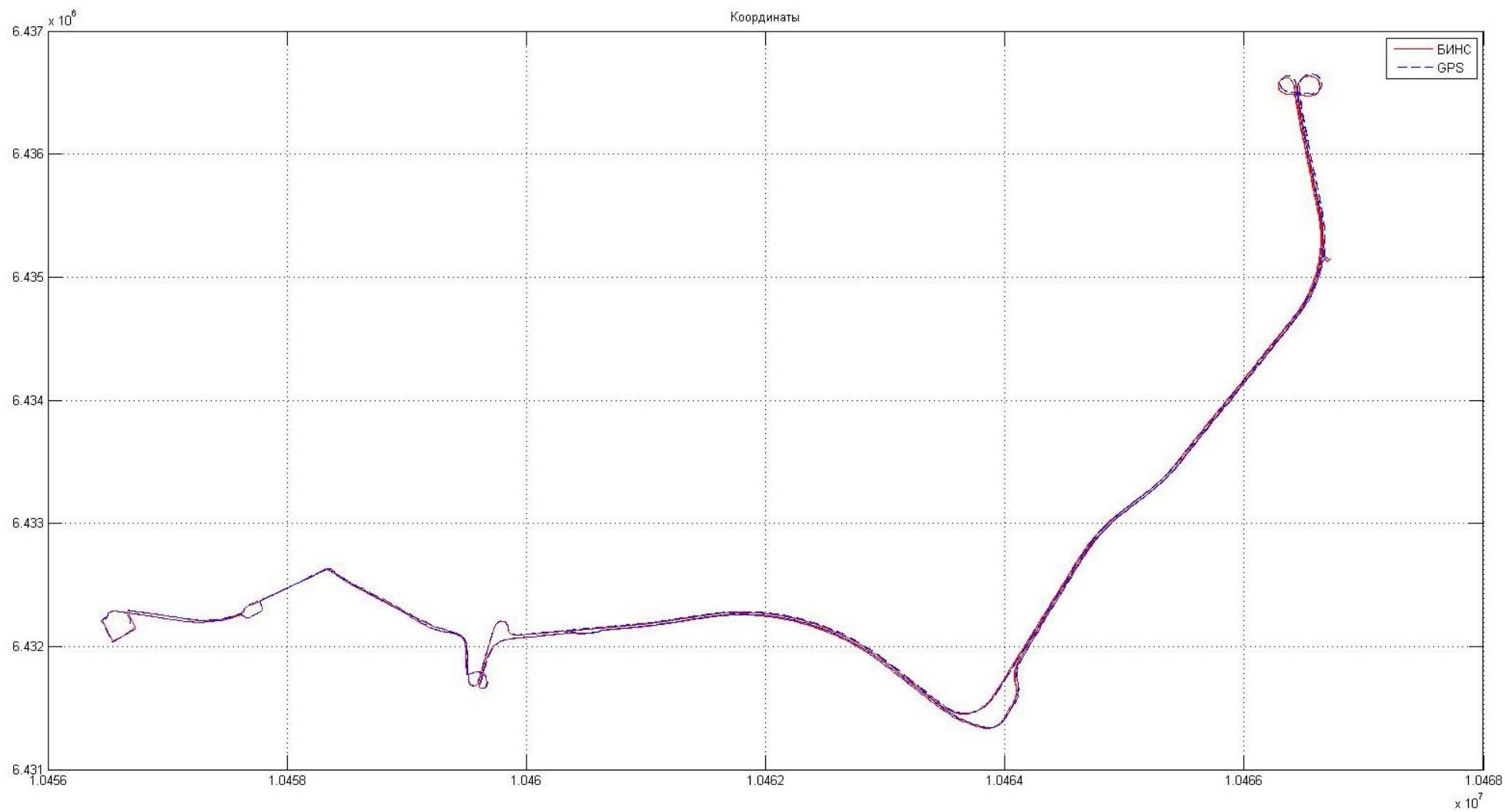


Рисунок 1. Общая схема трассы.

7. Результаты испытаний.

7.1 Протокол выполнения юстировочных операций по штатной методике БИНС М500 приведён в таблице 1.

dPsi – юстировочная поправка курсового угла. в градусах.

dTetta – юстировочная поправка угла возвышения. в градусах

K_od – константа приращения пути одометром автомобиля. в метрах.

Таблица №1

Параметр	Участок №1	Участок №2	Участок №3	Участок №4	Среднее	СКО
dPsi	-0.951	-0.946	-0.943	-0.933	-0.943	0.0075
dTetta	0.618	0.623	0.593	0.659	0.6232	0.0272
K_od	0.09984125	0.09984224	0.09996001	0.09990209	0.09989012	0.0005

Установочные углы относительно оси движения автомобиля и коэффициент датчика пройденного пути БИНС М500 оценивает автоматически в режиме «ЮСТИРОВКА» по собственным инерциальным данным при движении автомобиля на прямолинейном участке трассы расстоянием 200- 300м без привлечения информации от других измерителей. Установочные углы, определённые в результате юстировки показали, что БИНС М500 установлен:

- с углом возвышения 0.62 градуса.

- с углом по курсу -0.94 градуса

относительно оси движения автомобиля.

СКО определения установочных углов составил:

- 0.1ДУ (0.0075 градуса) по углу курса

- 0.4ДУ (0.0272 градуса) по углу возвышения.

Коэффициент пройденного пути колёсного датчика составил 0.09989012м на один импульс. СКО по четырём тестовым заездам составил 0.5%.

7.2 Протокол испытаний изделия БИНСМ 500 (показания в контрольных точках).

Таблица 2.

Координаты ПС, м			Контрольные координаты, м			Погрешность, м			Путь ДПП, м	Относительная погрешность, %			Прим.
$X_{нсі}$	$Y_{нсі}$	$H_{нсі}$	$X_{кті}$	$Y_{кті}$	$H_{кті}$	ΔX_i	ΔY_i	ΔH_i	S_i	δX_i	δY_i	δH_i	
Результаты испытаний изделия в одометрическом режиме счисления пути (СНС выключен, колёсный датчик включен).													
6432105.31	10460518.70	163.59	6432108.59	10460526.46	155.53	-3.27	-7.76	8.06	5146.33	0.064	0.151	0.157	Участок 1
6432224.59	10456487.90	161.72	6432226.60	10456478.29	153.43	-2.01	9.60	8.29	51910.19	0.004	0.019	0.016	Полный путь 1 час 6 минут (в расчётах не учитывается)
6429296.47	10462097.51	167.27	6429293.39	10462095.30	169.63	3.08	2.21	-2.36	6027.34	0.051	0.037	0.039	Участок 2
6432674.60	10464593.10	202.07	6432678.62	10464603.18	198.43	-4.02	-10.09	3.64	15442.38	0.026	0.065	0.024	Участок 3
6432248.85	10456491.55	149.93	6432233.27	10456469.56	152.83	15.57	21.99	-2.90	11506.54	0.135	0.191	0.025	Участок 4
Результаты испытаний изделия в автономном режиме счисления пути (СНС выключен, колёсный датчик выключен).													
6432112.13	10460533.94	162.64	6432108.59	10460526.46	155.53	3.54	7.48	7.11	5146.33	0.069	0.145	0.138	Участок 1
6432273.49	10456488.02	161.96	6432226.60	10456478.29	153.43	46.89	9.72	8.52	51910.19	0.090	0.019	0.016	Полный путь 1 час 6 минут.
6429294.31	10462099.11	167.67	6429293.39	10462095.30	169.63	0.92	3.80	-1.97	6027.34	0.015	0.063	0.033	Участок 2
6432590.86	10464578.57	201.82	6432678.62	10464603.18	198.43	-87.76	-24.61	3.39	15442.38	0.568	0.159	0.022	Участок 3
6432252.95	10456424.79	149.55	6432233.27	10456469.56	152.83	19.67	-44.77	-3.28	11506.54	0.171	0.389	0.028	Участок 4

7.3 Результаты испытаний изделия в одометрическом режиме счисления пути (СНС выключен, колёсный датчик включен).
Карта участка 1 протяжённостью 5 км представлена на рисунке 2. Расстояние, пройденное вдоль оси Y составляет 3 км (ось Y по горизонтали).

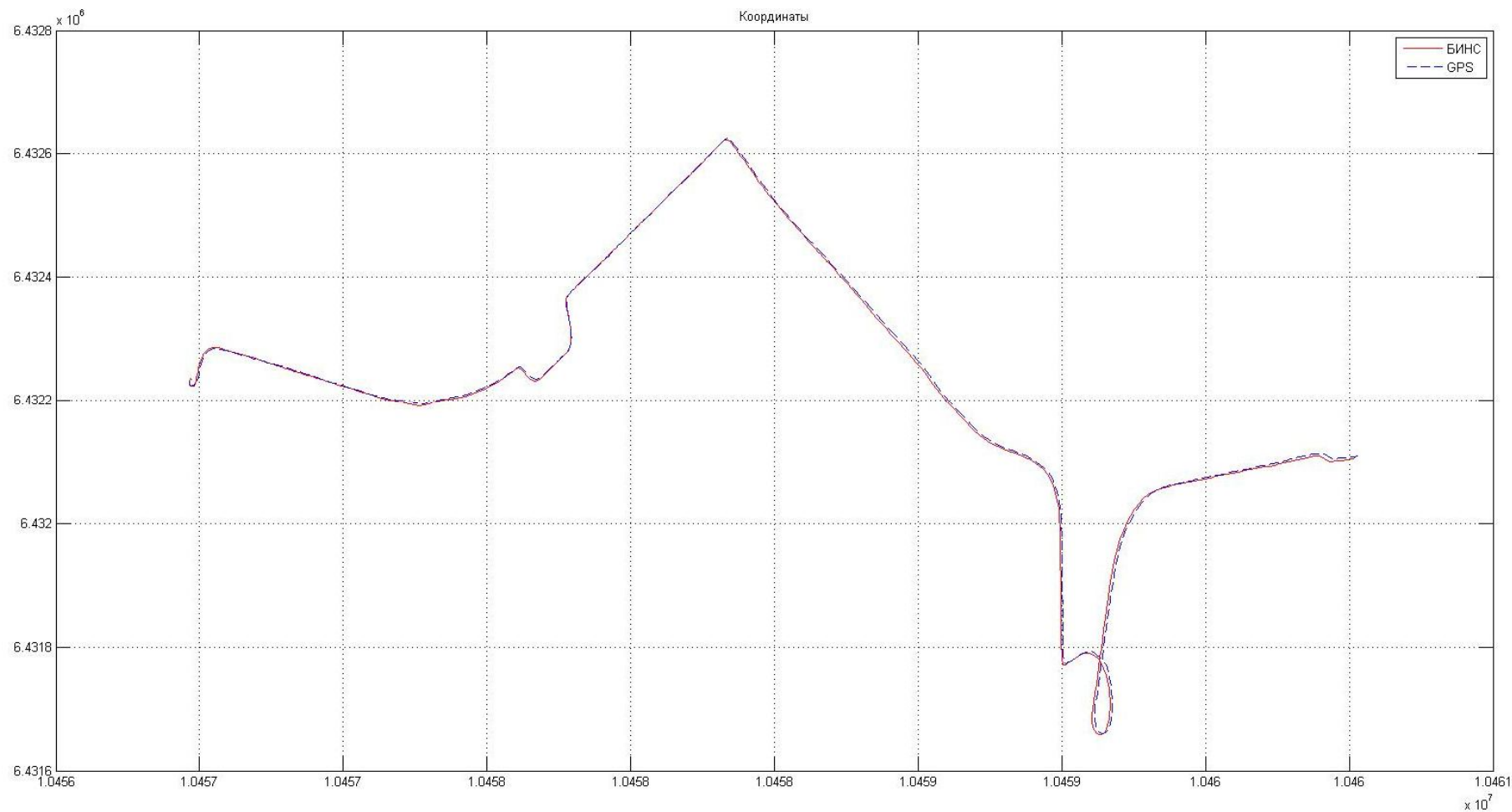


Рисунок 2, карта участка 1 .

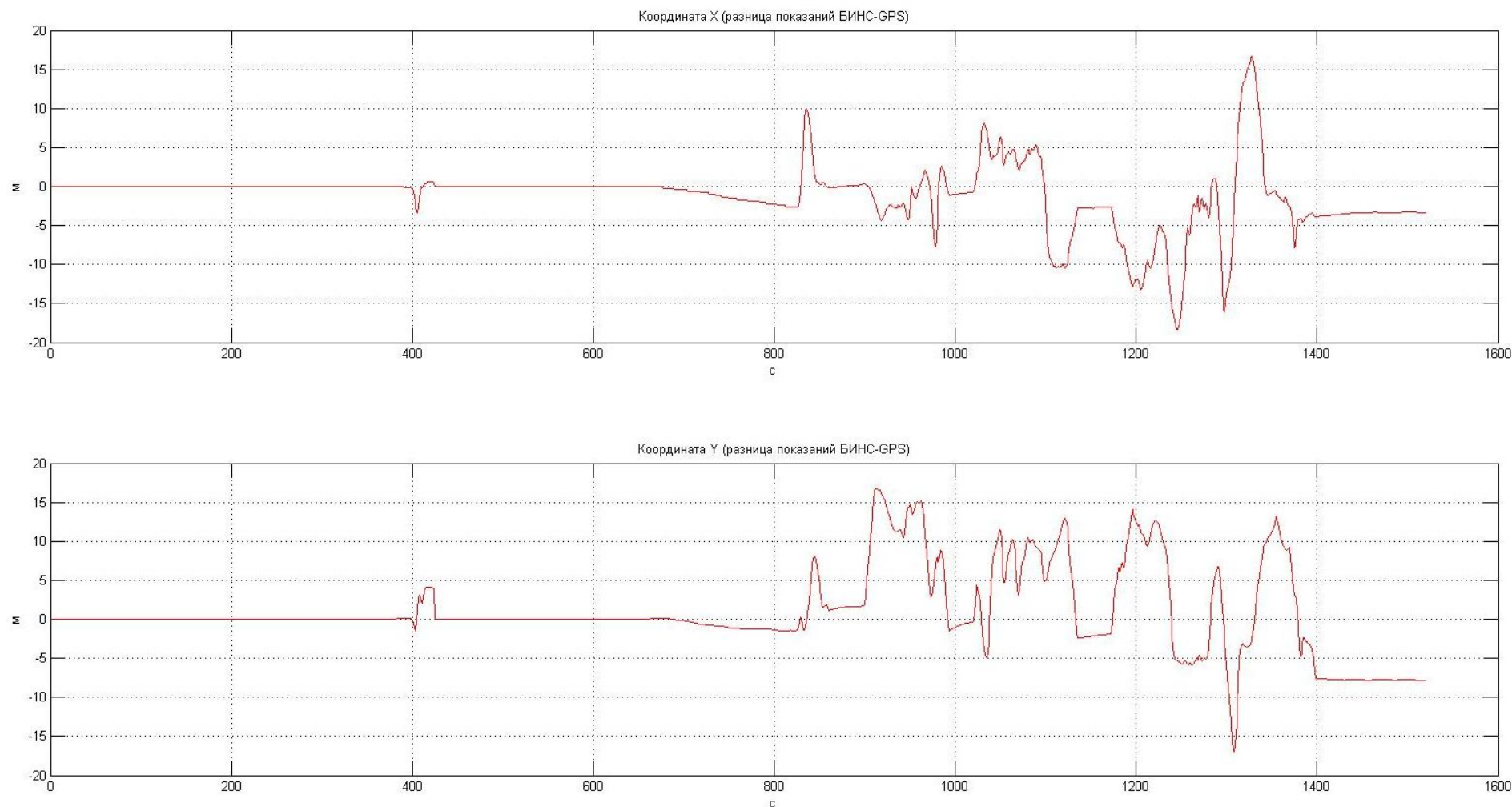


Рисунок 3. Разница показаний БИНС-СНС в движении. Режим работы: СНС выключен, колёсный датчик включен.

Движение на участке 1 - от 600 секунды до 1500 секунды (см. рис. 3,4,5) выполнялось с приращением координаты вдоль оси Y.

- Ошибку «-7.7м» по координате Y на конечном участке пути можно отнести преимущественно к ошибке калибровки коэффициента датчика пройденного пути. Для участка протяжённостью 5 км это соответствует ошибке коэффициента ДПП на уровне 0,15% (СКО при определении коэффициента ДПП было 0,5%).

- Ошибка «3,27м» по координате X вызвана ошибкой гироскомпасирования, поскольку СКО определения юстировочного угла установки БИНС относительно оси движения автомобиля на уровне 0.1ДУ может дать вклад только 0.3м, если учесть что приращение координаты вдоль перпендикулярной оси Y составило всего 3 км (при общем пройденном пути 5 км). Таким образом, накопленной ошибке 3,27м на расстоянии 3 км между контрольными точками по координате Y будет соответствовать ошибка определения начального угла курса БИНС М500 в режиме двойного гироскомпасирования величиной 0.061 градуса (1ДУ).

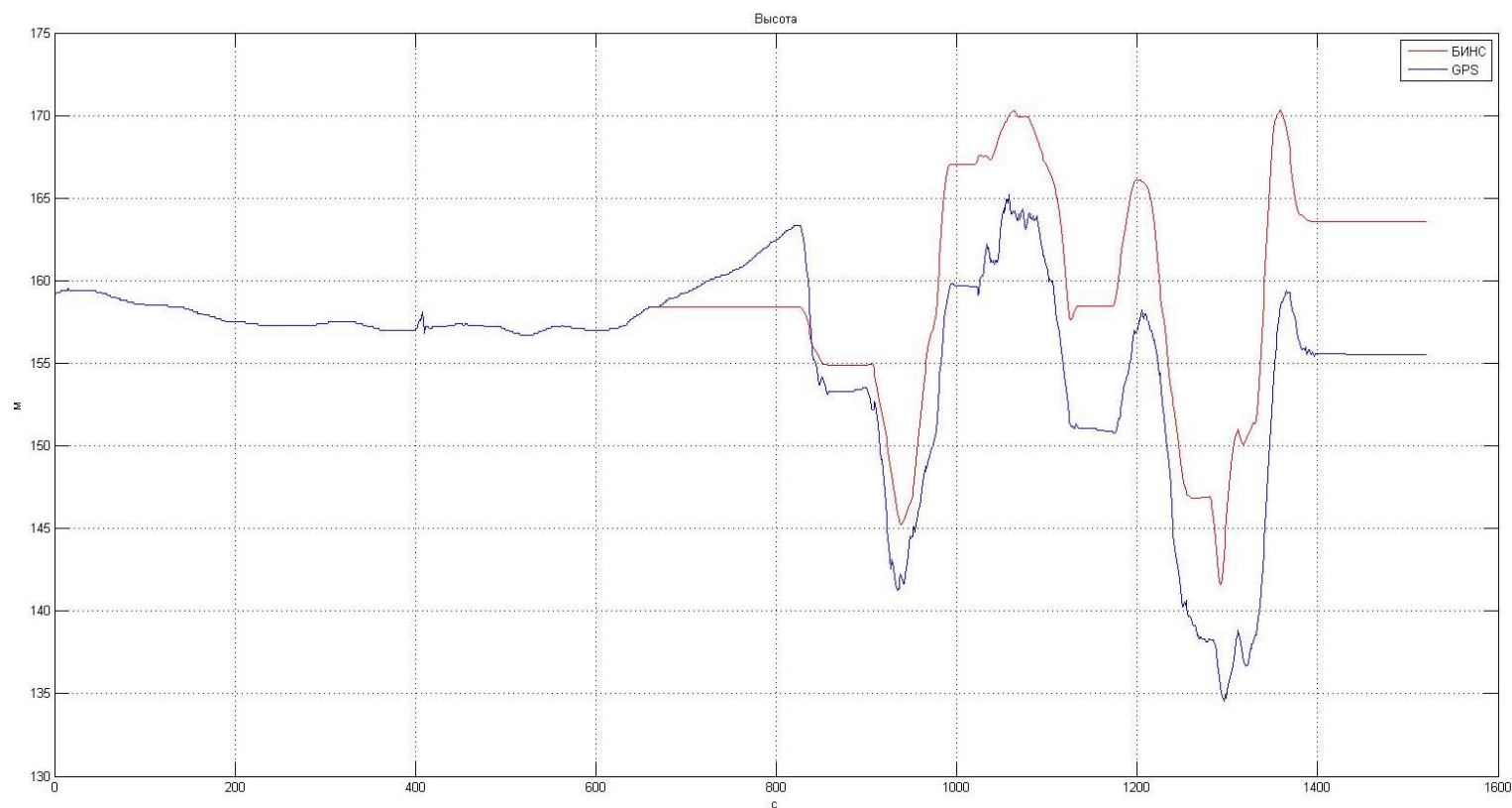


Рисунок 4. Разница показаний БИНС-СНС в движении. Режим работы: СНС выключен, колёсный датчик включен.

Участок 1 трассы имел достаточно небольшой перепад по высоте около 30м (см. рис 4), поэтому накопленную ошибку 8 м можно полностью отнести к ошибке калибровки юстировочного угла возвышения на уровне 1,5ДУ (0,09 градуса) и ошибкам счисления высоты одометрическим способом. Максимальный перепад по высоте 80м при движении по трассе был на участке 4, ошибка счисления высоты на этом участке составила 3м.

Характер ошибок в последующих заездах принципиально не изменялся, в приложении приведены маршруты движения и графики ошибок на остальных участках пути вошедших в таблицу 1. По приведённым данным движения на четырёх участках пути выполнен расчёт средней ошибки счисления пути и расчёт среднеквадратической ошибки приращения координат σ_x , σ_y , σ_h . Расчёт выполнялся по пункту А5.7 согласованной методики испытаний. Результаты приведены ниже.

среднее значение погрешности $\Delta X_{ср}$, определения текущих координат: 0,07%

среднее значение погрешности $\Delta Y_{ср}$ определения текущих координат: 0,11%

среднее значение погрешности $\Delta H_{ср}$ определения текущих координат: 0,06%

среднеквадратическая ошибка приращения координат σ_x , 0,092%

среднеквадратическая ошибка приращения координат σ_y , 0,15%

среднеквадратическая ошибка приращения координат σ_h , 0,096%

7.4 Результаты испытаний изделия в автономном режиме счисления пути (СНС выключен, колёсный датчик выключен).

Испытания в автономном режиме работы проводились на этом же маршруте движения с повторными остановками в контрольных точках. При движении на коротких участках (участок 1, участок 2) 5-6км с периодическими кратковременными 5-6 секунд вынужденными остановками (светофоры) - ошибки счисления координат мало уступают одометрическому методу счисления пути. Из рисунка 5 видно, что суммарная ошибка накопленная на пройденном пути 5км в автономном режиме работы на участке 1 не превысила 8м менее 0,2%. Максимальная ошибка счисления пройденного пути в автономном режиме 0,5% была зафиксирована на 3 участке пути.

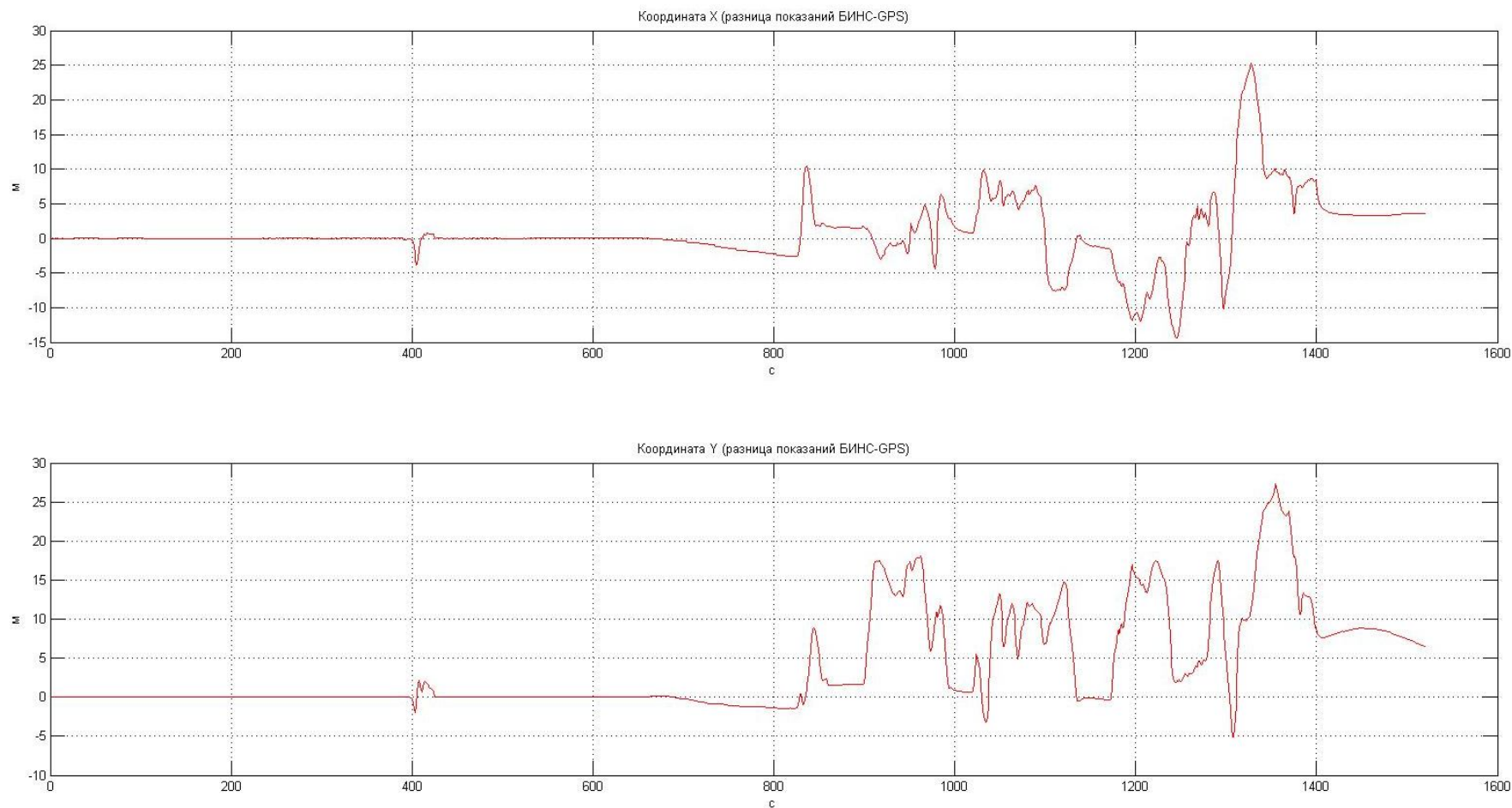


Рисунок 5 Участок 1. Разница показаний БИНС-СНС в движении. Режим работы: СНС выключен, колёсный датчик выключен.

При движении в автономном режиме в течении часа на дистанции 52км с периодическими остановками рисунок 5.1, относительная погрешность счисления пути оказалась очень низкой 0,1% от пройденного пути, это объясняется в первую очередь движением на замкнутом маршруте когда движение в прямом и обратном направлении выполнялось по одной и той же дороге, при таком маршруте движения удобнее находить максимальную ошибку счисления координат и относить её к половине дистанции. Таким образом при движении в течении часа максимальная ошибка на маршруте достигала 60м, что соответствует ошибке счисления 0,24% от пройденного пути.

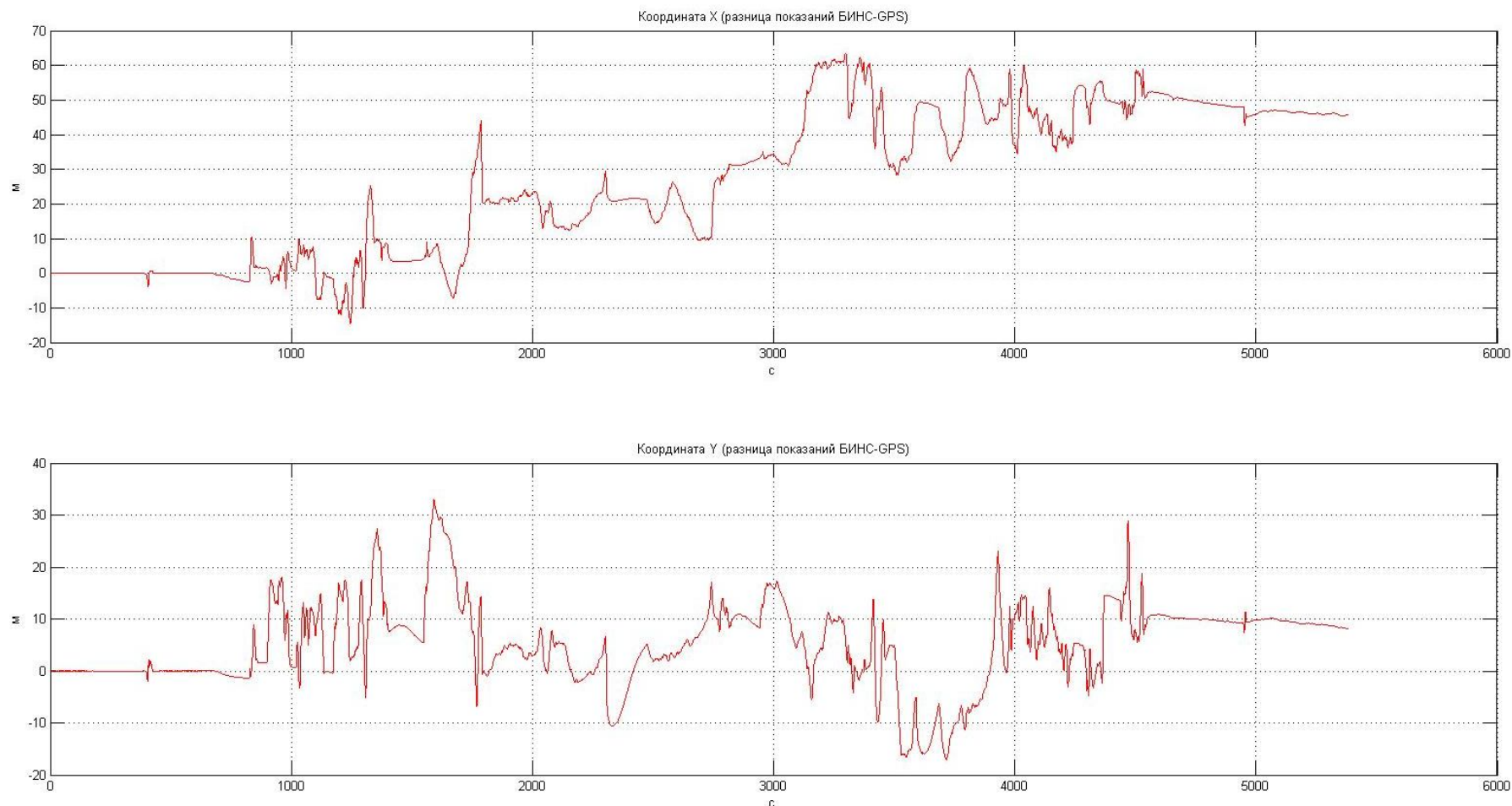


Рисунок 5.1 Участок 1. Разница показаний БИНС-СНС в движении. Режим работы: СНС выключен, колёсный датчик выключен.

Графики ошибок на каждом участке движения в автономном режиме работы приведены в приложении.

среднее значение погрешности $\Delta X_{\text{ср}}$ определения текущих координат в автономном режиме: 0,18%

среднее значение погрешности $\Delta Y_{\text{ср}}$ определения текущих координат в автономном режиме: 0,15%

среднее значение погрешности $\Delta H_{\text{ср}}$ определения текущих координат в автономном режиме: 0,05%

СКО ошибка определения пройденного пути в автономном режиме на 5 участках (включая 1 часовой участок 52 км) составили:

среднеквадратическая ошибка определения текущих координат (автономный режим) σ_x , 0,3%
среднеквадратическая ошибка определения текущих координат (автономный режим) σ_y , 0,23%
среднеквадратическая ошибка определения текущих координат (автономный режим) σ_h , 0,08%

7.5 . Движение при включенном датчике пройденного пути, переход к одометрическому режиму счисления пути, и обратно.

Изделие выставилось получая данные СНС, затем перед началом движения данные от спутниковой системы выключались до 2760с движения. С 2760 секунды до 3200 секунды движения информация от СНС поступала на БИНС. Начиная 3200 секунды до 3600 секунды данные от СНС снова были выключены. В конце пути на 3600 секунде передача данных от СНС возобновлена.

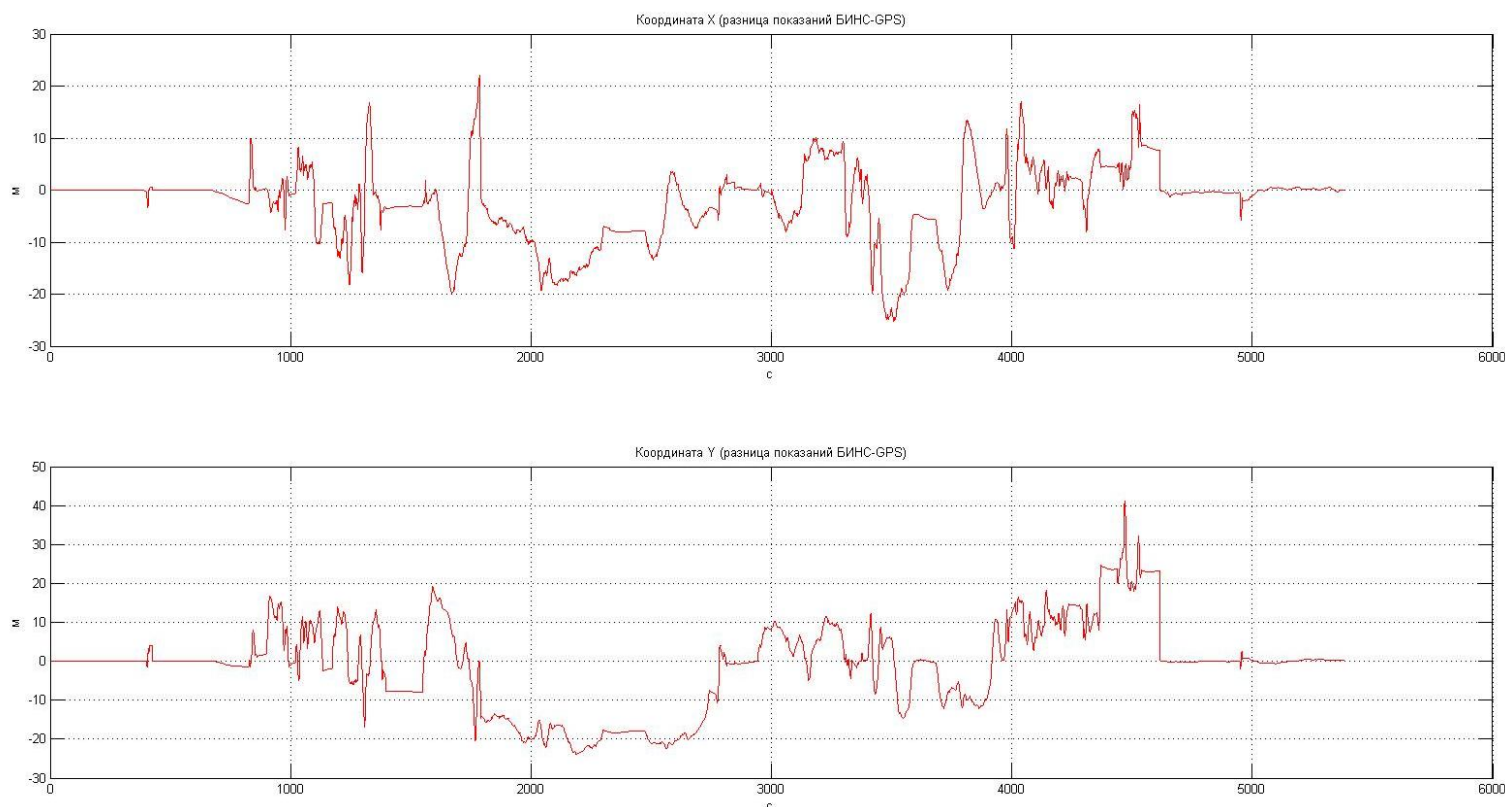


Рисунок 6. Разница показаний БИНС-СНС в движении. Режим работы: СНС переключается, колёсный датчик включен.

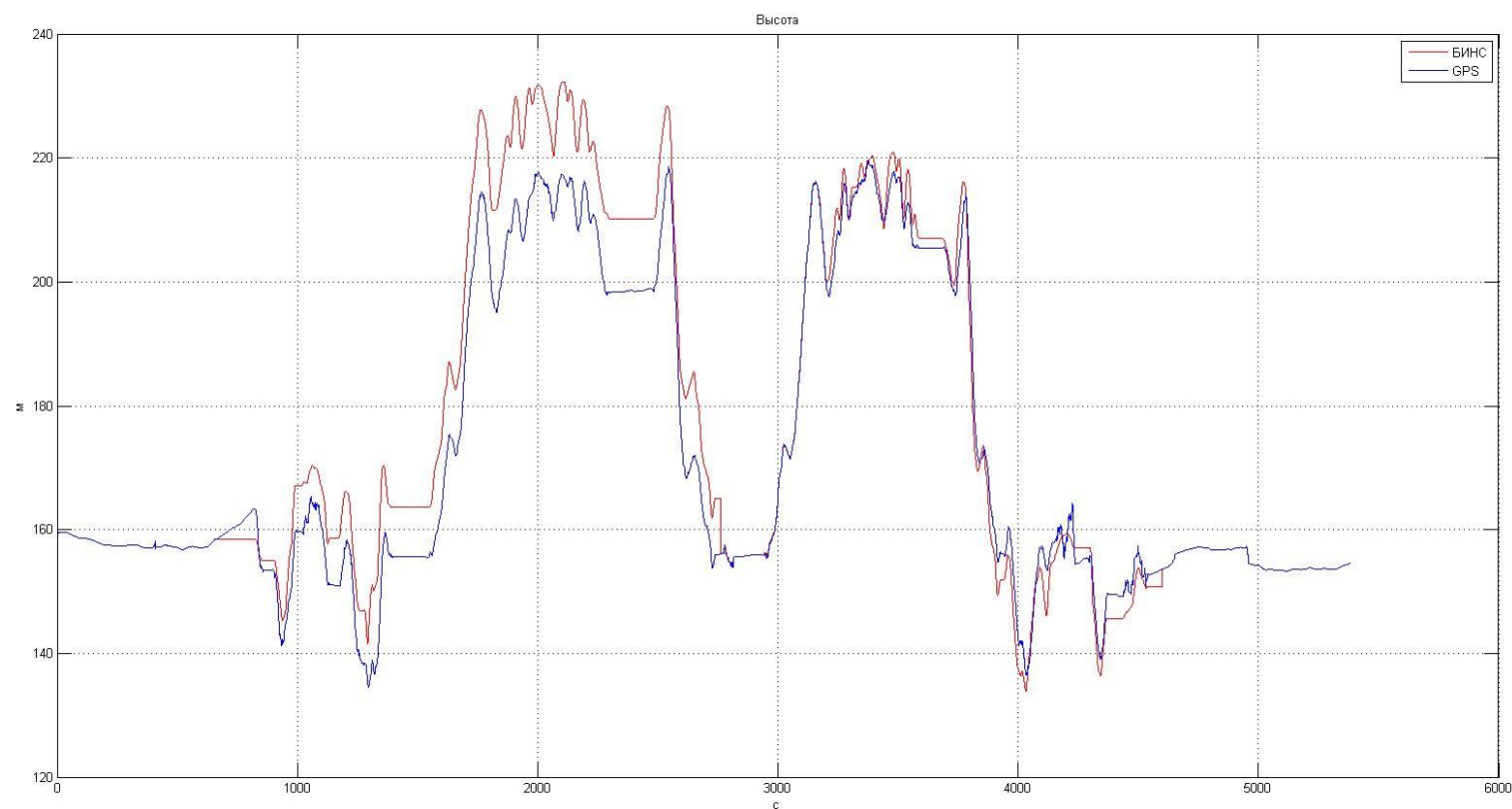


Рисунок 7. Разница показаний БИНС-СНС в движении. Режим работы: СНС переключается, колёсный датчик включен.

В режиме комплексирования БИНС с данными одометра и СНС, переход из одного режима работы в другой не приводит к неустойчивой работе БИНС в моменты списания накопленных ошибок при включении СНС или к какому либо перерегулированию в моменты смены режимов.

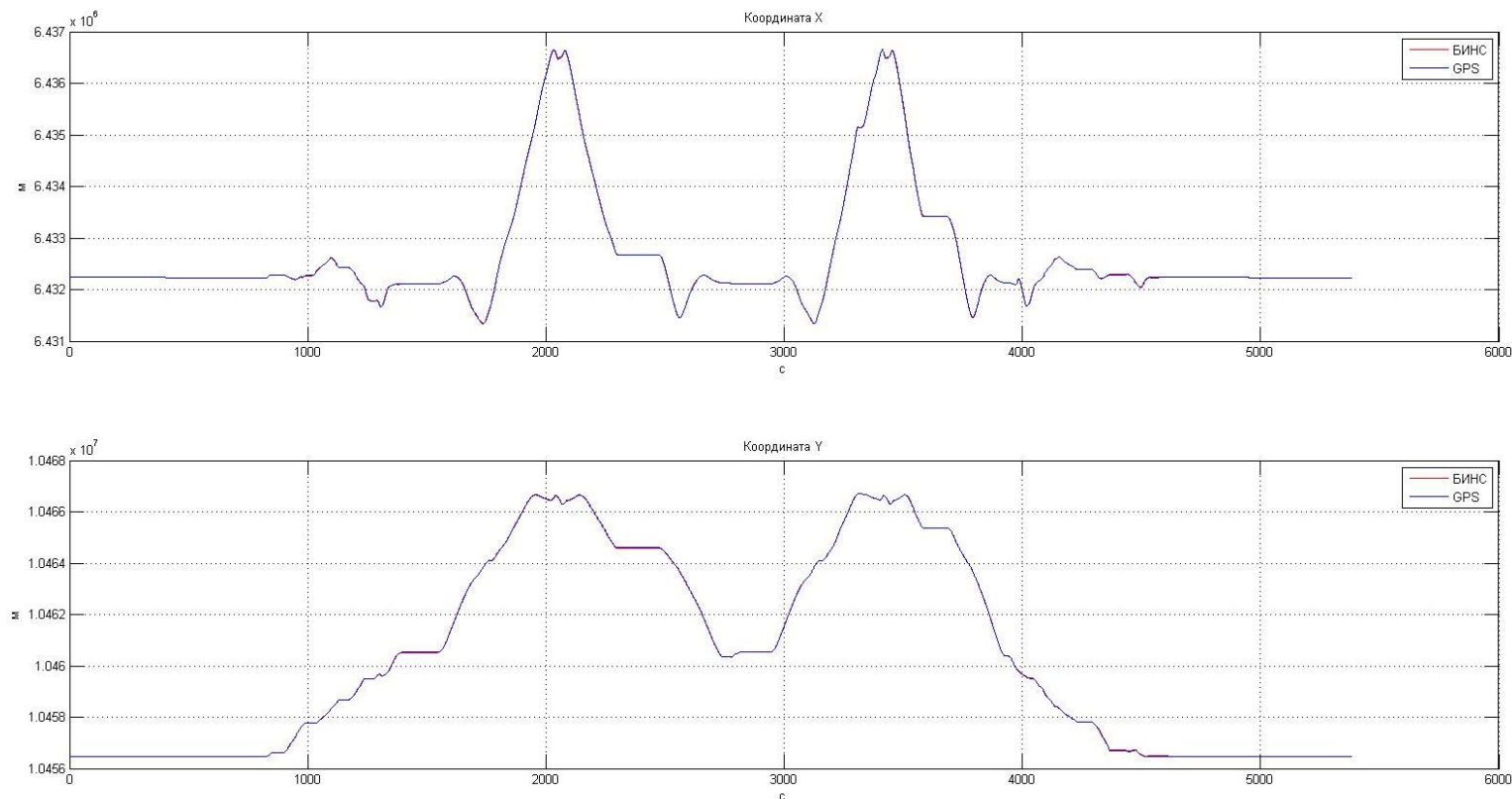


Рисунок 8. График счисления координат. Режим работы: СНС переключается, колёсный датчик включен.

В режиме работы БИНС только с СНС при исчезновении сигнала СНС и переходе в автономный режим работы, ошибки на маршруте движения увеличиваются пропорционально времени автономной работы. Переход из одного режима работы в другой не приводит к неустойчивой работе БИНС в моменты списания накопленных ошибок при включении СНС или к какому либо перерегулированию в моменты смены режимов (см рисунки 8,9,10).

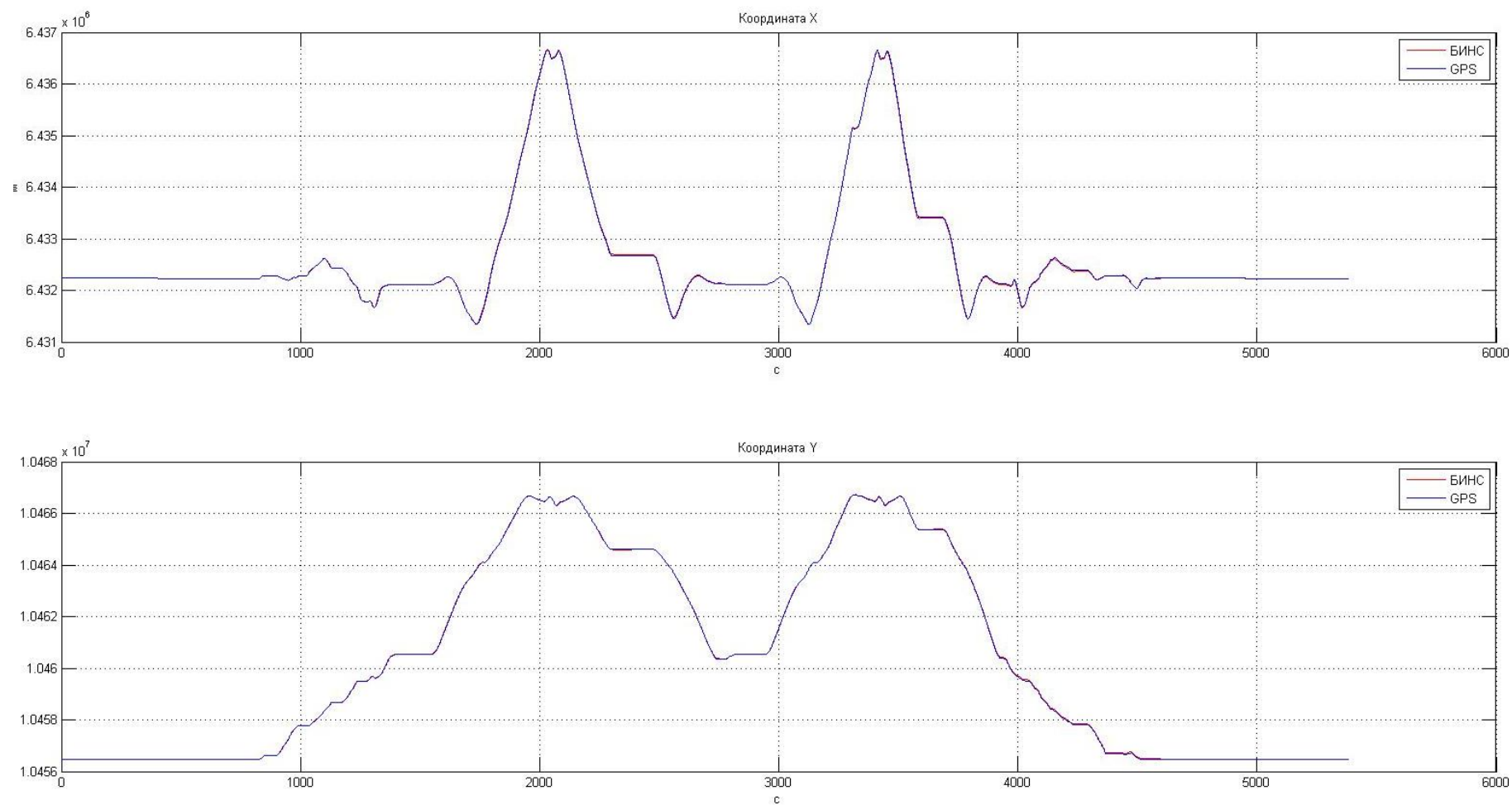


Рисунок 8. График счисления координат. Режим работы: СНС переключается, колёсный датчик выключен.

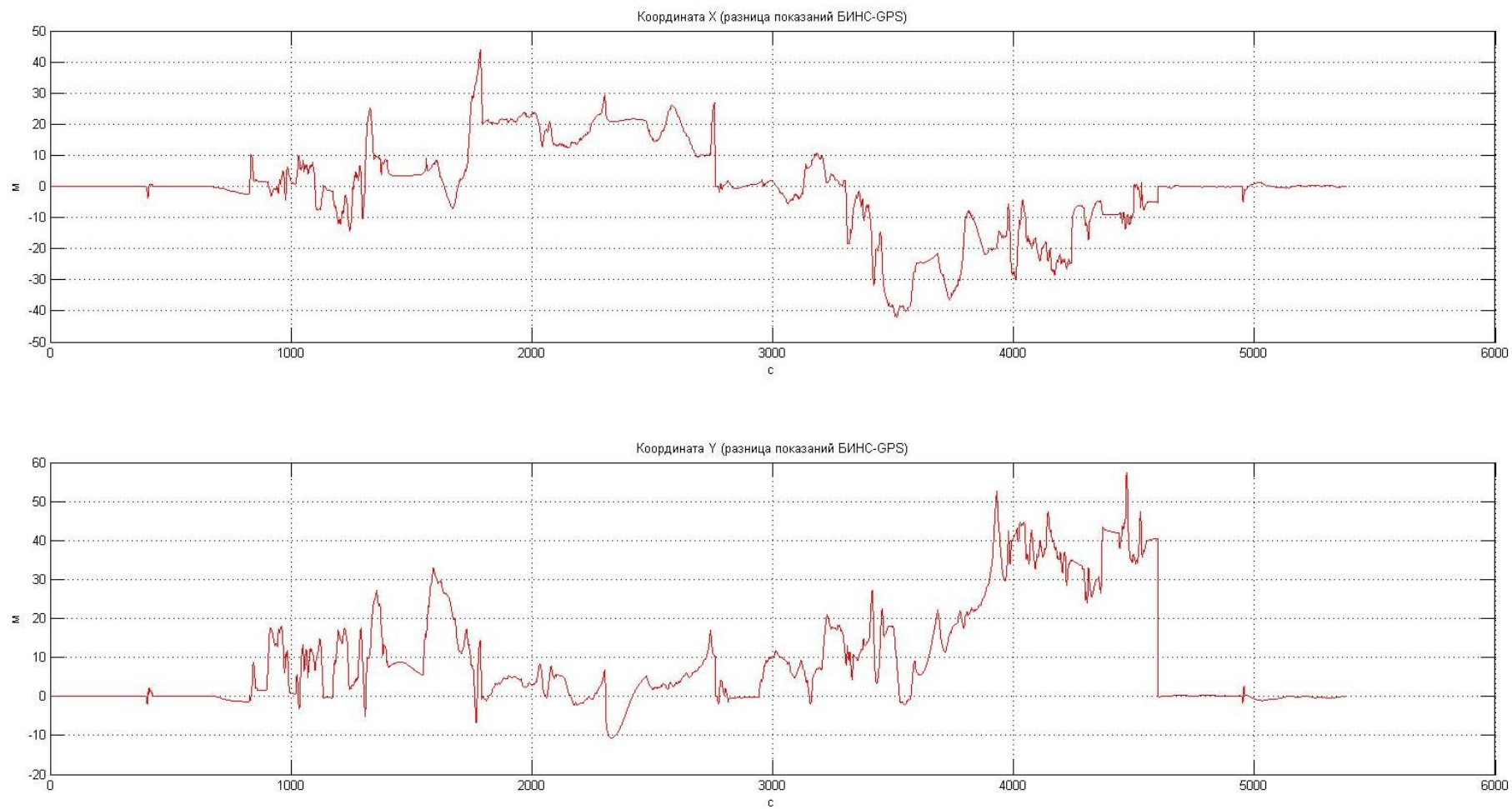


Рисунок 9. Разница показаний БИНС-СНС в движении. Режим работы: СНС переключается, колёсный датчик выключен.

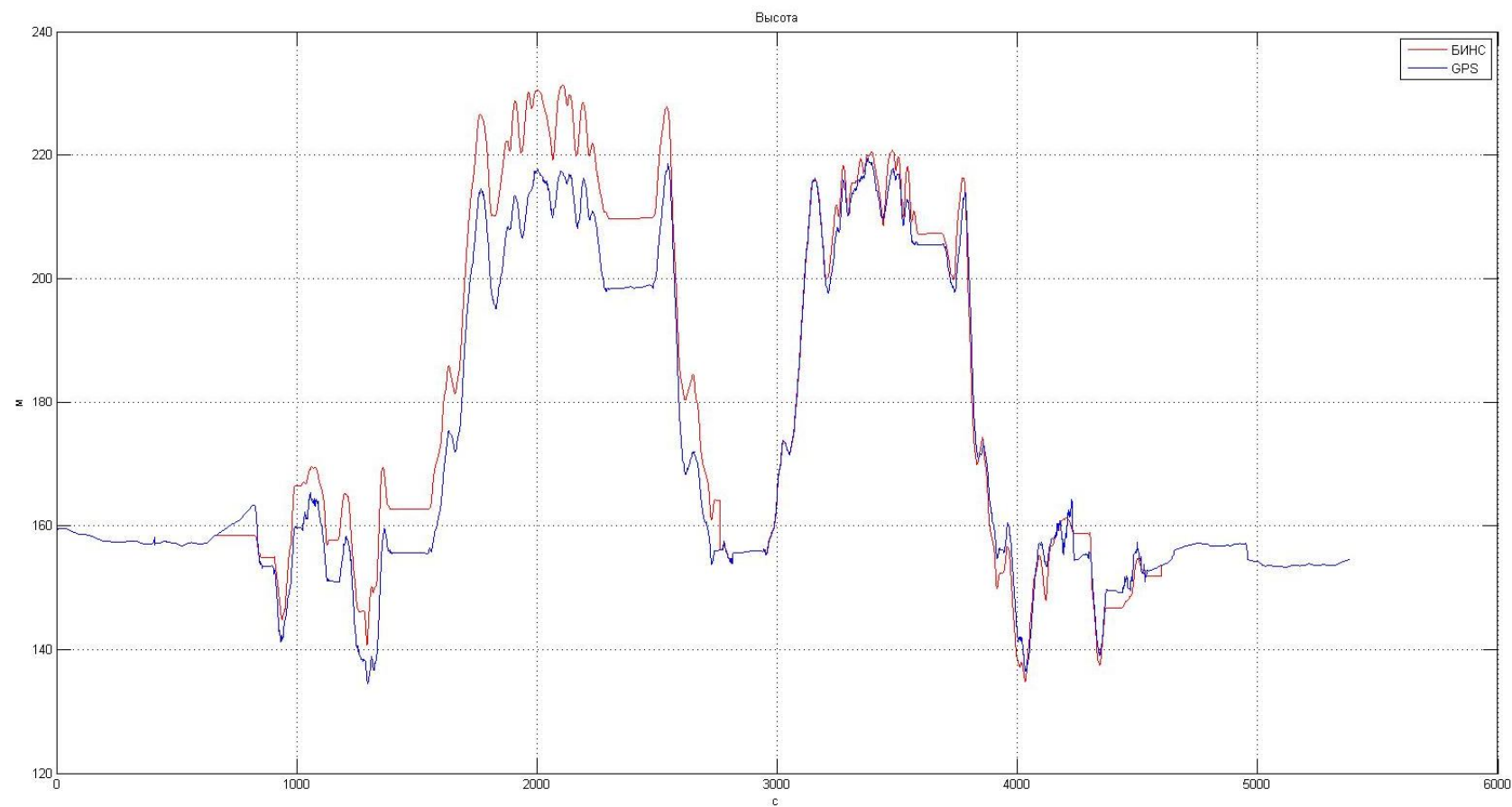


Рисунок 10. Разница показаний БИНС-СНС в движении. Режим работы: СНС переключается, колёсный датчик выключен

Результаты испытаний:

Погрешность определения текущих координат с коррекцией от одометра при движении на участках протяжённостью до 12 км (при условии начальной выставки в режиме двойного гироскомпасирования):

среднеквадратическая ошибка определения текущих координат σ_x , 0,092%

среднеквадратическая ошибка определения текущих координат σ_y , 0,15%

среднеквадратическая ошибка определения текущих координат σ_h , 0,096%

Погрешность определения текущих координат при движении в автономном режиме на участках протяжённостью до 52 км (при условии начальной выставки в режиме двойного гироскомпасирования):

среднеквадратическая ошибка определения текущих координат (автономный режим) σ_x , 0,3%

среднеквадратическая ошибка определения текущих координат (автономный режим) σ_y , 0,23%

среднеквадратическая ошибка определения текущих координат (автономный режим) σ_h , 0,08%

Выводы:

1) Изделие БИНС М500 соответствует требованиям определения текущих прямоугольных координат с среднеквадратической ошибкой 0,2% от пройденного пути при условии обеспечения повышенной точности начальной выставки методом:

- автономного двойного гироскомпасирования,
- путём ввода начального угла курса с ошибкой не более 2-3 ДУ.

2) Изделие БИНС М500 обеспечивает определение коэффициента датчика пройденного пути и установочных углов относительно оси движения транспортного средства без привлечения информации от внешних измерителей с ошибками позволяющими выполнять счисление координат не хуже 0,2% от пройденного пути.

3) Штатная методика юстировки исключает ошибку гироскомпасирования при определении установочного угла курса изделия относительно оси движения транспортного средства.

Приложение :

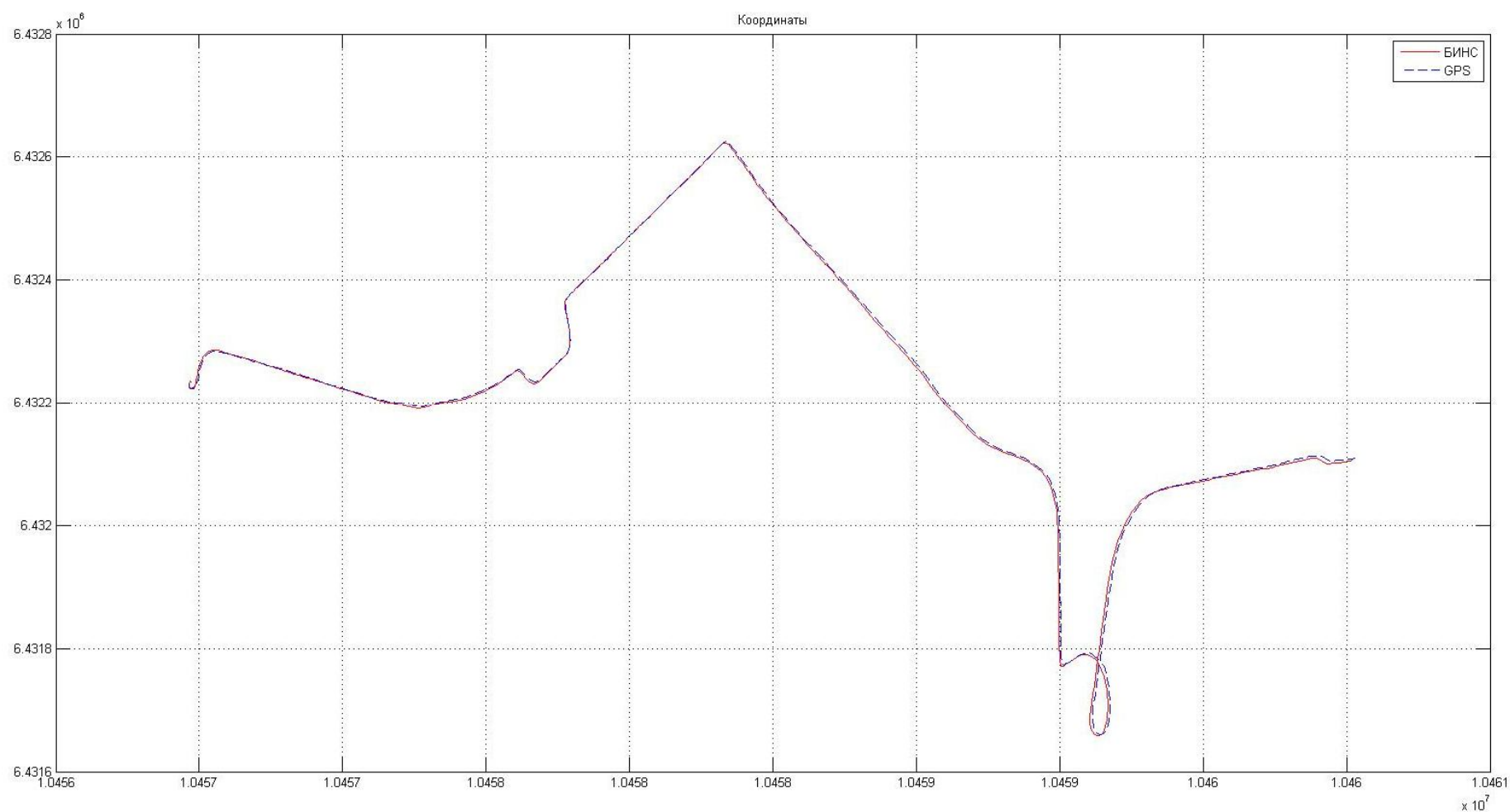


Рисунок 11. Участок 1. Карта трассы.

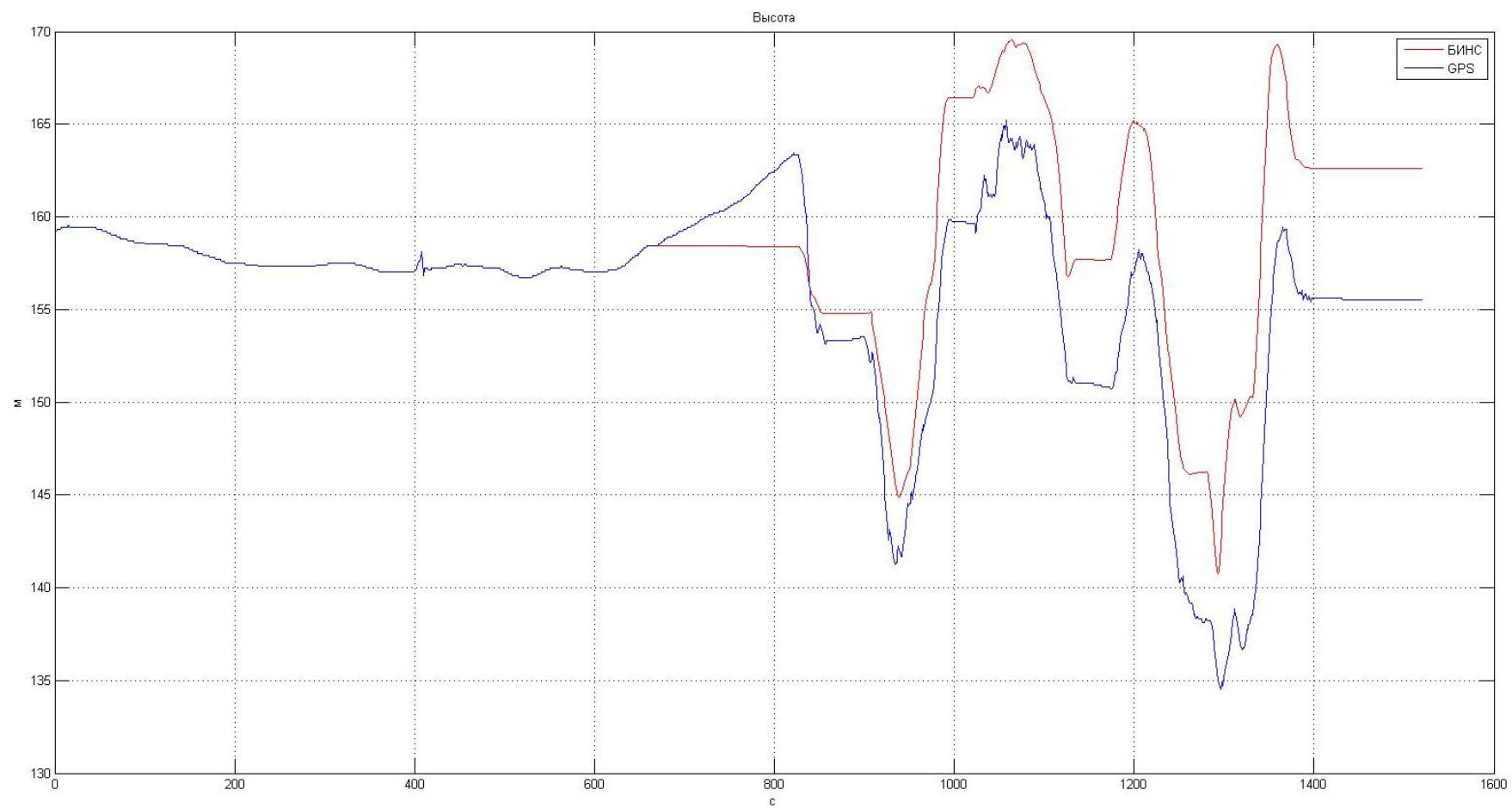


Рисунок 12.Участок 1. График счисления высоты, автономный режим работы.

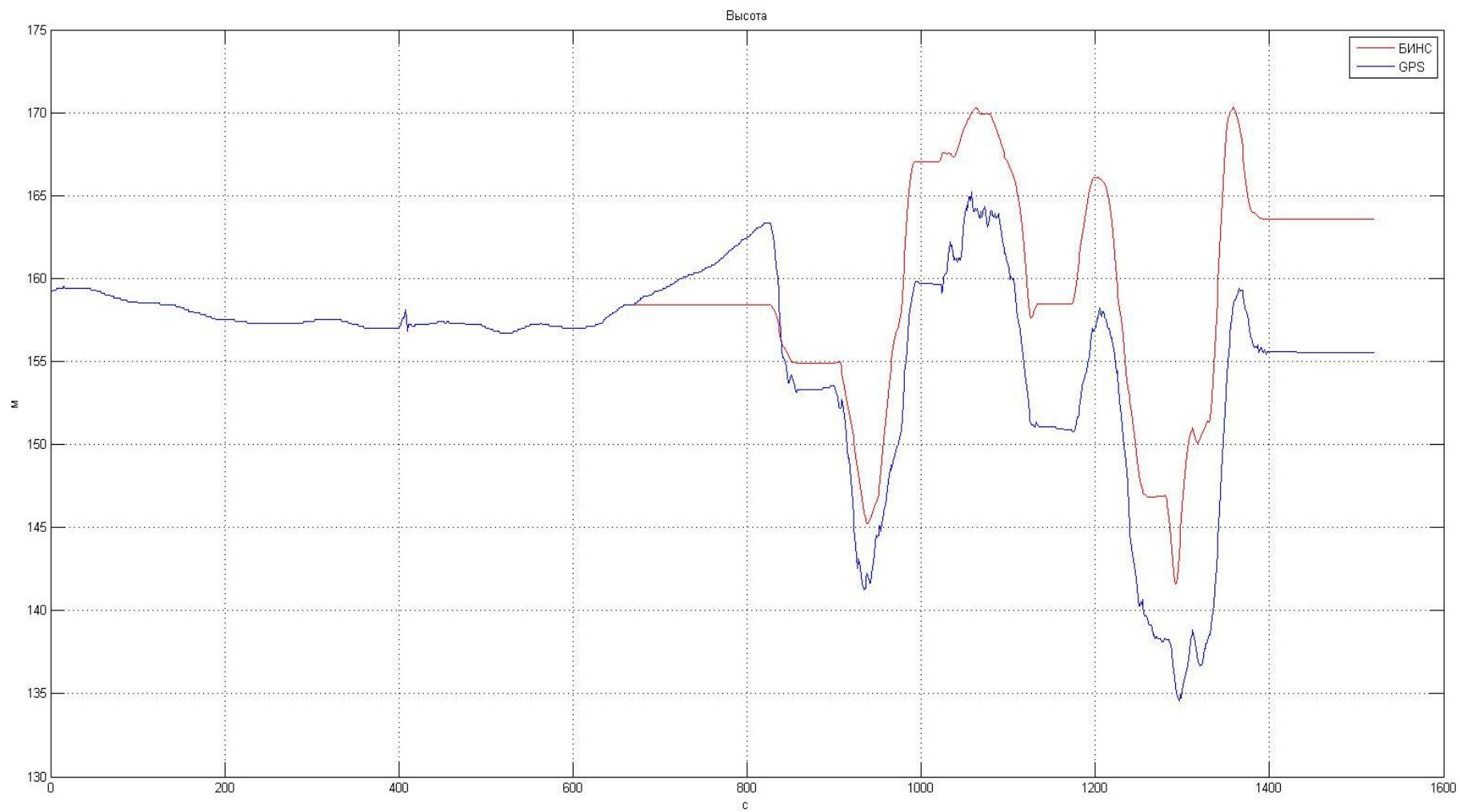


Рисунок 13. Участок 1. График счисления высоты, ДПП Включён.

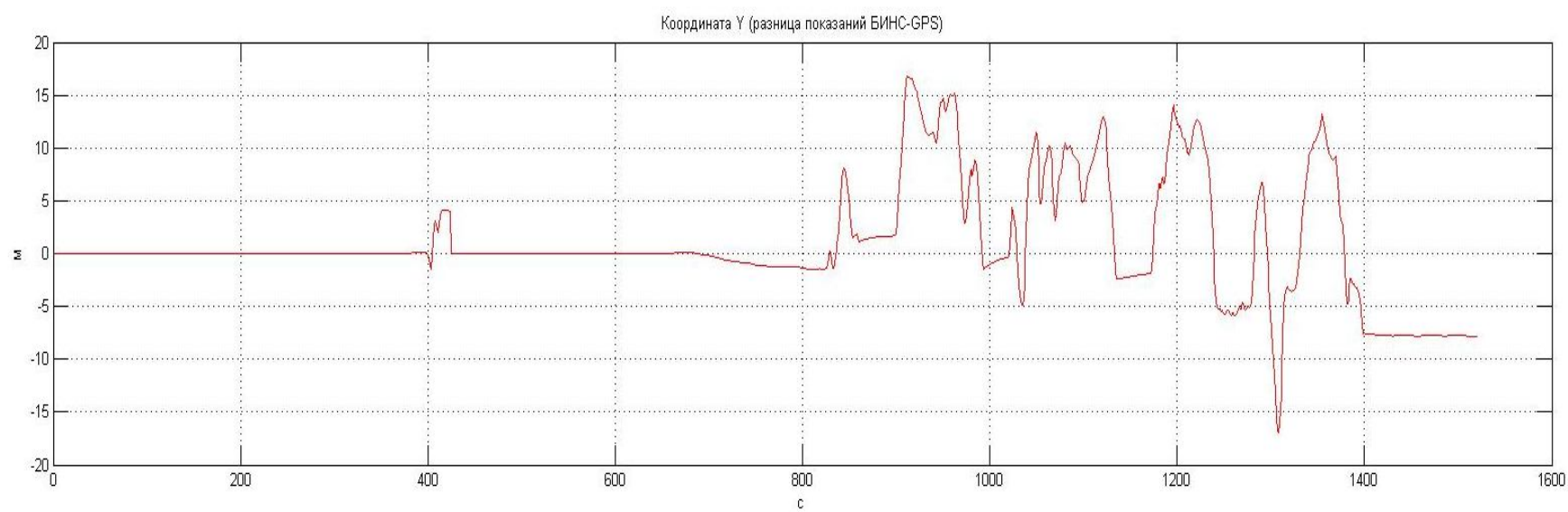
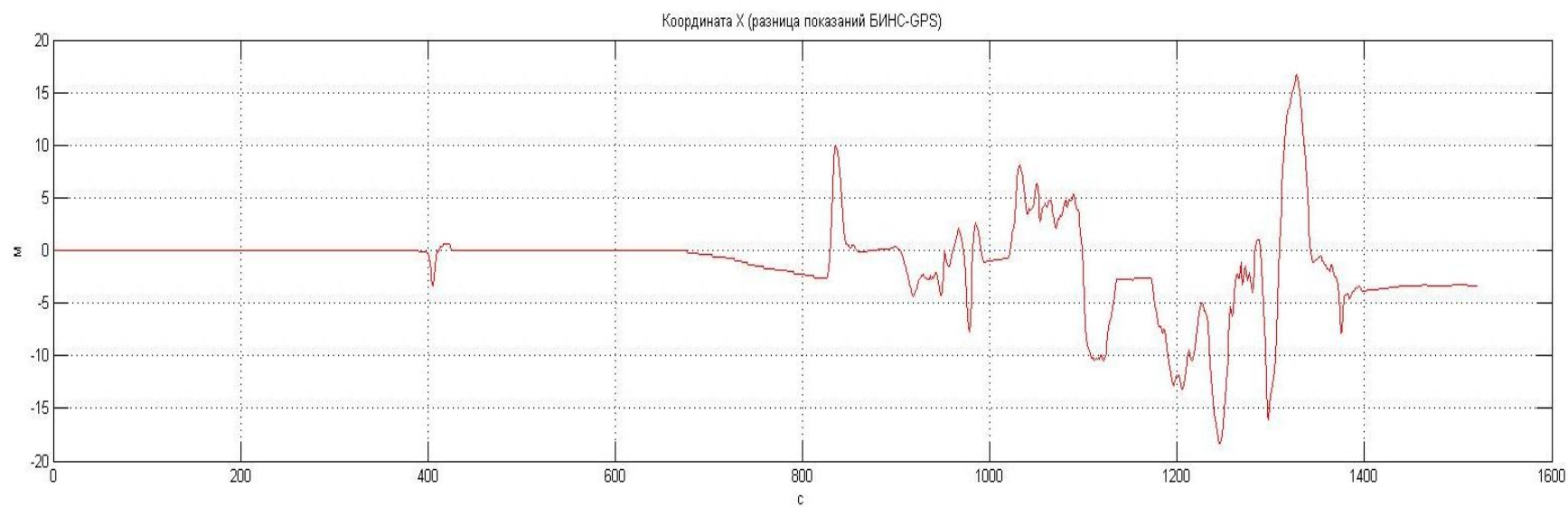


Рисунок 14. Участок 1. Разница координат БИНС-СНС, ДПП включён.

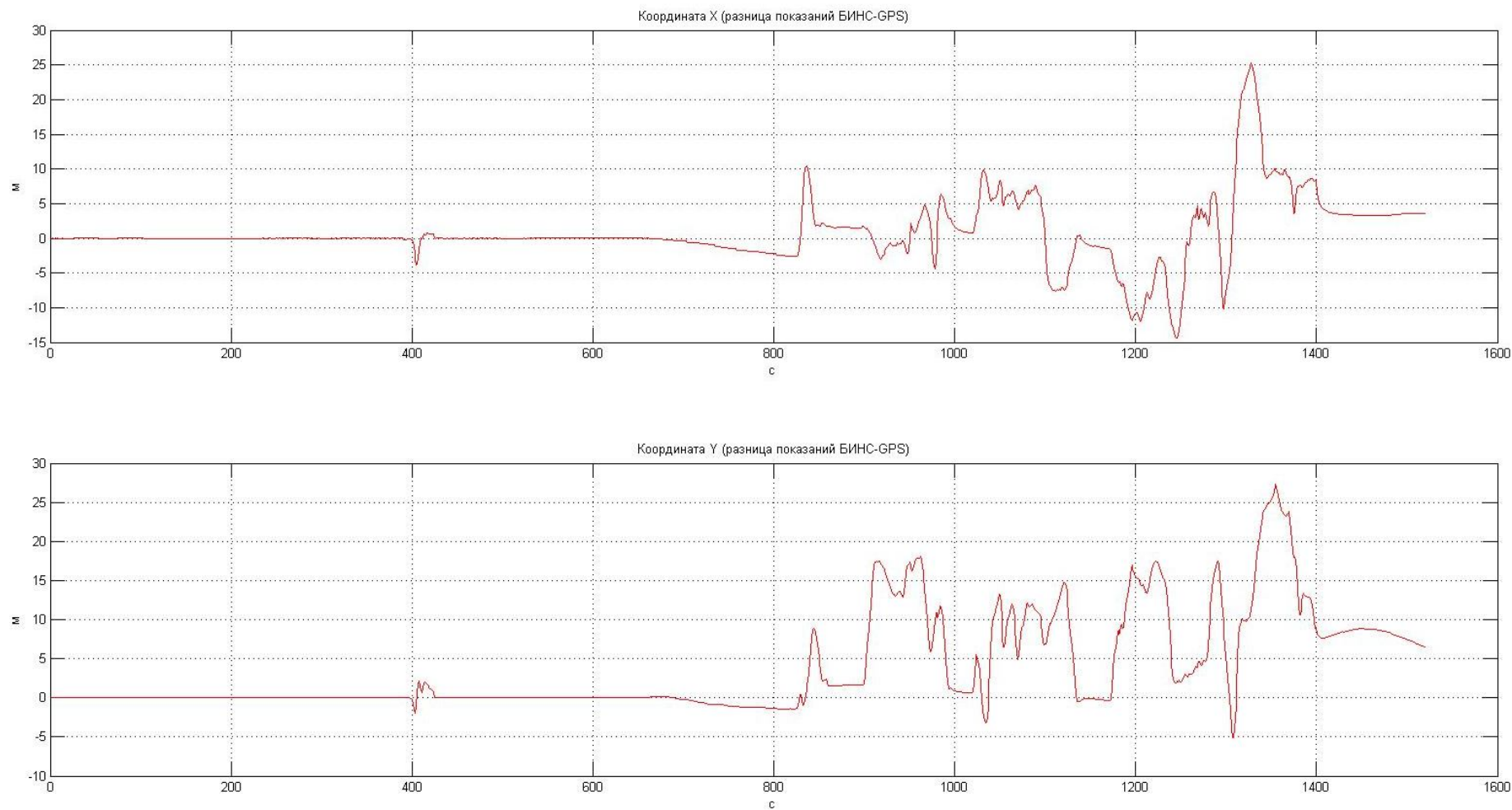


Рисунок 15. Участок 1. Разница координат БИНС-СНС. Автономный режим работы.

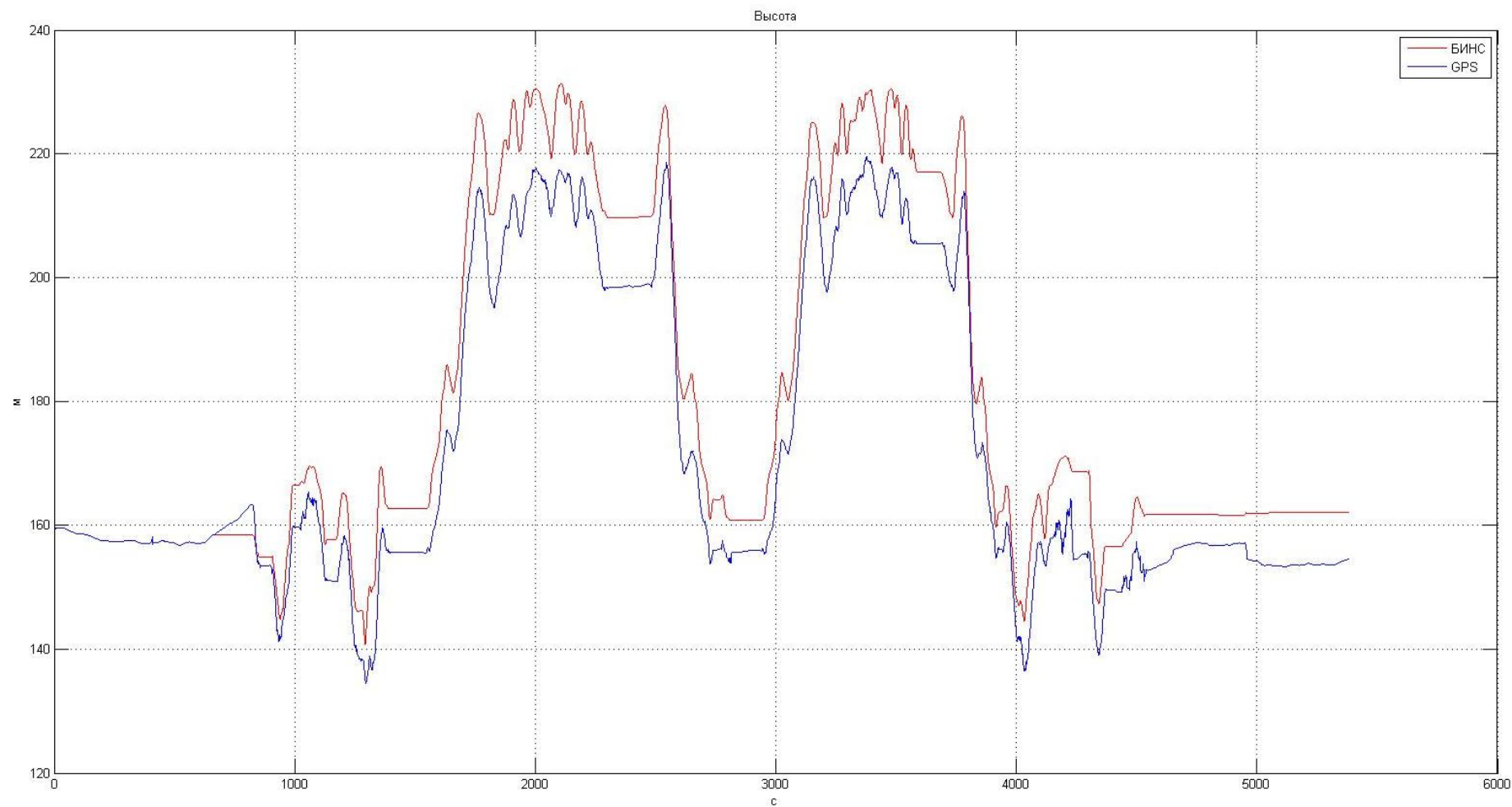


Рисунок 16. График счисления высоты за 1 час движения. Автономный режим работы.

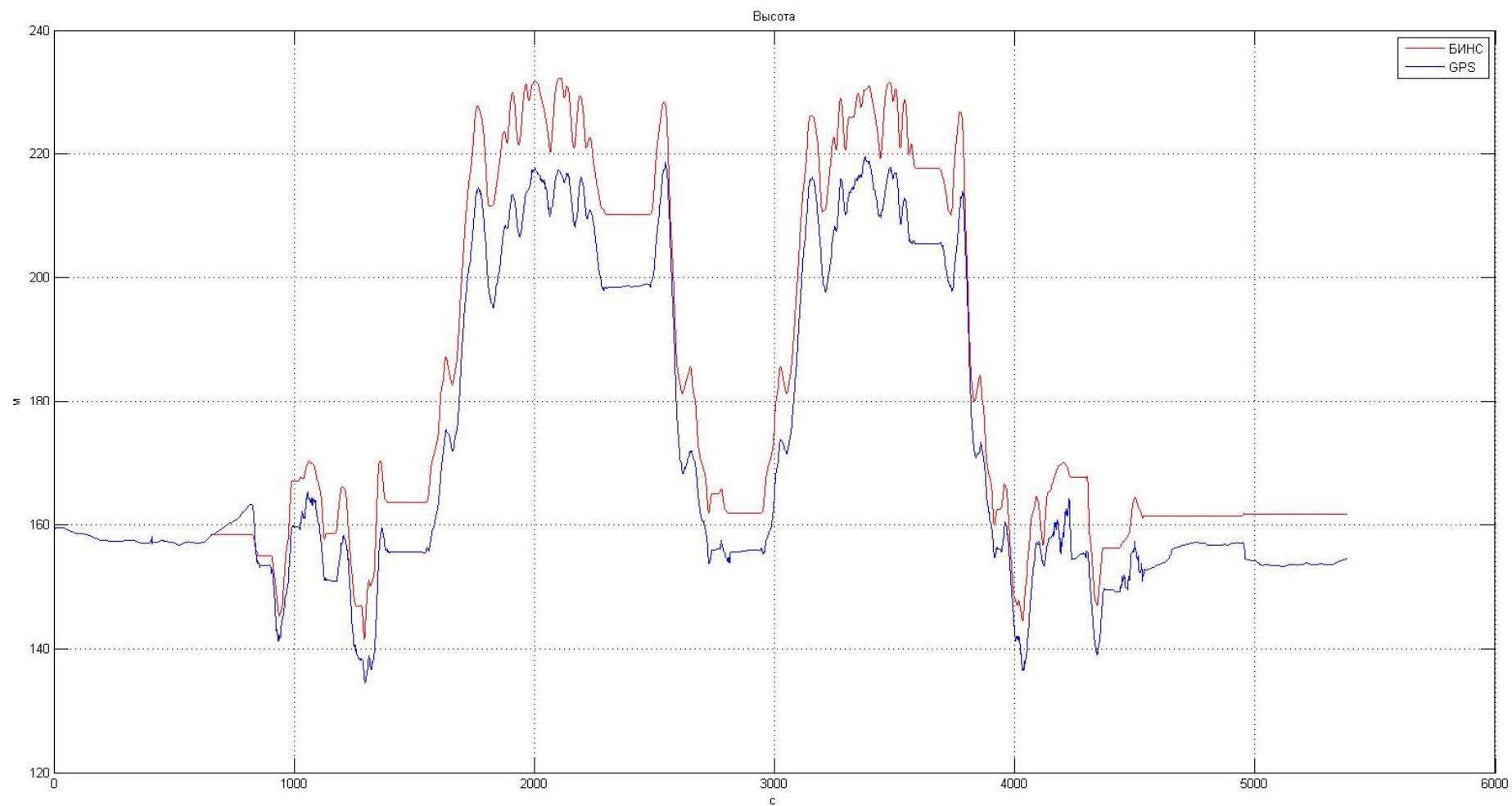


Рисунок 17. График счисления высоты за 1 час движения. ДПП включен.

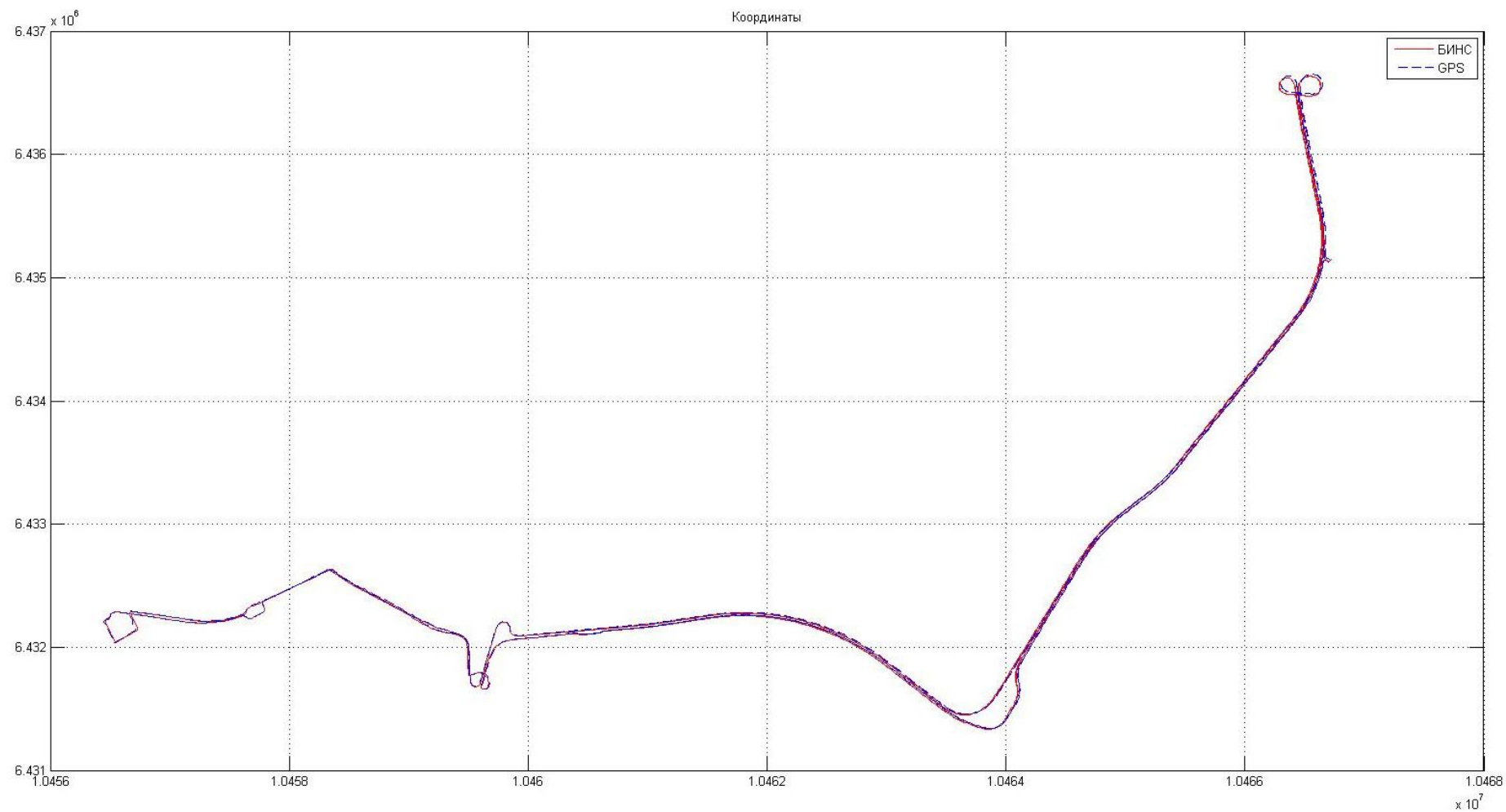


Рисунок 18. Схема пройденного пути за 1 час.

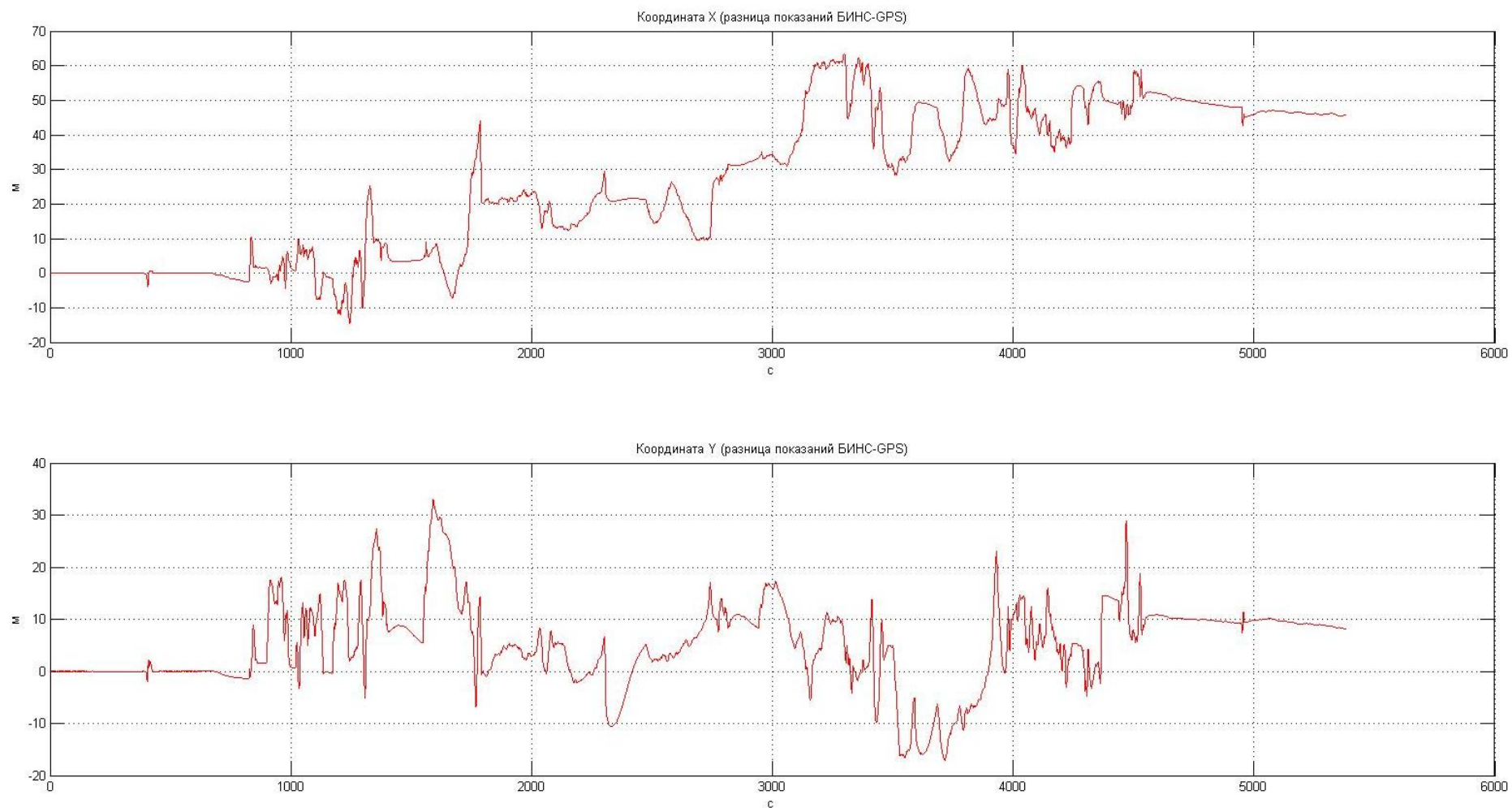


Рисунок 19. Разница координат БИНС-СНС за 1 час, автономный режим.

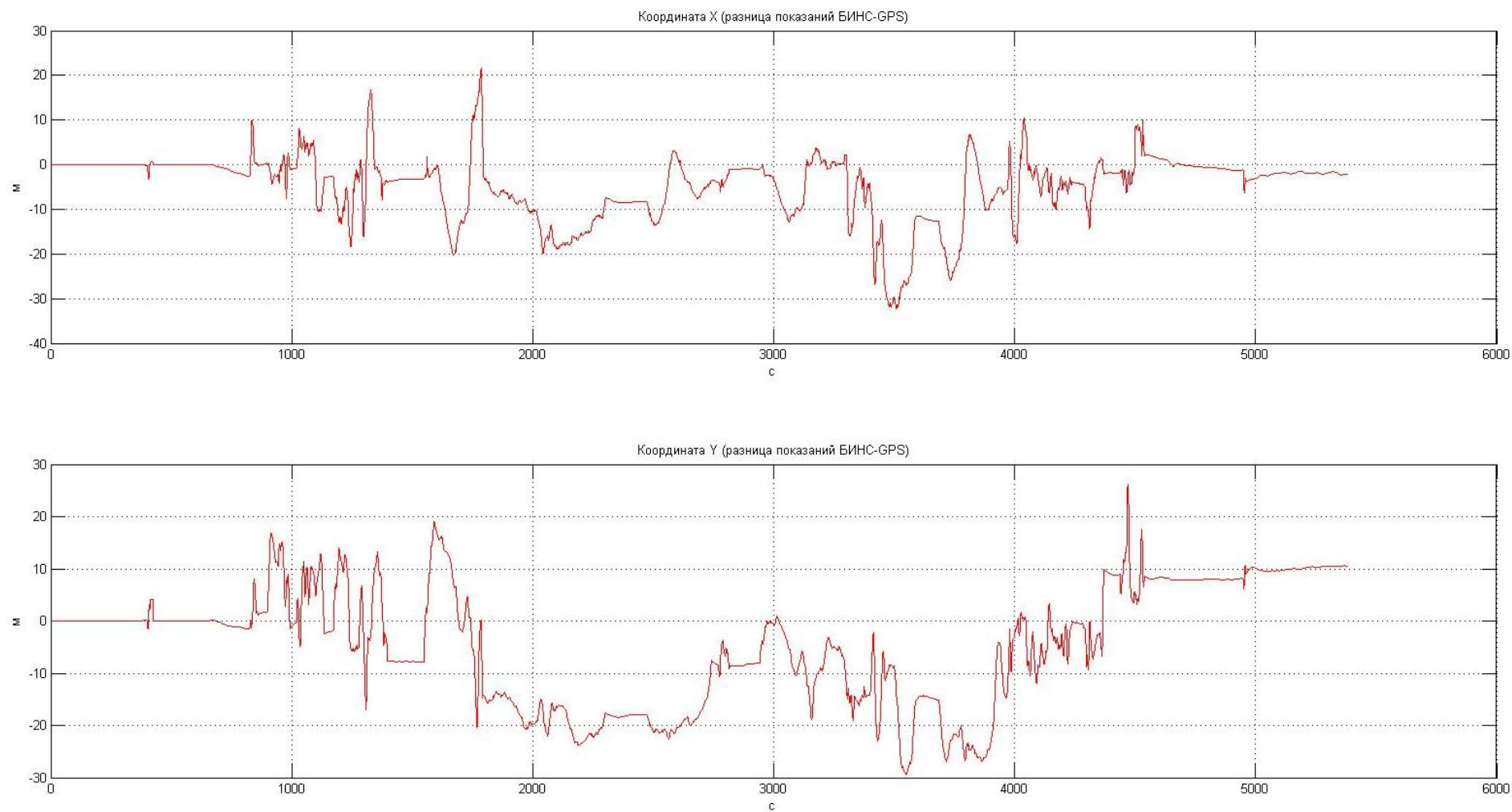


Рисунок 20. Разница координат БИНС-СНС за 1 час, ДПП включён.

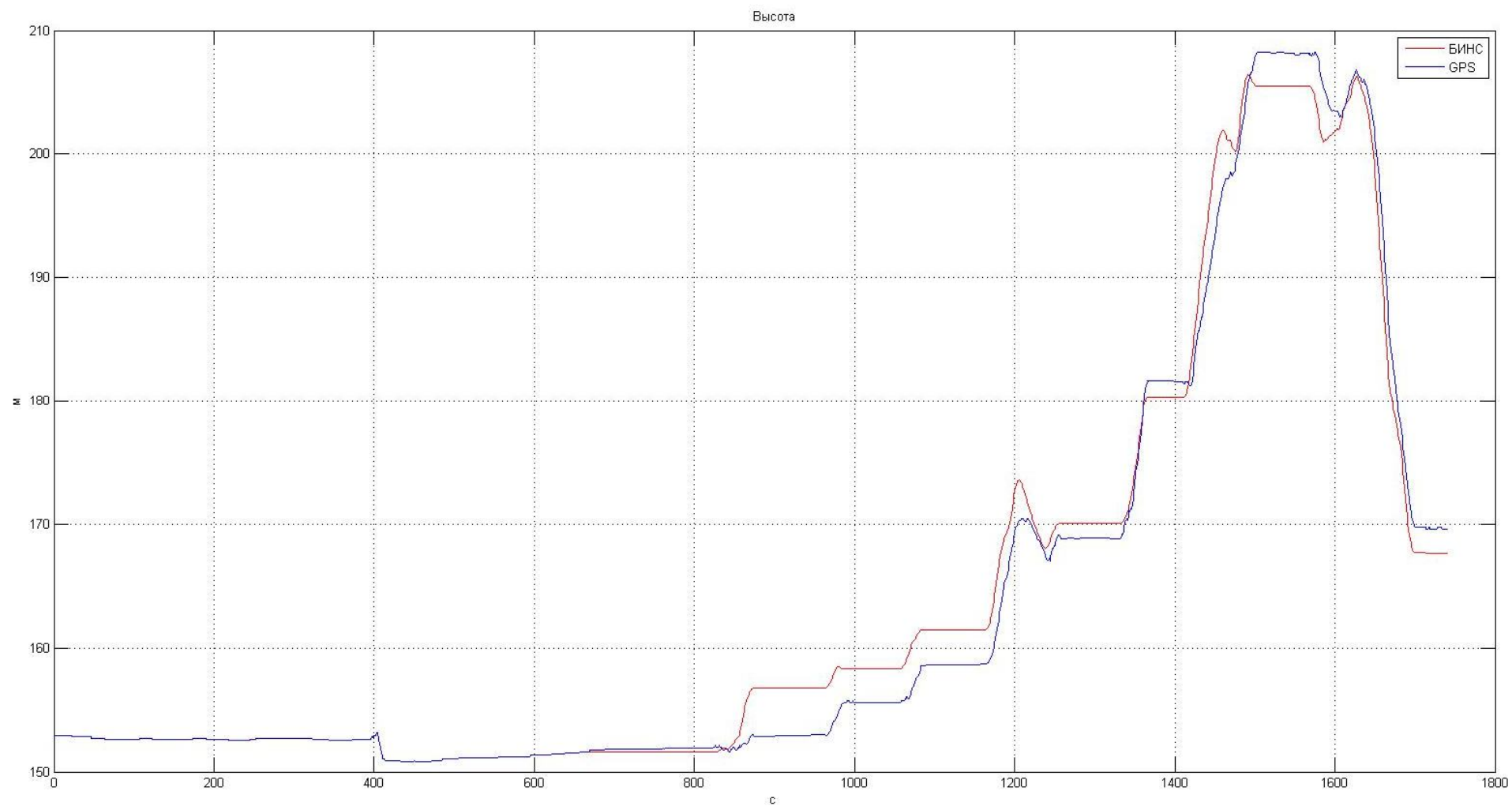


Рисунок 21. Участок 2. График счисления высоты. Автономный режим работы.

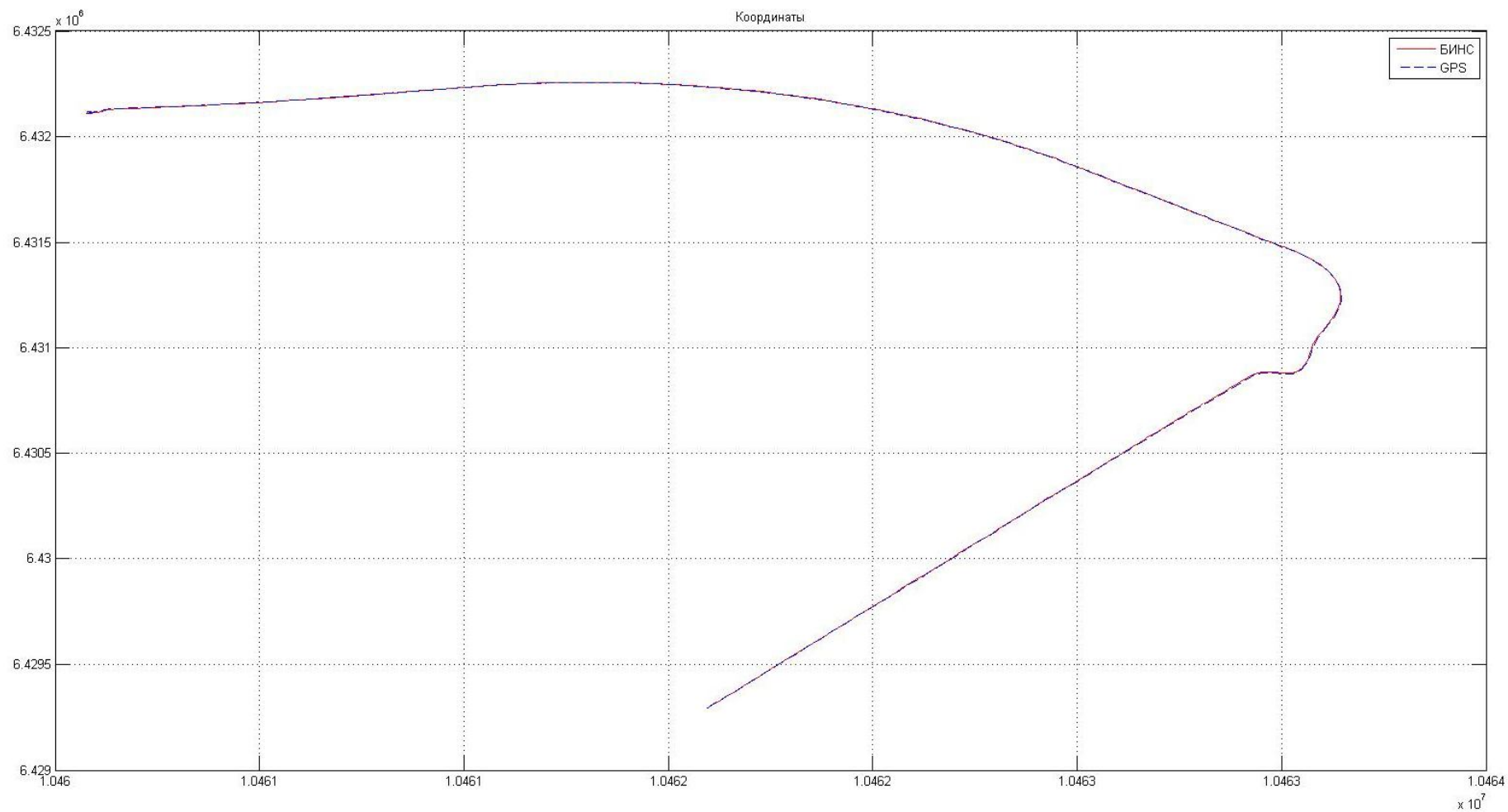


Рисунок 22. Участок 2. Карта трассы.

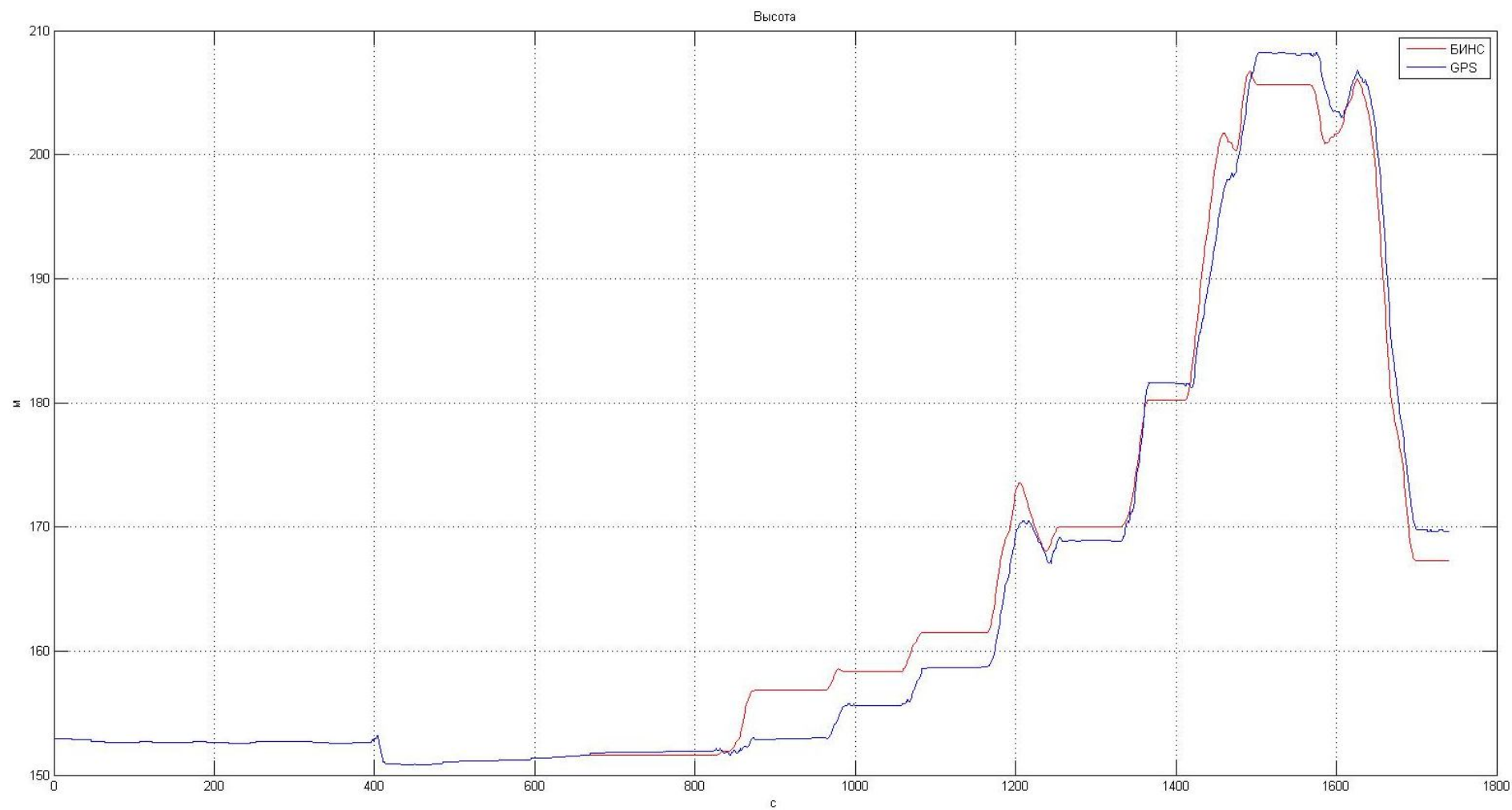


Рисунок 23. Участок 2. График счисления высоты. ДПП включен.

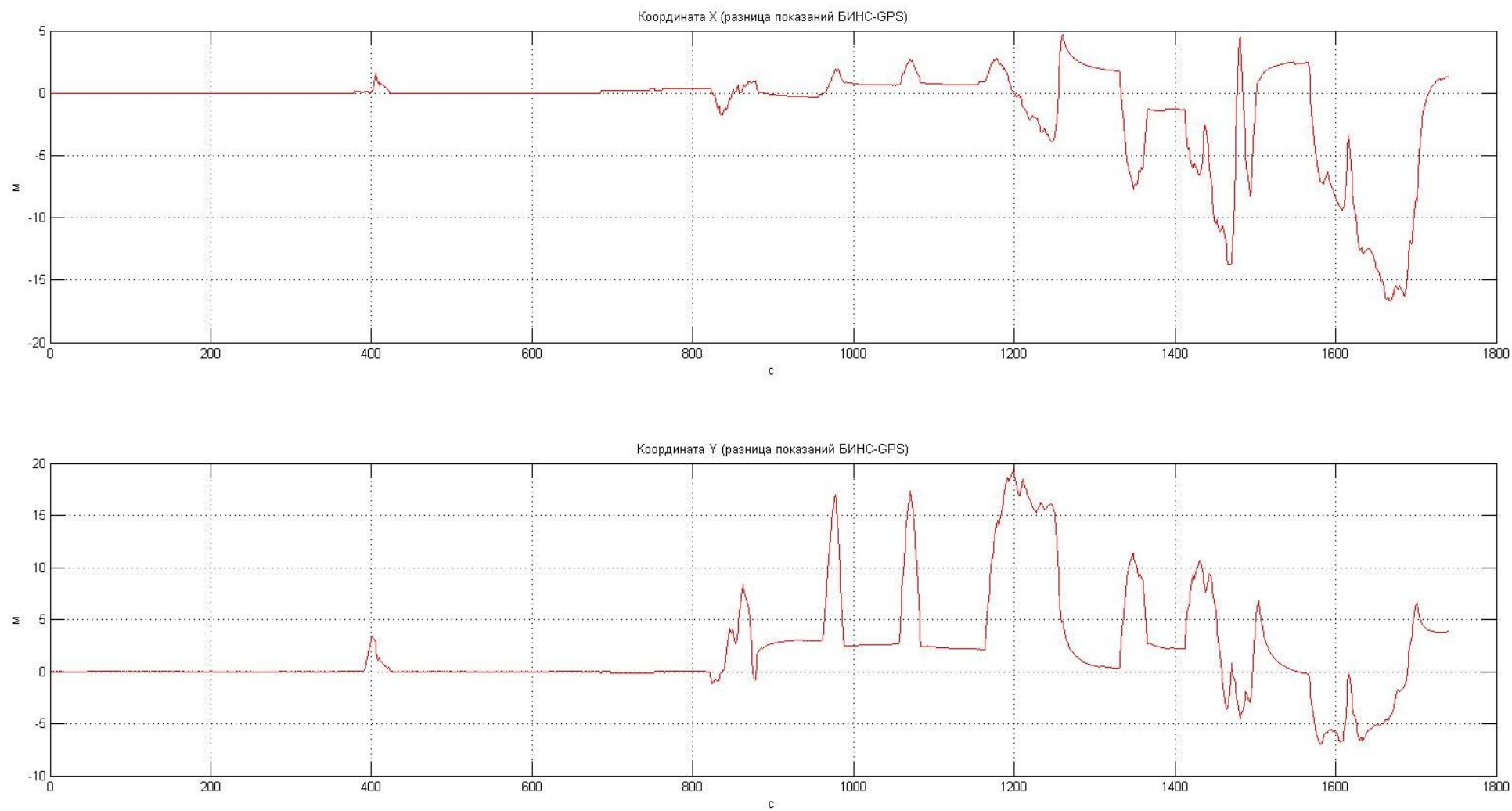


Рисунок 24. Участок 2. Разница координат БИНС-СНС, автономный режим.

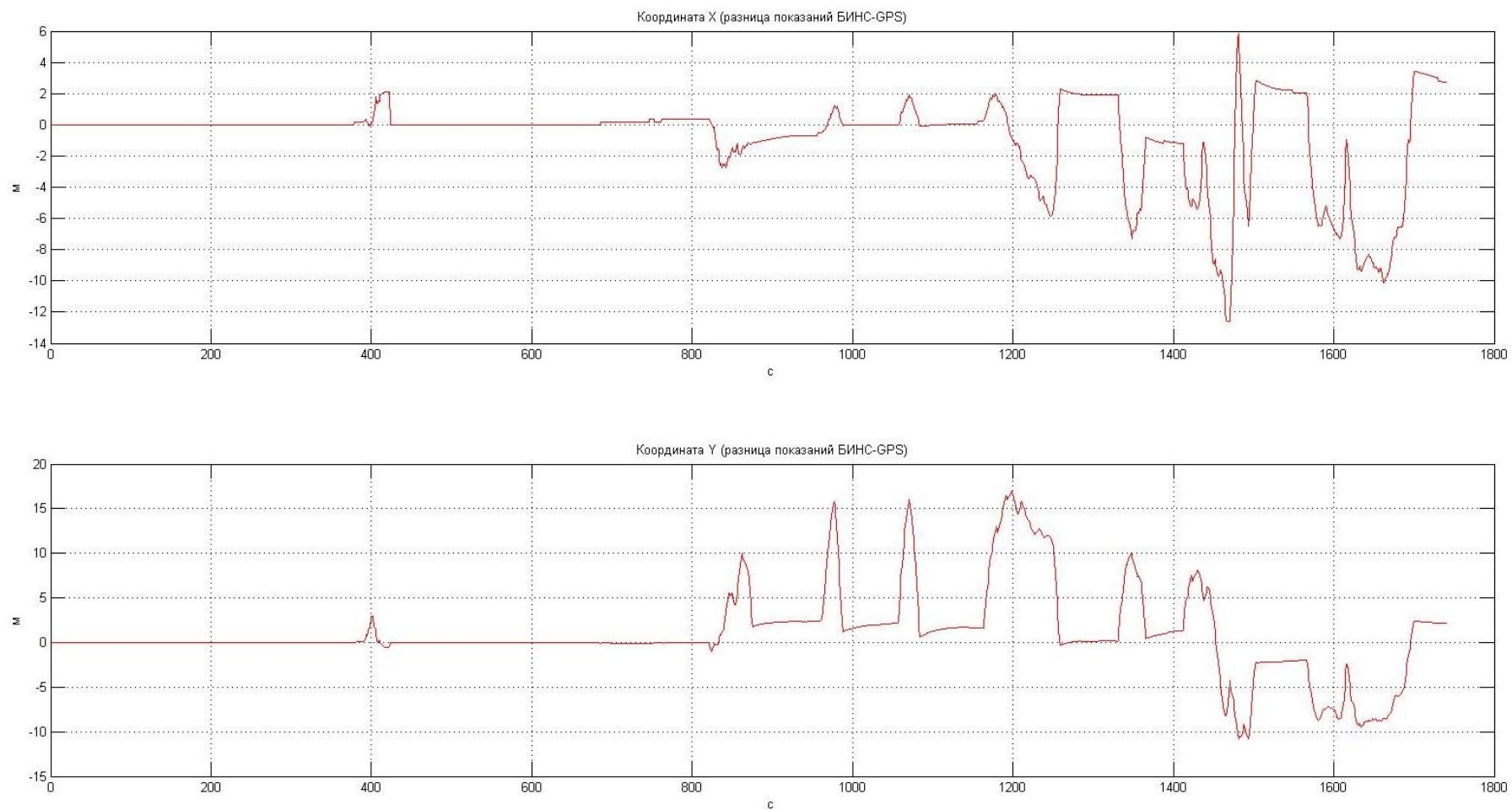


Рисунок 25. Участок 2. Разница координат БИНС-СНС, ДПП включен.

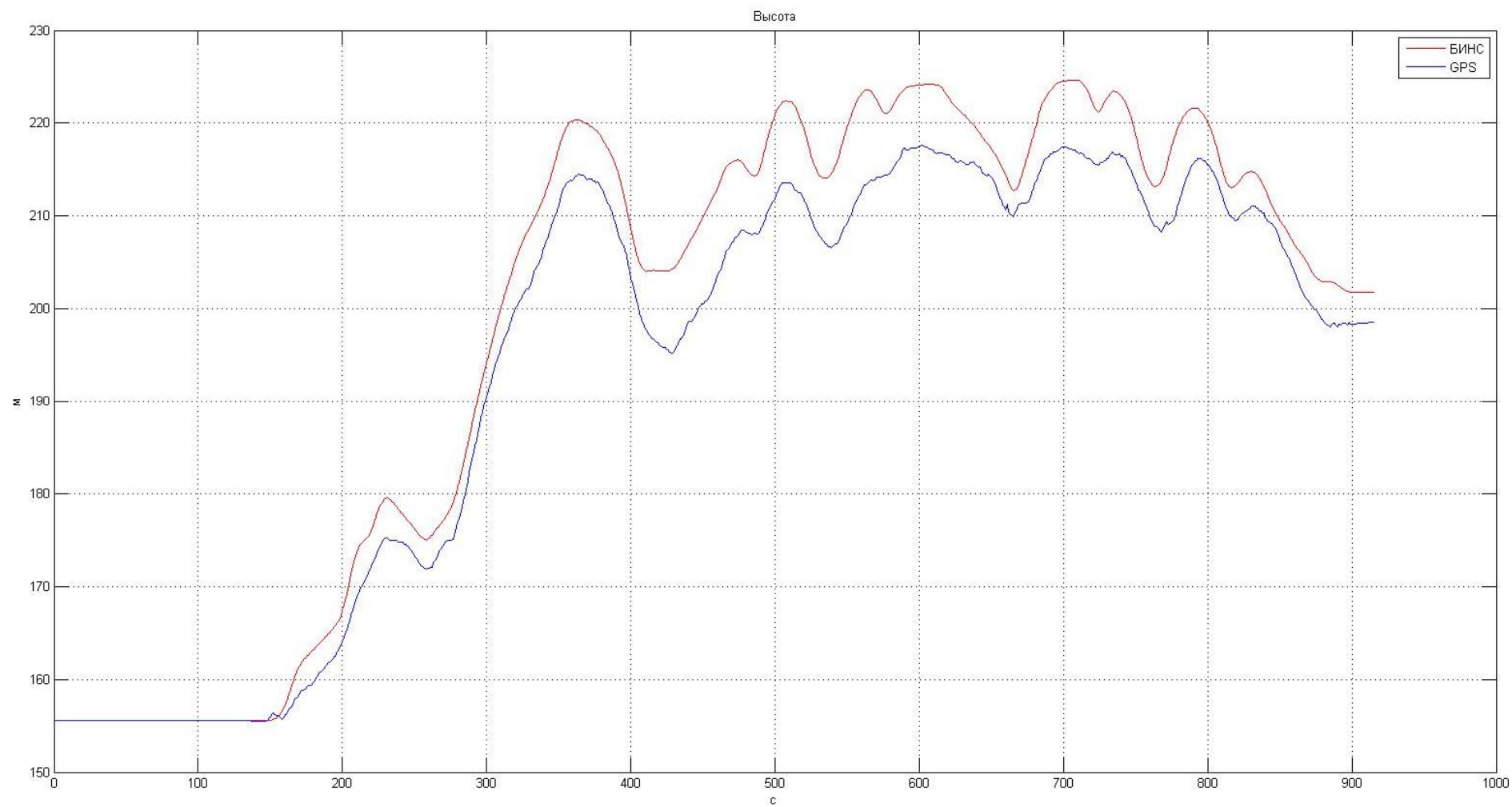


Рисунок 26.Участок 3. График счисления высоты. Автономный режим.

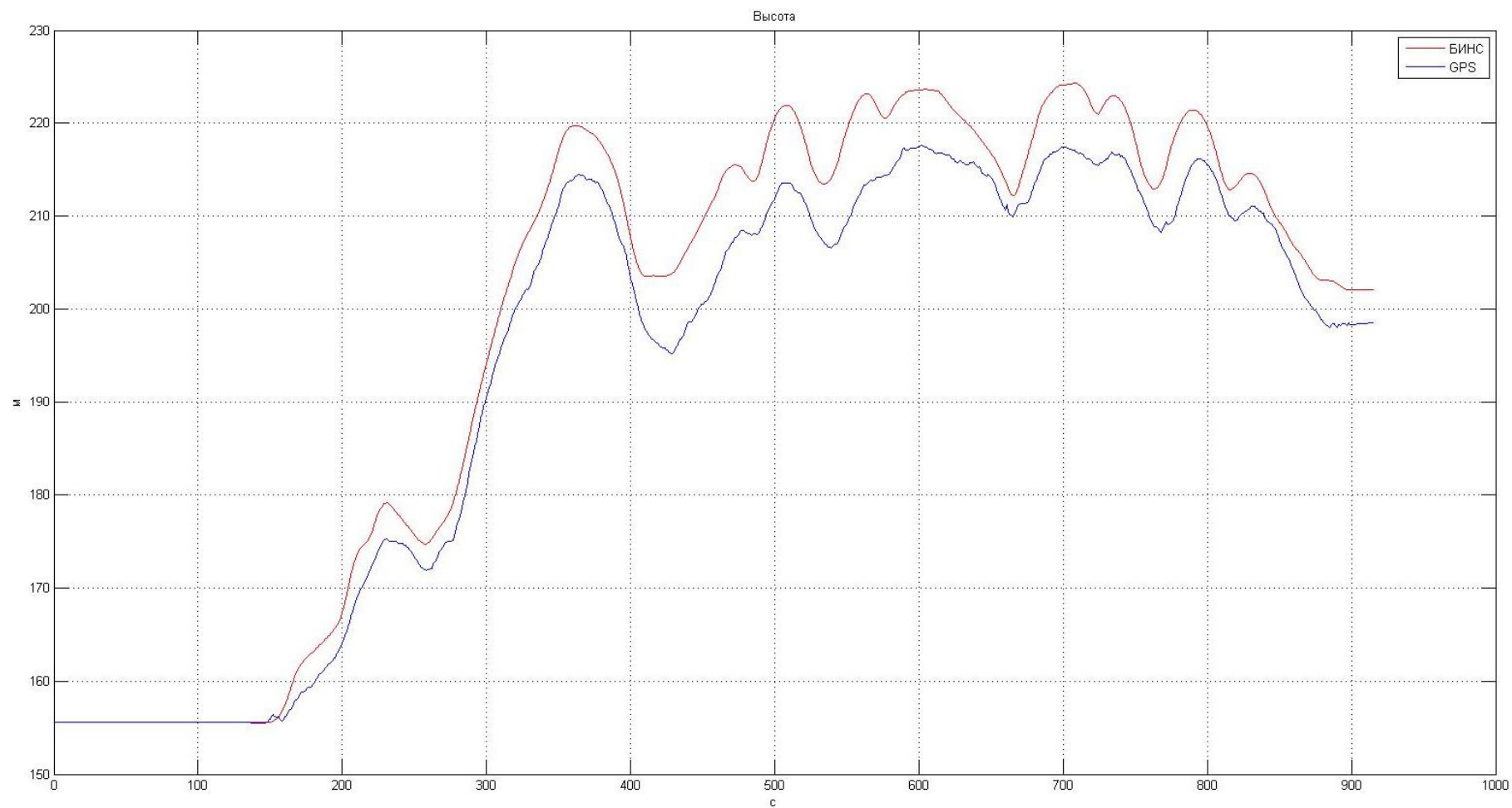


Рисунок 27. Участок 3. График счисления высоты. ДПП Включён.

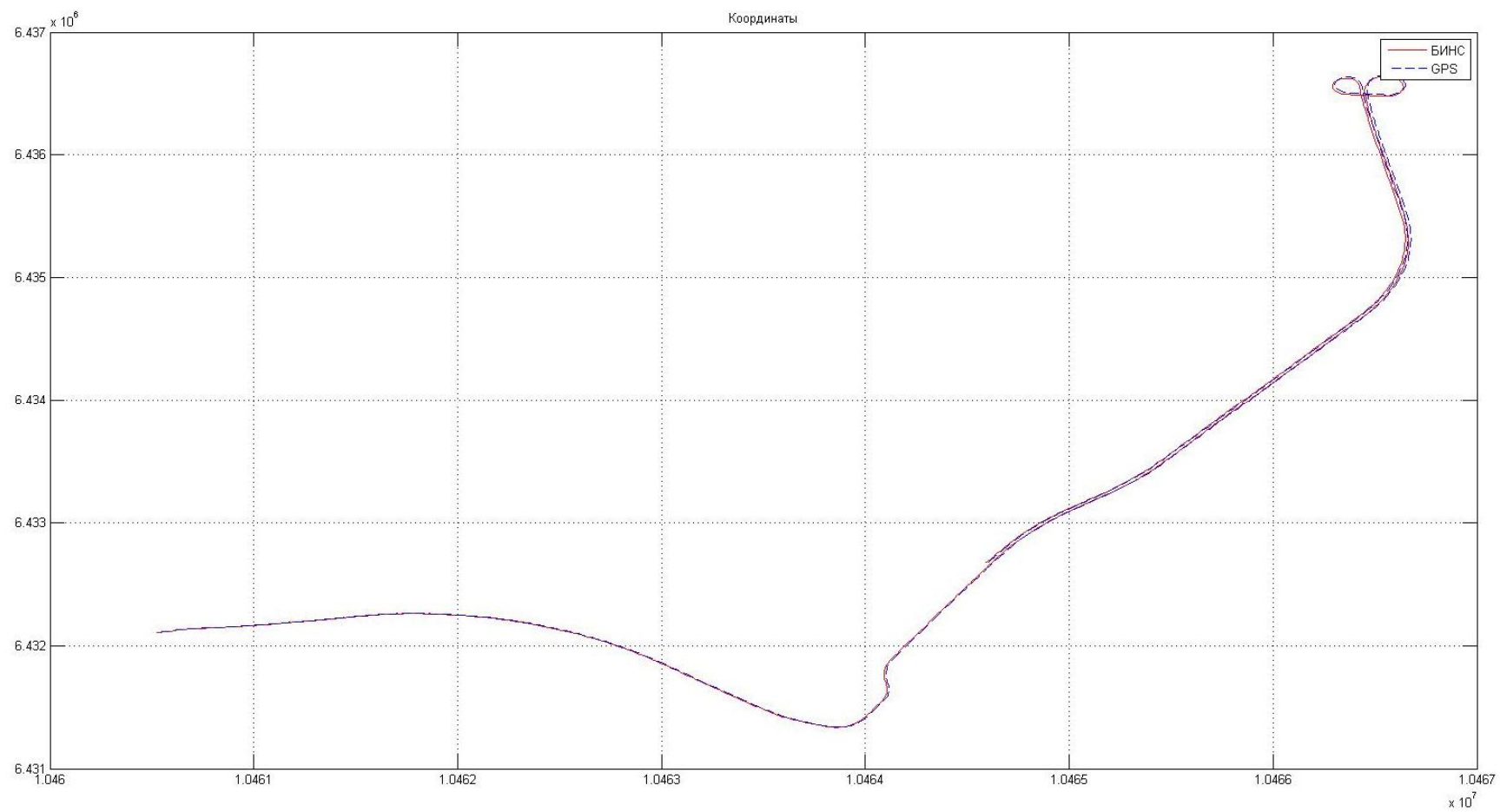


Рисунок 28. Участок 3. Карта трассы.

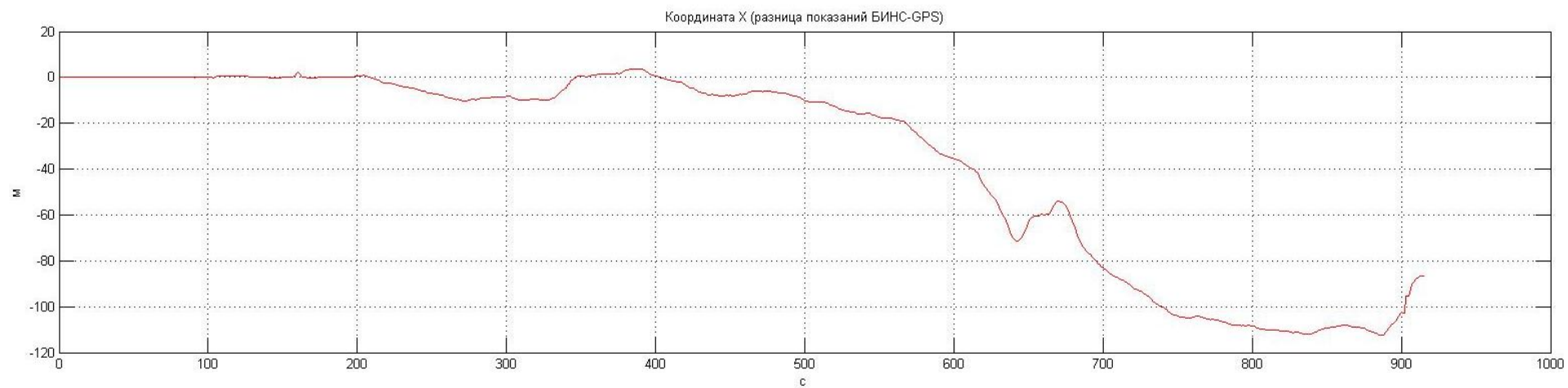


Рисунок 29. Участок 3. Разница координат БИНС-СНС. Автономный режим.



Рисунок 30. Участок 3. Разница координат БИНС-СНС. ДПП включён.

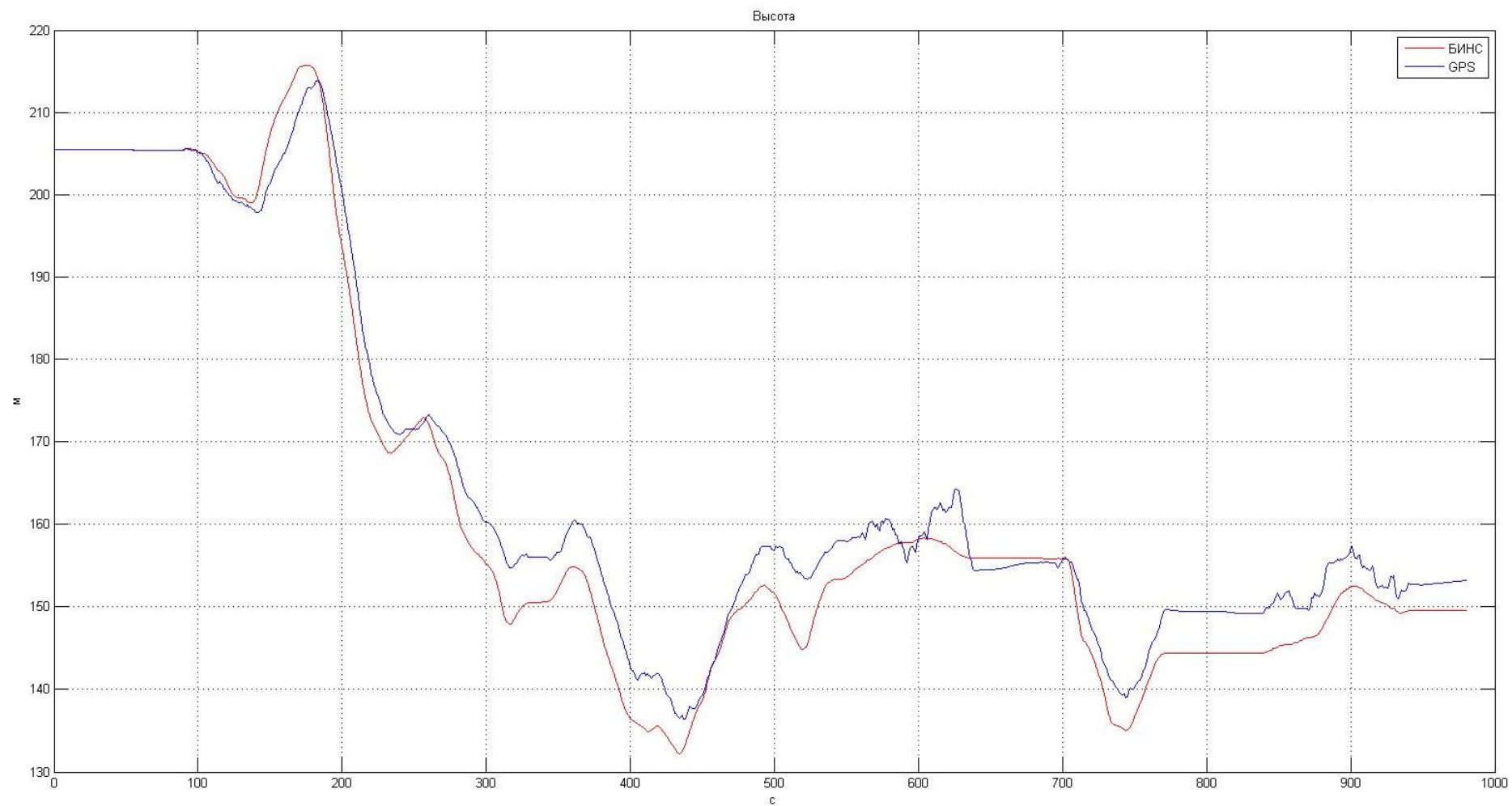


Рисунок 31. Участок 4. График счисления высоты. Автономный режим.

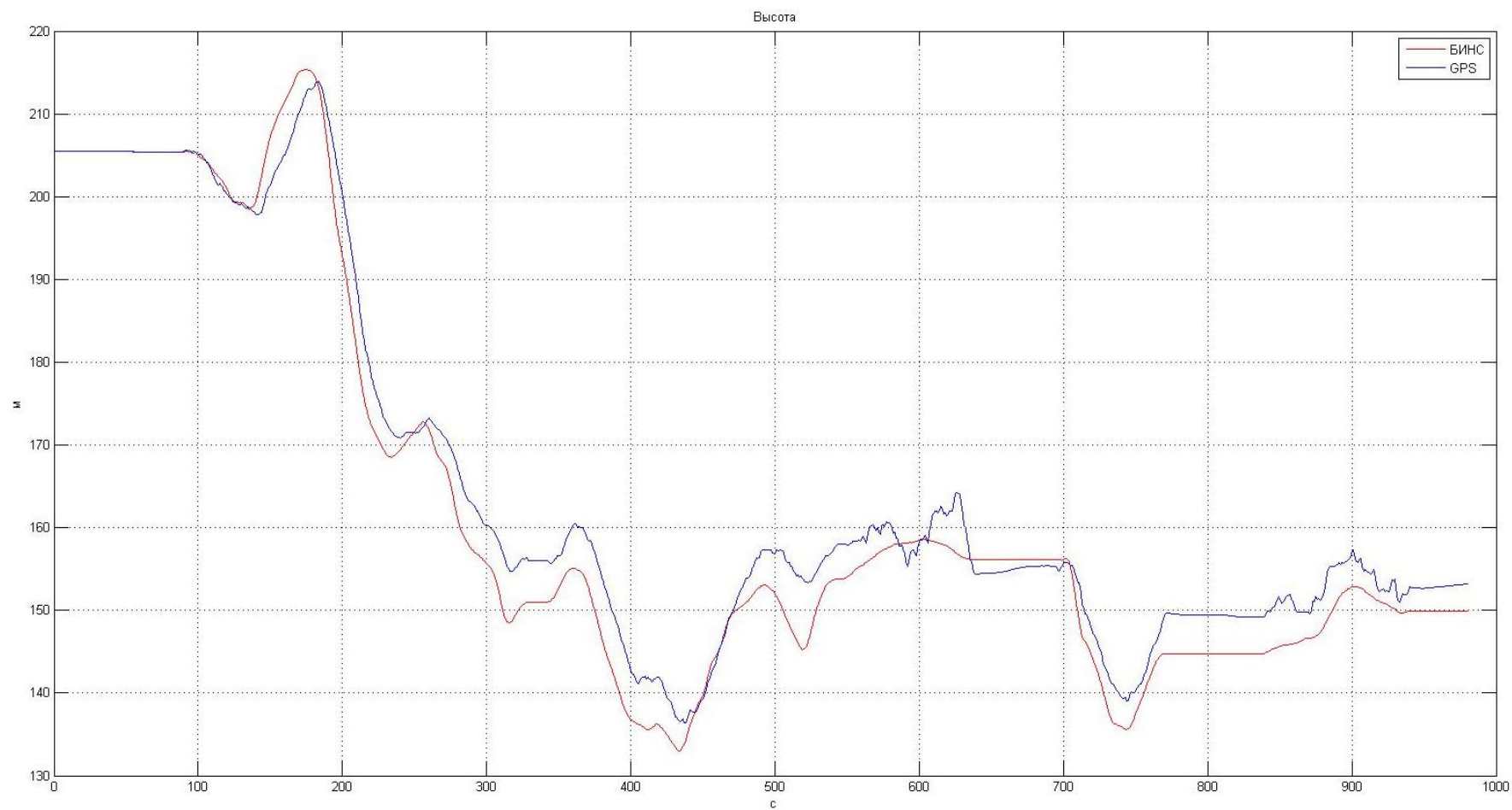


Рисунок 32. Участок 4. График счисления высоты. ДПП включён.

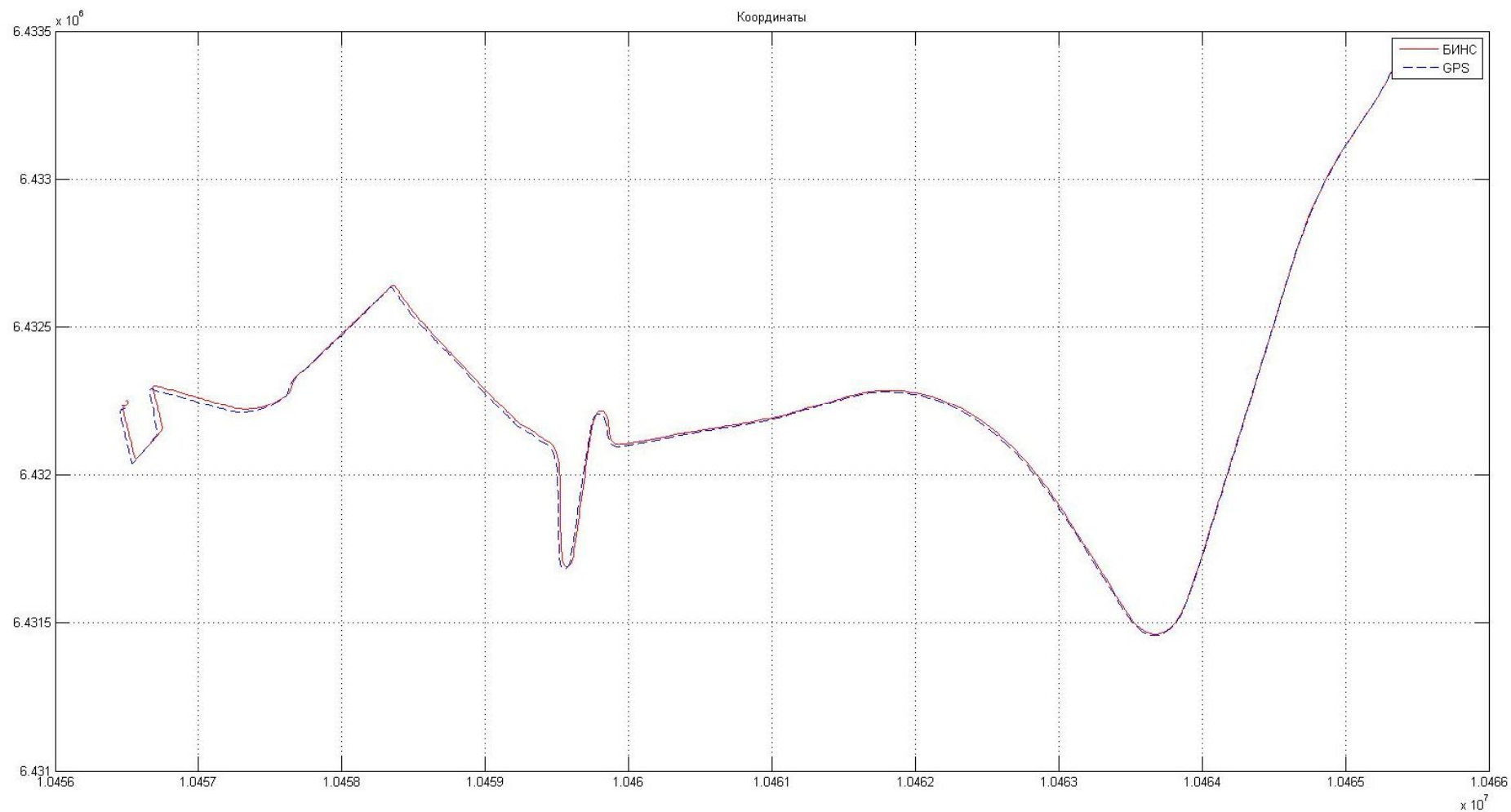


Рисунок 33. Участок 4. Карта трассы.



Рисунок 34. Участок 4. Разница координат БИНС-СНС. Автономный режим.

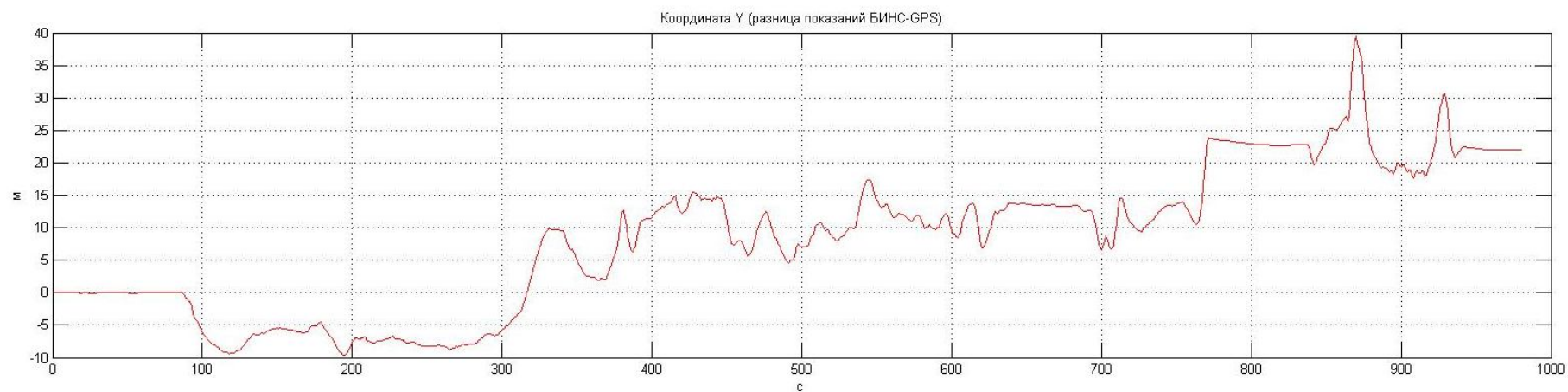
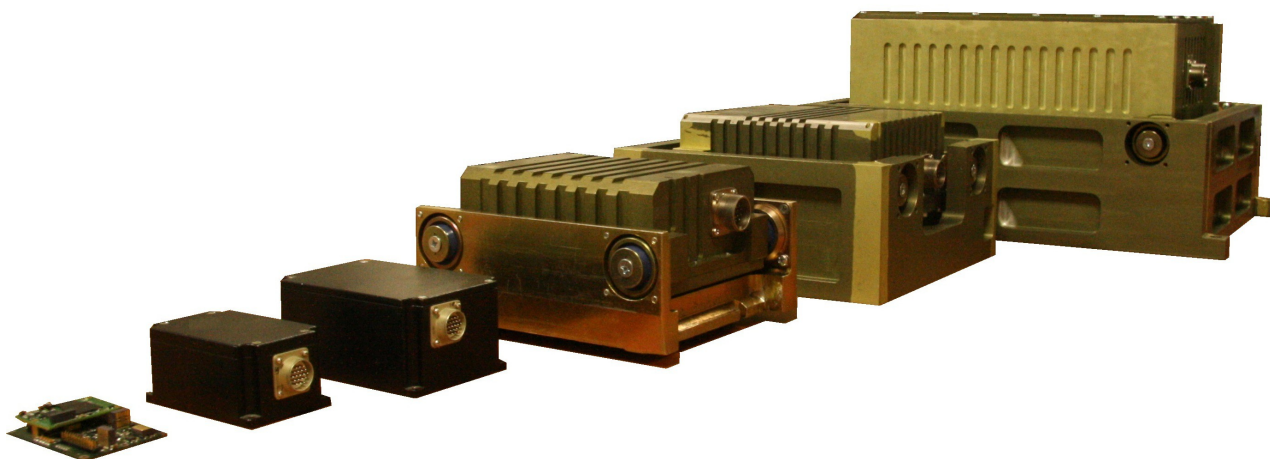


Рисунок 35. Участок 4. Разница координат БИНС-СНС. ДПП Включён.

ЛАБОРАТОРИЯ **ГИРО** **ЛАБ**

ООО «Гиrolаб»: разработка и производство широкой линейки гирокомпасов и Бесплатформенных Инерциальных Навигационных Систем (БИНС) для применения в системах навигации, ориентации, стабилизации различных конечных изделий, требующих БИНС различного класса точности и функциональности для наземного, морского, авиационного применений на базе волоконно-оптических гирокомпасов с замкнутым контуром, разомкнутым контуром и МЭМС.



www.gyrolab.ru ; www.БИНС.рф ; sales@gyrolab.ru

Москва
Тел./Факс: (495) 229 1480

Пермь:
Тел.: (342) 207 5398 / 97
Факс: (342) 207 5398