

ИСПЫТАНИЯ РОССИЙСКОГО НАВИГАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА «АГРОНАВИГАТОР ПЛЮС»

С.О. Шевчук (АО «СНИИГГиМС», Новосибирск)

В 2010 г. окончил Институт дистанционного зондирования и природопользования Сибирской государственной геодезической академии (в настоящее время — Сибирский государственный университет геосистем и технологий) по специальности «аэрофотогеодезия». С 2009 г. работает в АО «Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья» (СНИИГГиМС), в настоящее время — и. о. заведующего отделом геодезического обеспечения геолого-геофизических работ. Кандидат технических наук.

А.Х. Мелеск (АО «СНИИГГиМС», Новосибирск)

В 1999 г. окончил Институт дистанционного зондирования и природопользования Сибирской государственной геодезической академии (в настоящее время — Сибирский государственный университет геосистем и технологий) по специальности «городской кадастр». С 1989 г. работает в АО «Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья» (СНИИГГиМС), в настоящее время — ведущий инженер.

Совершенствование методов и технологий глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) позволяет повысить доступность и точность определенных пространственных координат объектов, делая их все более востребованными как для навигационного и геодезического обеспечения, так и для решения широкого спектра прикладных инженерных задач в различных отраслях.

В соответствии с требованиями п. 1 Статьи 4 Федерального закона от 14.02.2009 г. № 22-ФЗ «О навигационной деятельности» [1] все спутниковые геодезические и навигационные работы могут выполняться только с использованием российской навигационной системы, т. е. ГЛОНАСС. Закон не ограничивает применение спутниковых приемников, принимающих совместно с ГЛОНАСС сигналы зарубежных ГНСС: GPS (США), BeiDou (КНР) и Galileo (ЕС).

Кроме того, в настоящее время имеются серьезные тенденции по импортозамещению в сфере ГНСС, включая производ-

ство навигационной аппаратуры потребителя на российской и зарубежной элементной базе.

Одним из образцов такой аппаратуры является бортовой навигационный комплекс (НК) «Агронавигатор плюс» с системой параллельного вождения, выпускаемый ООО «Центр точного земледелия «Аэросоюз» (Новосибирск). В навигационном комплексе в качестве приемного модуля ГНСС используется OEM-плата NV08C-CSM производства ЗАО КБ «Навис» [2].

▼ Объект и цель исследования

НК «Агронавигатор плюс» в базовой комплектации включает приемный модуль (приемник) со специальным программным обеспечением, выносную антенну и дополнительные комплектующие (кабели, устройства крепления), а также техническую документацию. Внешний вид приемника приведен на рис. 1, а основные технические характеристики навигационного комплекса — в табл. 1.

Согласно руководству пользователя [2], НК «Агронавигатор плюс», наряду со специальными функциями по обеспечению посева, ухода и уборки сельскохозяйственных культур, позволяет:

- выполнять параллельное вождение автотракторной техники в дневное и ночное время;
- измерять пройденное расстояние (длину отдельной линии);
- уточнять площади сельхозугодий;



Рис. 1
Приемный модуль НК «Агронавигатор плюс»

Основные характеристики НК «Агронавигатор плюс»

Таблица 1

Наименование характеристики	Значение
Приемный модуль	NV08C-CSM
Поддерживаемые ГНСС и сервисы	ГЛОНАСС, GPS и SBAS
Режим измерения	Кодовый, в частотном диапазоне L1
Количество каналов	32
Предельная СКП определения координат (2σ) в плане, м	2,5 (в автономном режиме) 1 (в дифференциальном режиме) 0,4–0,5 (параллельное вождение) 0,2–0,3 (при подключении SBAS)
Частота измерений, Гц	5 или 10
Форматы приема данных	Протокол NMEA-183 TXT (таблицы координат пунктов измерений) KML (Google Earth)
Дисплей, "	8 (цветной, с дневным и ночным режимами)
Интерфейс пользователя	Механические и сенсорные (на экране) кнопки управления
Внешние порты	RS-232, USB
Электропитание: — напряжение, В — сила тока, А	9 или 36 1,5
Масса, кг	1,3
Тип подключения дополнительных устройств	Трехосевой акселерометр для фиксации ударных перегрузок от 4 г до 8 г Двухчастотный геодезический приемник ГНСС

— измерять обработанные площади;

— разбивать поля на прямоугольные участки;

— отображать на экране направление движения, контуры обрабатываемых сельхозугодий и наличие препятствий на них;

— получать первичную геодезическую информацию для подготовки и отображения планов сельхозугодий на экране навигатора или персонального компьютера в программе Google Earth.

Целью исследований являлось испытание НК «Агронавигатор плюс» для решения задач навигационного обеспечения геолого-геофизических работ, в частности, навигации и проводки по заданному маршруту летательного аппарата при аэрогеофизических исследованиях [3], в том числе с электромагнитной платформой серии «Импульс» [4].

Основными задачами испытания были следующие:

а) проверка соответствия заявленных технических характеристик:

— точность вождения по заданному маршруту;

— абсолютная точность определения местоположения (в статическом и кинематическом режимах);

— определение местоположения и выдерживание направления маршрута в сложных условиях приема сигналов ГНСС;

б) сравнительный анализ работоспособности аппаратуры при обеспечении наземных геологоразведочных работ и аэрогеофизических исследованиях.

▼ Условия проведения экспериментальных исследований

Испытания проводились в апреле-мае 2015 г., в г. Новосибирске и пригороде (Омский тракт, Северный объезд), при

температуре воздуха от +5°C до +15°C и слабой облачности.

Работы включали несколько этапов:

— в статическом режиме в условиях открытой местности (предварительные);

— в кинематическом режиме в условиях открытой местности;

— в кинематическом режиме в сложных условиях приема сигналов ГНСС (покрытая густой растительностью местность).

Для оценки точности определения местоположения (пространственных координат) за истинные принимались координаты точек треков, которые измерялись двухчастотным геодезическим приемником ГНСС Leica Viva GS10 относительным методом в кинематическом режиме. При испытаниях расстояние до базовой станции, установленной на эталонном пункте, не превышало 30 км.

Кроме того, для сравнения НК «Аэронавигатор плюс» с за-

рубежной навигационной ГЛОНАСС/GPS аппаратурой выполнялись измерения навигационным приемником Garmin eTrex 30. Данный приемник был протестирован отделом геодезического обеспечения геолого-геофизических работ СНИИГГиМС в 2012 г., средняя квадратическая погрешность (СКП) определения координат в плане составила 2–4 м.

Также в ходе испытаний проводились измерения авиационным навигатором Garmin GPSMAP 178 Sounder, применявшимся ранее для целей навигации летательного аппарата при аэрогеофизической разведке (согласно [1] в настоящее время его использование невозможно).

Обработка результатов измерений, сравнительная оценка точности, анализ и оформление полученного материала с выводами и рекомендациями выполнялись сотрудниками отдела геодезического обеспечения геолого-геофизических работ СНИИГГиМС. Для обработки результатов измерений, полученных приемником ГНСС Leica GS10, использовался программный комплекс Waypoint GrafNav. Отображение траекторий движения, полученных различными приемниками, и их анализ, выполнялся в ГИС MapInfo, а также в специальной программе построения графиков.

▼ Экспериментальные исследования в статическом режиме

Наблюдения проводились в пункте «Потанинский» эталонного геодезического полигона, расположенном на крыше лабораторного корпуса СНИИГГиМС.

Координаты пункта фиксировались оператором нажатием функциональной кнопки НК «Аэронавигатор плюс» с интервалом в 1 минуту. Всего в течение 5 дней было выполнено 5 сеансов измерений различной продолжительности, результаты

Результаты исследований НК «Аэронавигатор плюс» в статическом режиме

Таблица 2

Сеанс измерений	Продолжительность измерений, мин	Максимальное отклонение, м	СКП в плане, м
Первый	15	2,01	1,44
Второй	30	4,23	1,94
Третий	60	2,85	1,53
Четвертый	60	5,49	1,43
Пятый	75	5,87	1,90

которых приведены в табл. 2. Оценка точности выполнялась по разностям измеренных и известных плановых координат пункта.

Навигационный комплекс не предназначен для наблюдений в статическом режиме и не вычисляет среднее значение (в режиме реального времени), однако данные исследования позволили получить представление о возможных значениях погрешностей аппаратуры в этом режиме. СКП определения координат в плане имело значение, близкое к полученному ранее с помощью приемника Garmin eTrex 30 и составило ~1,8 м.

▼ Экспериментальные исследования в кинематическом режиме

Испытания аппаратуры в этом режиме проводились на

дорогах г. Новосибирска и его окрестностей в условиях их минимальной загруженности, как с соблюдением благоприятных условий приема сигналов ГНСС — на открытой местности, так и на участках, покрытых лесной растительностью.

Исследования выполнялись по следующему алгоритму.

1. Выбирались прямолинейные участки дороги протяженностью не менее 5 км с минимальным транспортным потоком на удалении не более 30 км до базовой станции (п. «Потанинский») на открытой и закрытой местности. Расположение и характеристики участков дороги, на которых были проведены испытания, приведены на рис. 2 и в табл. 3.

Участки 3 и 4 находились на закрытой местности (смешанный лес), что позволило выпол-

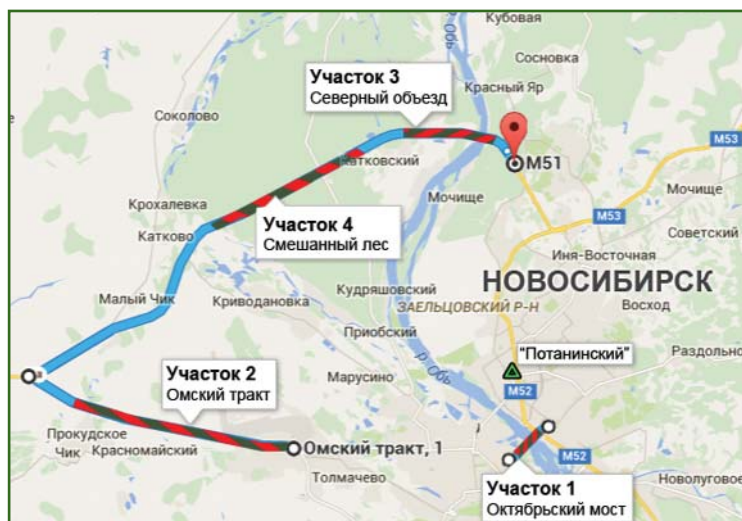


Рис. 2

Участки дороги, на которых проводились испытания в кинематическом режиме

Характеристики участков дороги при испытаниях в кинематическом режиме Таблица 3

Номер и наименование участка	Тип местности	Протяженность прямолинейного отрезка, км	Максимальное удаление от базовой станции, км
1 (Октябрьский мост)	Открытая	2,5	5
2 (Омский тракт)	Открытая	8,5	30
3 (Северный объезд)	Закрытая	2,0	20
4 (Смешанный лес)	Закрытая	9,0	25

нить исследования навигационной аппаратуры в сложных условиях приема сигналов ГНСС. Высота деревьев составляла 12–15 м, среднее расстояние между ними — 2–4 м.

2. Ширина дорожного полотна на выбранных участках дороги измерялась между линиями разметки по краям дороги с помощью лазерной рулетки Leica Disto Classic (рис. 3).

3. Приемники ГНСС устанавливались внутри легкового автомобиля, а их антенны и навигационный приемник со встроенной антенной Garmin eTrex 30 закреплялись на корпусе автомобиля в соответствии со схемой, представленной на рис. 4.

4. Выполнялся многократный проезд автомобиля вдоль линий разметки по краю дорожного полотна со скоростью 40–90 км/ч, в процессе которого все приемники ГНСС вели непрерывную запись измерений. При этом считалось, что плановое положение антенны НК «Агронавигатор плюс» соответствовало внутренней границе линии разметки дорожного полотна с погрешностью не грубее 0,2 м.

Следует отметить, что перед проездом по маршруту проводилась инициализация аппаратуры Leica GS10 в статическом режиме в течение не менее 20 мин. Во время движения данные о траектории регистрировались каждую секунду.

5. Результаты измерений аппаратурой Leica GS10 в кинематическом режиме обрабатывались в программном комплексе Waypoint GrafNav 8.3, а координаты точек траектории движе-



Рис. 3

Схема испытаний для оценки точности выдерживания маршрута в кинематическом режиме

ния вычислялись в системе координат WGS–84 и принимались в качестве истинных значений. При обработке траекторий, полученных геодезическим приемником ГНСС Leica GS10, для участка 1 имели место преимущественно (>95%) фиксированные фазовые решения, а для остальных участков — сходящиеся плавающие фазовые решения. Это позволило принять вычисленные координаты точек траектории движения автомобиля за истинные с оговоркой, что оценка точности исследуемых навигационных приемников может быть получена не точнее 0,5 м.

Результаты измерений, выполненные навигационными и геодезическим приемниками, загружались в персональный компьютер, анализировались и вычислялись СКП выдерживания маршрута.

Оценка точности осуществлялась по двум критериям:

- по разностям координат траекторий;
- по ширине проезжей части дорожного полотна.

Оценка точности по разностям координат траекторий.

Для оценки точности выдерживания маршрута, заявленной в технических характеристиках НК «Агронавигатор плюс», вычислялись разности между координатами точек траектории движения автомобиля, полученными в одно и то же время НК «Агронавигатор плюс» и приемником ГНСС Leica GS10. Для участка 1 из модуля полученных разностей вычиталась величина Δl , равная 10 см, которая соответствовала измеренному расстоянию между антеннами (рис. 3). Для участков 2–4 установка антенн проводилась на одной линии (параллельно про-

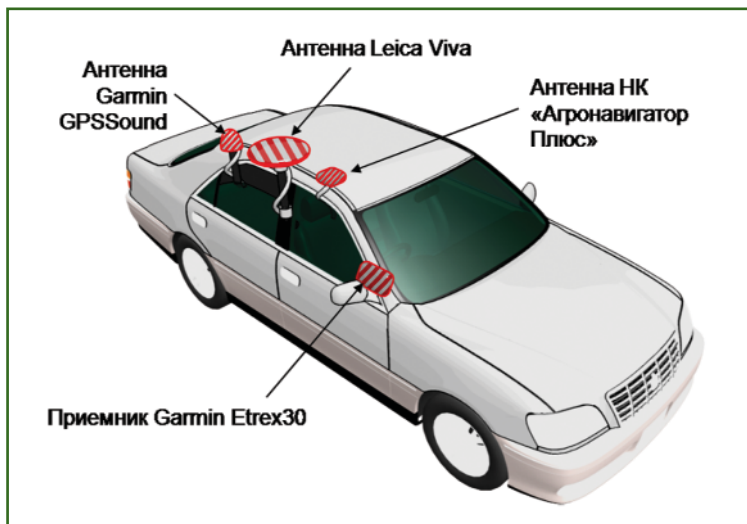


Рис. 4
 Схема установки антенн приемников ГНСС на автомобиле

дольной оси автомобиля), вследствие чего величиной ΔL можно было пренебречь.

По разностям координат отдельных точек траекторий, измеренных в кинематическом режиме навигационными приемниками (НК «Агронавигатор плюс», Garmin eTrex 30 и Garmin GPSMAP 178 Sounder) и приемником ГНСС Leica GS10, вычислялись максимальные отклонения между траекториями и СКП в плане, которые приведены в табл. 4. Поскольку разности координат вычислялись с интервалом в 1 минуту, было проанализировано от 15 до 25 эпох на каждом маршруте.

Оценка точности по ширине проезжей части дорожного полотна. Вычислялись расстояния в поперечном направлении между двумя траекториями, измеренными вдоль противоположных краев дорожного по-

лотна: $L_{тр}$ — навигационными приемниками (НК «Агронавигатор плюс», Garmin eTrex 30 и Garmin GPSMAP 178 Sounder) и $L_{тр}$ — приемником ГНСС Leica GS10 (рис. 4).

Расстояния $L_{тр}$ определялись на протяжении каждого маршрута на участках в 500–1000 м в программе для построения графиков с помощью инструмента «Линейка».

Для оценки точности выдерживания маршрута приемником ГНСС Leica GS10 и навигационными приемниками вычислялись СКП в плане — m_L по разностям между шириной дорожного полотна $L_{дор}$, измеренной лазерной рулеткой Leica Disto Classic, и вычисленными значениями ширины дорожного полотна $L_{тр}$ и $L_{тр}$. Полученные значения погрешностей для каждого из приемников приведены в табл. 5.

Кроме того, ширина дорожного полотна $L_{тр}$ принималась в качестве контрольной (эталонной) и использовалась для дополнительной оценки точности выдерживания маршрута навигационными приемниками. По разностям $\Delta L = L_{тр} - L_{тр}$ вычислялись СКП в плане — m_{L-L} , значения которых приведены также в табл. 5.

Два вида оценок точности, приведенные в табл. 5, имеют определенные допущения:

— погрешности m_L не учитывают отклонения положения транспортного средства от линии разметки во время движения;

— погрешности m_{L-L} , не учитывают погрешности аппаратуры Leica GS10.

Как и при оценке по разностям координат траекторий (табл. 4), НК «Агронавигатор плюс» показал наименьшие погрешности и подтвердил заданные технические характеристики, приведенные в табл. 1.

Особенности функционирования исследуемой аппаратуры

В НК «Агронавигатор плюс» запись измерений в файлы отчетов велась не в соответствии с заданной частотой (5 или 10 Гц), а по внутреннему алгоритму (по расстоянию, в зависимости от параметров съемки) с загрубленным региональным временем до минут.

Из-за загрубления времени соответствующие эпохи для вычисления разностей координат приходилось выбирать вручную,

Погрешности в координатах траекторий, измеренных навигационными приемниками (по разностям координат траекторий)					Таблица 4	
Номер участка	«Агронавигатор плюс»		Garmin eTrex 30		Garmin GPS Sound	
	Максимальное отклонение, м	СКП в плане, м	Максимальное отклонение, м	СКП в плане м	Максимальное отклонение, м	СКП в плане, м
1	-1,1	0,9	7,6	4,7	9,8	5,0
2	0,7	0,7	2,9	1,9	4,6	3,0
3	-2,0	1,6	4,0	2,2	7,6	5,5
4	-2,4	2,0	7,4	4,9	11,5	6,5

Погрешности траекторий, измеренных навигационными приемниками
(при оценке по ширине дорожного полотна)

Таблица 5

Номер участка	Leica GS10	«Агронавигатор Плюс»		Garmin eTrex 30		Garmin GPS Sound	
	м, м	м, м	м-Л, м	м, м	м-Л, м	м, м	м-Л, м
1	0,3	0,4	0,4	1,8	1,9	2,6	2,7
2	0,4	0,6	0,2	1,9	1,8	3,6	3,9
3	0,3	1,0	1,1	4,1	3,9	3,2	3,3
4	0,2	0,5	0,6	7,4	7,3	12,0	12,0

в то время как остальная аппаратура вела запись измерений с интервалом в 1 секунду и метками времени GPS/UTC с точностью до секунды (Garmin GPSMAP 178 Sounder) или до сотых долей секунд (Leica GS10). Данная особенность может быть исправлена за счет применения протокола NMEA.

В сложных условиях приема сигналов ГНСС наблюдалось снижение точности для всех участвующих в испытаниях приемников. Приемник Garmin GPS Sound, принимавший только сигналы GPS, оказался наиболее чувствительным к наличию препятствий при приеме сигналов ГНСС и многолучевости. При этом наиболее стабильные результаты измерений (из приемников навигационного класса) были достигнуты при работе НК «Агронавигатор плюс».

Также важно отметить, что в сложных условиях приема сигналов ГНСС приемник также показал высокое качество решений (СКП в пределах 0,5 м), что не свойственно аппаратуре данного класса.

На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

— НК «Агронавигатор плюс» позволяет получить координаты точек траектории движения в кинематическом режиме с СКП от 1 до 1,5 м (по результатам сравнения с двухчастотным приемником ГНСС);

— погрешность выдерживания траектории маршрута 0,5–0,6 м, заявленная в технических характеристиках, была

подтверждена на практике методом сравнения фактического и измеренного расстояний между маршрутами;

— в статическом режиме СКП определения координат составляет 2 м;

— НК «Агронавигатор плюс» менее чувствителен к сложным условиям приема сигналов ГНСС, чем другая использованная аппаратура навигационного класса, причем СКП определения координат в плане составила 1,6–2,0 м, а СКП выдерживания траектории — 0,6–1,1 м.

В целом полученная в результате исследований точность определения плановых координат оказалась значительно выше, чем ожидалось от аппаратуры подобного класса.

Можно отметить следующие преимущества НК «Агронавигатор плюс»:

— высокая точность выдерживания траектории движения по заданному маршруту и определения плановых координат;

— прием сигналов ГЛОНАСС позволяет как увеличить количество видимых навигационных спутников и улучшить геометрию наблюдаемого созвездия, так и обеспечить выполнение требований, предусмотренных Федеральным законом «О навигационной деятельности» [1];

— возможность контроля отклонений от заданного маршрута;

— возможность разбивки маршрутов на уровне встроенного программного обеспечения.

Поскольку НК «Агронавигатор плюс» разрабатывался для решения задач точного земледелия, то его единственным недостатком при проведении геолого-геофизических работ является необходимость дополнительного обучения (или хотя бы краткого инструктажа) специалистов, отвечающих за навигационное обеспечение.

Таким образом, навигационный комплекс «Агронавигатор плюс» имеет ряд неоспоримых преимуществ по сравнению с ранее применяемой и исследованной в АО «СНИИГГиМС» аппаратурой и может быть рекомендован к полетным испытаниям и внедрению при навигационном обеспечении аэроэлектромагнитной геофизической разведки.

▼ Список литературы

1. Федеральный закон от 14.02.2009 г. № 22-ФЗ «О навигационной деятельности» (ред. от 13.07.2015 г.).
2. Руководство пользователя. Бортовой навигационный комплекс «Агронавигатор плюс» / ООО «ЛТЦ Аэросоюз». — www.aerounion.ru/files/AgronavigatorPlus/Ins_agro_plus.pdf.
3. Шевчук С.О. Навигационное и геодезическое обеспечение аэроэлектромагнитных исследований с подвесной вертолетной платформой // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. — 2012. — № 2. — С. 72–75.
4. Тригубович Г.М. Аэрогеофизические вертолетные платформы серии «Импульс» для поисково-оценочных исследований / Г.М. Тригубович, М.Г. Персова, С.Д. Саленко // Приборы и системы разведочной геофизики. — 2006. — № 2(16). — С. 18–21.