

УДК 629.33.028(075.8)

Д.В. МИШУТА, канд. техн. наук  
генеральный директор<sup>1</sup>  
E-mail: info@midivisana.by

В.Г. МИХАЙЛОВ, канд. техн. наук  
E-mail: sapr7@mail.ru

М.В. СЫРАЙ  
начальник в/ч<sup>2</sup>  
E-mail: info@midivisana.by

<sup>1</sup>ООО «Мидивисана», г. Минск, Республика Беларусь<sup>2</sup>Министерство обороны Республики Беларусь, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 04.08.2021.

## ВЫБОР МЕТОДА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ И ПОЛУЧЕНИЯ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ДОРОГИ, РЕЖИМА ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ С ПОМОЩЬЮ GPS (GNSS-ПРИЕМНИКА)

*Проанализированы существующие методы получения и обработки данных от GNSS-приемника, принимаемых на движущемся автомобиле в виде сообщений в градусах широты и долготы и преобразование их в метры. Проведена оценка точности определения местоположения и перемещения техники с помощью различных методов. Предложен метод обработки данных и получения продольного профиля дороги, скорости (режима) движения автомобиля с помощью GNSS-приемника (по параметрам скорости и высоты движущегося объекта на поверхности Земли). Выявлено, что рассмотренные зарубежные методы определения местоположения применительно к СНГ дают значительные расхождения (до 2 раз), что связано с использованием различных систем базовых точек отсчета в СНГ и за рубежом, в т. ч. в картографии, электронных картах. Установлено, что при оценке пройденного пути по разности перемещений 2 точек проекций позиционирования и их суммирования для небольших шагов квантования (8–20 м, зависящих от скорости и частоты) рассмотренные методы могут приводить к расхождению до 30–47%. Предложено на территории Республики Беларусь при определении относительных расстояний и привязке к картам пользоваться упрощенной линейной формулой  $lat\_m = 112297,6196 \cdot D_{dec\ lat}$ ,  $lon\_m = 63215,444 \cdot D_{dec\ lon}$ . Установлено, что для получения продольного профиля дороги в зависимости от пройденного пути, режима перемещения автомобилей, военной техники (ВТ), беспилотных летательных аппаратов (БЛА) более корректным является использование данных GNSS-приемника по скорости и высоте, обеспечивающих минимальную погрешность (0,15%), что подтверждается характером изменения  $h = f(l)$ ,  $v_a = f(l)$  и свидетельствует о корректности предложенного метода. Также при моделировании движения автомобиля необходимо учитывать дорожные факторы, влияющие на режим движения.*

**Ключевые слова:** GPS, программное обеспечение, NMEA-0184, Raspberry Pi 3/4

DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2022-2-59-88-96>

**Введение.** Сейчас во многих областях (навигации, авиации, мореплавания, транспорта, сельском хозяйстве, строительстве) используются системы спутниковой навигации. Они включают наземные станции, передающий модуль на спутниках, приемный модуль (GPS, Glonass и др.) и компьютерную или микропроцессорную технику (рисунок 1). Сигнал с GNSS-приемника подается на последовательный порт GPIO Raspberry Pi 3/4 и обрабатывается программой. На компьютер с операционной

системой Windows сигнал может быть подан через USB (его эмулирование).

Сейчас уже имеются геодезические приемные модули с системой дифференциальной коррекции от базовых станций (рисунок 2), обеспечивающие измерения с погрешностью от 10 до нескольких сантиметров, но они значительно дороже (~3000–17 000 долл. США (Leica GS)).

Высокая точность геодезического оборудования [3] достигается за счет базовой наземной

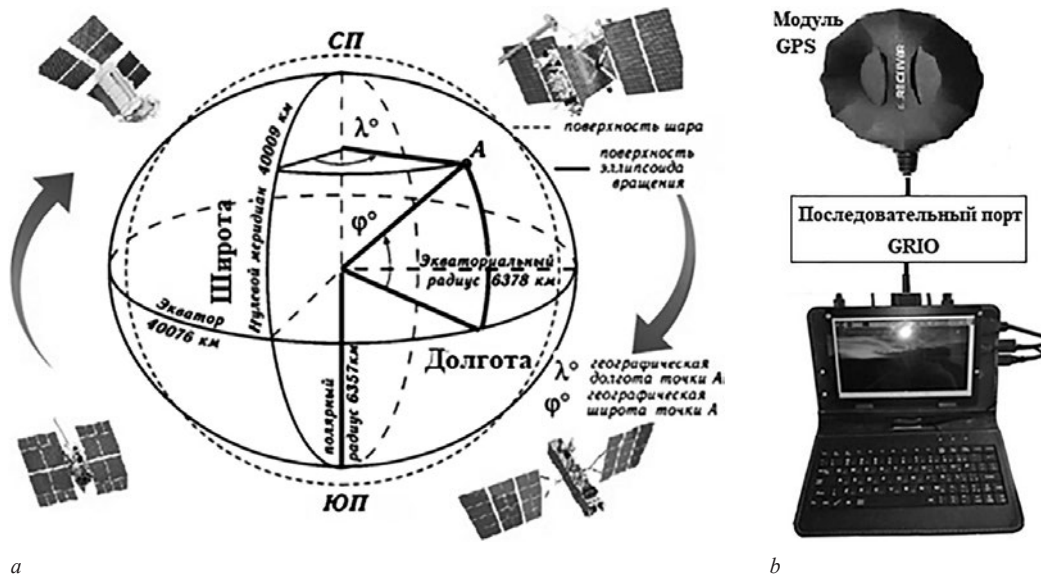


Рисунок 1 — Спутниковая система позиционирования и схема Земли (а), модуль GPS GN-803G, laptop на базе Raspberry Pi 3 б (b)  
 Figure 1 — Satellite positioning system and Earth diagram (a), GPS module GN-803G, laptop based on Raspberry Pi 3 b (b)

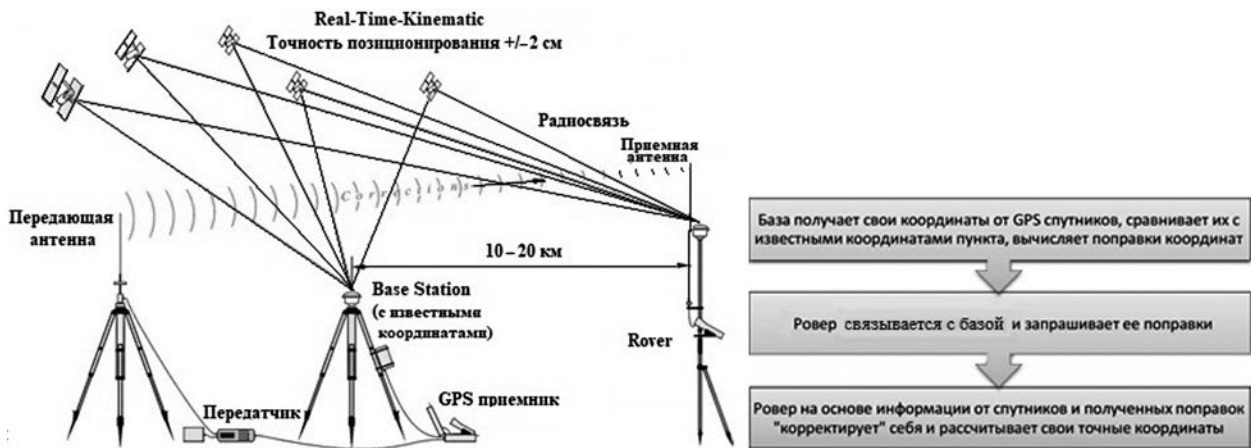


Рисунок 2 — Принцип измерения спутниковыми приемниками 3-мерного вектора  
 Figure 2 — Principle of measurement by satellite receivers of a 3D vector

станции, координаты которой заранее определены с очень высокой точностью, и выполнения операций корректуры, приведенной на рисунке 2. Недостатком является необходимость нахождения на месте замера (от нескольких секунд до часа).

Более дешевые модули класса UBLOX-M8N-M10N (стоимостью ~20 долл. США), включая GN-803N, обеспечивают погрешность в движении 1–2 м, у смартфонов — 7–15 м [1–3].

Одним из направлений применения спутниковых систем может быть использование их для получения массивов продольных профилей дорог, трассировки полетов БЛА, режимов движения, необходимых для моделирования движения автомобиля, ВТ и оценки их эксплуатационных характеристик на различных дорогах. Сейчас основным методом получения массивов продольных профилей дорог для моделирования является использование данных электронных карт высот [4] на сайтах, позволяющих получить профиль с минимальным шагом 100 м с погрешностью указа-

ния точки на карте до 10–20 %. На практике же используют шаг 300–400 м, который может приводить к 2-кратной погрешности по углу наклона для местных дорог [5].

Представляет интерес использование GNSS для этих целей путем регистрации параметров движущегося автомобиля с помощью приемного модуля GPS (GN-803G) в виду его приемлемой точности (1–2 м). Однако получаемые данные со спутников требуют преобразования в метры, поскольку информация с них выдается в виде сообщений местоположения в градусах широты и долготы, а скорость в виде миль/с. И только высота выдается в метрах. Проблемным моментом является определение пройденного пути: он должен быть рассчитан исходя из данных GNSS-приемника. Кроме того, необходимо привести данные к постоянному шагу из-за переменной скорости движения. Также необходимо учитывать различие систем отсчета: за рубежом базовыми осями широты считается меридиан

Лондона (по Гринвичу), а долготы — Экватор и центр Земли в WGS84 (GPS). В СНГ базовым для широты считается Пулковский меридиан. Для пересчета в метры за рубежом используются упрощенные зависимости, более подходящие для Европы, а в СНГ — более сложные согласно [6]. И при преобразовании получаются различные данные.

Недостаточно освещенной темой для специалистов, не связанных с GPS, является вопрос, как все это практически реализовать и какой метод целесообразнее использовать для преобразования данных, чтобы точнее рассчитать пройденный путь, местоположение транспортного средства (ТС) в метрах. Должна быть привязка высоты профиля к пути, а не по времени, учитывая движение автомобиля с переменной скоростью по различным дорогам, имеющим сложную траекторию.

Как показала проработка вопроса, пройденный путь можно получить с помощью данных GNSS-приемника 2 способами:

- путем определения разности 2 точек проекций позиционирования и их суммирования (рисунок 3).
- путем квантования скорости  $v$  в единицу времени (частоты опроса GPS  $f$  в Гц), эквивалентную пройденному пути ( $\Delta l = v \cdot f$ ), и их последующего суммирования.

Величина пройденного пути между 2 точками с учетом высот:

$$\Delta l = \sqrt{(\text{lon}_m2 - \text{lon}_m1)^2 + (\text{lat}_m2 - \text{lat}_m1)^2 + (h2 - h1)^2},$$

где  $\text{lon}_m1, \text{lon}_m2$  — проекции координат долготы;  $\text{lat}_m1, \text{lat}_m2$  — проекции координат широты;  $h1, h2$  — высоты этих точек, м.

Для перехода от геодезических координат к геоцентрическим (см. рисунок 2 б) используются следующие формулы [6, п.5.1.1]:

$$\begin{aligned} x &= (N + H) \cdot \cos B \cdot \cos L; \\ y &= (N + H) \cdot \cos B \cdot \sin L; \\ z &= (N + H - e^2 \cdot N) \cdot \sin B, \end{aligned}$$

где  $L, B$  — долгота и широта соответственно, рад;  $H$  — высота, м;  $N$  — так называемый радиус кривизны первого вертикала:

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \sin^2 B}},$$

где  $e = \sqrt{1 - \left(\frac{b}{a}\right)^2}$  — эксцентриситет эллипсоида

Земли ( $a = 6378137,0$  м,  $b = 6356752,3142$  м — радиусы эллипсоида).

Неясно, какой метод более эффективен. Для получения более точных плоских прямоугольных координат в принятой на территории СНГ проекции Гаусса–Крюгера и карт СК-42, СЛ-95 используют геодезические координаты на эллипсоиде Красовского, рассчитываемые по сложным формулам [6, п. 5.4.1].

В работе [7] с помощью смартфона и бесплатной программы AndroSensor получены ускорения, угловые скорости (по 3 осям), долгота, широта и скорость движения автомобиля и его крены в зависимости от времени. Расчет при преобразовании данных в MS Excel и MatLab проводился с использованием переводных коэффициентов  $\mu_x = 62547,1826$  м/°°,  $\mu_y = 110595,543$  м/°°, определенных для Московской области.

Однако работ по получению с помощью GNSS-приемника продольного профиля дорог в открытых источниках нет, как и рассмотрения решения их реализации.

Целью данной работы является выбор метода получения продольного профиля дороги, скорости (режима) движения автомобиля на основе получения и преобразования данных с GNSS-приемника и оценка точности определения местоположения и перемещения техники.

**Передаваемая информация со спутника.** Информация со спутника системы GPS передается в виде GGA-, GLL-, GSA-, GSV-, VTG-, RMC-, ZDA-, GNS-сообщений согласно стандарту

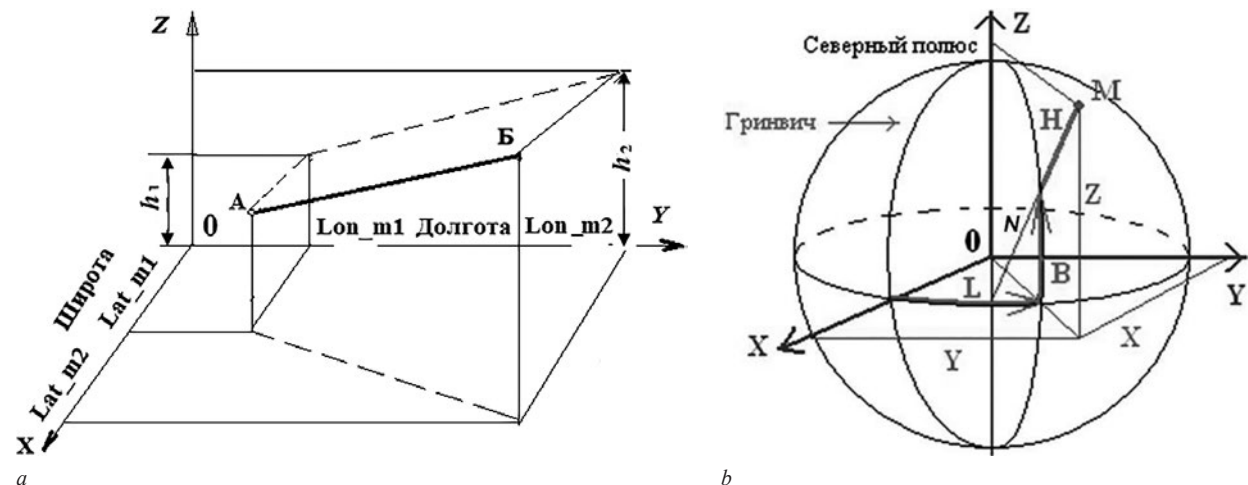


Рисунок 3 — Схема определения пути по 2 точкам позиционирования (а) и геоцентрические координаты (б)  
Figure 3 — Scheme of determining the path by two positioning points (а) and geocentric coordinates (б)

NMEA-0183 [1, 2] в текстовой форме ASCII с полями, разделенными запятой (.). Например:  
 \$GPVTG,333.93,T,M,0.343,N,0.635,K,A30  
 \$GPGGA,043025.00,3510.97111,S,13512.82950,E,  
 1,11,0.79,37.5,M,-4.4,M,,6D  
 \$GPGSA,A,3,26,03,04,02,06,30,08,07,09,27,16,,  
 1.35,0.79,1.10,0B  
 \$GPGSV,3,1,12,02,06,248,22,03,19,018,31,04,52,  
 098,44,05,00,215,73.

Сообщения по протоколу NMEA-0183 содержат следующую информацию:

- GGA — данные местоположения объекта;
- GLL — географические координаты (широта/долгота);
- GNS — данные местоположения GNSS;
- GSA — геометрический фактор ухудшения точности и активные спутники;
- GSV — видимые спутники;
- RMC — минимальный рекомендованный набор данных;
- VTG — скорость и курс относительно Земли;
- ZDA — время и дата.

Каждая строка сообщений начинается с символа '\$'. Следующие 2 знака определяют идентификатор, указывающий на спутник — источник сообщения. Например, сообщения от GPS начинаются с GP, от Glonass — GL, от Галилео — GA, от BeiDou — GB\*, от других GNSS — GN. Следующие 3 знака определяют вид и содержание сообщения. Модуль GPS GN-803G может работать одновременно с GPS и Glonass.

Для задач исследования движения автомобиля необходимо использовать сообщения GGA (таблица 1) и RMC (таблица 2), которые дополняют друг друга. В RMC отсутствуют данные о высоте над уровнем моря, а в GGA нет данных по скорости и направлению. Пример: \$GPRMC, 083559.00, A, 4717.11437, N, 00833.91522, E, 0.004, 77.52, 091202,, A,V\*57.

Алгоритм получения данных заключается в считывании и идентификации строки, затем

Таблица 2 — Структура сообщения RMC  
 Table 2 — RMC message structure

Поле No.	Имя	Размерность Unit	Формат	Образец	Описание
0	xxRMC	—	string	\$GPRMC	RMC Message ID (xx = current Talker ID, see NMEA Talker IDs table)
1	time	—	hhmmss.ss	083559.00	UTC time. See the section UTC representation in the Integration manual for details.
2	status	—	character	A	Data validity status, see position fix flags description
3	lat	—	ddmm.mmmmm	4717.11437	Latitude (degrees and minutes), see format description
4	NS	—	character	N	North/South indicator
5	lon.	—	dddmm.mmmmm	00833.91522	Longitude (degrees and minutes), see format description
6	EW	—	character	E	East/West indicator
7	spd	knots	numeric	0.004	Speed over ground
8	cog	deg	numeric	77.52	Course over ground

Таблица 1 — Формат данных сообщения GGA  
 Table 1 — GGA message data format

Имя	Пример	Размерность	Описание
Message ID	\$GPGGA	—	GGA protocol header
UTC Time	161229.487	—	hhmmss.sss
Latitude	3723.2475	—	ddmm.mmmmm
N/S Indicator	N	—	N=north or S=south
Longitude	12158.3416	—	dddmm.mmmmm (degrees & min)
E/W Indicator	W	—	E=east or W=west
Position Fix Indicator	1	—	See Table 1–4
Satellites Used	07	—	Range 0 to 12
HDOP	1.0	—	Horizontal Dilution of Precision
MSL Altitude	9.0	Meters	
Units	M	Meters	
Geoid Separat		Meters	
Units	M	Meters	

считывании с нее полей данных, контролируемых по счетчику.

**Методы преобразования данных для получения местонахождения объекта. 1. Геодезический метод обработки данных.** В основе простейшего геодезического метода [6], применяемого в западной Европе, используется соответствие расстояния 111 320 м, приходящееся на 1 градус геодезического положения объекта (см. рисунок 1 а).

Зная значение в градусах и умножая на этот параметр, получим расстояние от Гринвича и Экватора



в метрах. Необходимо также учитывать, в какой форме представлены данные со спутника. Для расчетов необходимы данные в десятичной форме. Если информация представлена раздельно в градусах ( $D_{\text{dec}}, D$ ), минутах ( $M$ ), секундах ( $S$ ), то она должна быть преобразована в градусы по формуле

$$D_{\text{dec}} = D + \frac{M}{60} + \frac{S}{3600}.$$

Для большинства приемников и модулей GPS (Garmin, Navitel, смартфонов и др.), работающих по стандарту NMEA-0184, информация выдается в текстовом формате например, в виде: широта 02734.50963, долгота 5354.9707. Первые 3 (2) символа (02753) соответствуют градусам, начиная с 4-го (3-го) — минутам с секундами в десятичном виде. Для их преобразования требуется программно выделить их части и произвести расчет по формуле

$$D_{\text{dec}} = D + \frac{M + S}{60}.$$

Приблизительно расстояние можно определить следующим образом:

$$\begin{aligned} \text{lon\_m} &= 111\,320 \cdot D_{\text{dec lon}}, \\ \text{lat\_m} &= 111\,320 \cdot D_{\text{dec lat}} \end{aligned}$$

где  $\text{lon\_m}$  — получаемое значение долготы/Longitude, м;  $\text{lat\_m}$  — значение широты/Latitud, м;  $D_{\text{dec lon}}$  — угол долготы в градусах;  $D_{\text{dec lat}}$  — угол широты в градусах.

**2. Метод проекции Меркатора.** Метод проекции Меркатора, разработанный для морской навигации [8], базируется на использовании углов долготы, широты и радиуса Земли. Местоположение в метрах определяется следующими формулами:

$$\begin{aligned} X &= \alpha \cdot \text{lon}; \\ Y &= a \cdot \ln \left[ \tan \left( \left( \frac{\pi}{4} \right) + \frac{\text{lat}}{2} \right) \cdot \left( \frac{1 - e \cdot \sin(\text{lat})}{1 + e \cdot \sin(\text{lat})} \right)^{e/2} \right], \end{aligned}$$

где  $\text{lon}/\text{lat}$  — долгота/широта, рад;  $e$  — эксцентриситет эллипса Земли, м:

$$e^2 = 2 \cdot f - f_2^2,$$

где  $f$  — коэффициент сжатия Земли.

$$f = \frac{\alpha - b}{b},$$

где  $a, b$  — радиусы эллипсоида ( $a = 6\,378\,137,0$  м,  $b = 6\,356\,752,3142$  м).

Или можно выразить эксцентриситет  $e$  через полуоси:

$$e = \sqrt{1 - \left( \frac{b}{a} \right)^2}.$$

Для расчета использовались функции на C/C++, приведенные в работе [8].

**3. Метод по  $\cos$  угла.** В работе [9] предложено определять расстояние по следующим формулам:

$$\text{lon\_m} = \text{lon\_d} * (111412.84 \cdot (\cos(\lambda) - 93.5 \cdot \cos(3 \cdot \lambda) + 0.118 \cdot \cos(5 \cdot \lambda)));$$

$$\text{lat\_m} = \text{lat\_d} * (11132.92 - 559.82 \cdot \cos(2 \cdot \varphi) - 1.175 \cdot \cos(4 \cdot \varphi) - 0.0023 \cdot \cos(6 \cdot \varphi)),$$

где  $\lambda, \varphi$  — широта и долгота соответственно (см. рисунок 1 а), рад;  $\text{lon\_m}, \text{lat\_m}$  — получаемое значение расстояния широты и долготы, м.

**4. Метод коррекции углов, получаемых со спутника.** Метод коррекции углов [10, 11] базируется на том факте, что радиус Земли на экваторе составляет 6 378 137,0 м при соответствующей окружности 40 075 016,7 м. Экватор разделен на 360 градусов долготы. Таким образом каждый 1 градус на экваторе составляет 111 320 м. При перемещении от экватора к полюсу длина  $\text{lon\_m}$  уменьшается, приближаясь к нулю (таблица 3).

В работе [11] предлагается градусы долготы умножать на косинус широты. При сферической форме Земли радиус  $a = 6\,367\,449$  м при долготе  $\varphi$  соответствует  $a \cdot \cos \varphi$  и длина 1 градуса составляет

$$\Delta_{\text{lon}} = \frac{\pi}{180} \cdot \alpha \cdot \cos \varphi.$$

При рассмотрении Земли как эллипсоида, длину от одного градуса угла предлагается рассчитывать как

$$\Delta_{\text{lon}} = \frac{\pi \cdot \alpha \cdot \cos \varphi}{180 \sqrt{1 - e^2 \cdot \sin^2 \varphi}},$$

где  $e$  — эксцентриситет эллипсоида, равный

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \quad (b/a = 0,99664719).$$

Альтернативной является формула

$$\Delta_{\text{lon}} = \frac{\pi}{180} \cdot \alpha \cdot \cos \beta,$$

где  $\cos \beta = \frac{b}{a}$ ,  $\beta$  названа уменьшенной (или параметрической) широтой.

**5. Метод определения пройденного пути, продольного профиля дороги, его высоты и режима движения автомобиля по параметру скорости.**

Таблица 3 — Изменения переводных коэффициентов углов долготы от угла широты  
Table 3 — Changes in conversion coefficients of longitude angles from latitude angle

$\varphi$	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
$\Delta \text{lat}, \text{m}/\angle^\circ$	110 574	110 649	110 852	111 133	111 412	111 618	111 694
$\Delta \text{lon}, \text{m}/\angle^\circ$	111 320	107 551	96 486	78 847	55 800	28 902	0000

Предложенный в этой работе метод определения пройденного расстояния, продольного профиля дороги, его высоты и режима движения автомобиля базируется на регистрации параметров скорости и высоты движущегося объекта по дороге, получаемых с GNSS-приемника и последующих их математических преобразований. Использовано соответствие параметра скорости  $v$  пройденному пути ( $\Delta l = v \cdot f$ ) в единицу времени с учетом частоты квантования данных (в данном случае  $f = 1$  Гц, соответствующему шагу в 1 с) и суммировании их значений ввиду более высокой точности этого параметра (0,05 м/с). Значение скорости перемещения объекта в GPS выдается в виде миль/с. Для перевода в м/с это значение необходимо умножить на 0,5144.

**Приведение полученных данных к фиксированному шагу.** Оценка методов осуществлялась на основе данных, полученных на автомобиле, движущемся с переменной скоростью, т. к. сложно в условиях дорожного движения обеспечить постоянную скорость. Из-за этого шаг квантования по длине получается также переменным. Для приведения полученных данных к постоянному шагу в работе использовалась коррекция данных с помощью полинома Лагранжа 2-го порядка по 3 точкам [12] (погрешность 0,5 %):

$$y = L2(x) = (((x - x1) \cdot (x - x2)) / ((x0 - x1) \cdot (x0 - x2))) \cdot y0 + (((x - x0) \cdot (x - x2)) / ((x1 - x0) \cdot (x1 - x2))) \cdot y1 + (((x - x0) \cdot (x - x1)) / ((x2 - x0) \cdot (x2 - x1))) \cdot y2,$$

где  $x$  — рассчитываемое значение пути, м;  $x0$  — значение пути на 1 шаг меньше;  $x1$  — значение пути на 1 шаг больше;  $y$  — рассчитываемое значение пути, м;  $y0$  — значение пути на 1 шаг меньше;  $y1$  — значение пути на 1 шаг больше.

В дальнейшем при последующем их использовании и моделировании автомобиля на основе уже скорректированного массива данных применялся метод интерполяции CatMull-Rom [13] по 4 точкам при фиксированном шаге. Фрагмент программы на C/C++ приведен ниже:

$$\begin{aligned} n &= u = x/ts; t = u - n; t2 = t * t; \\ t3 &= t * t * t; P0 = rd[n - 1][1]; P1 = rd[n][1]; \\ P2 &= rd[n + 1][1]; P3 = rd[n + 2][1]; \\ h &= 0.5 * ((2 * P1) + (-P0 + P2) * t + \\ &+ (2 * P0 - 5 * P1 + 4 * P2 - P3) * t2 + \\ &+ (-P0 + 3 * P1 - 3 * P2 + P3) * t3), \end{aligned}$$

где  $x$  — текущее значение пути;  $n$  — целостное значение от деления  $x/ts$ ;  $u$  — десятичное значение от деления  $x/ts$ ;  $ts$  — шаг квантования мас-

сива (5 м);  $t, t2, t3$  — множители;  $P0, P1, P2, P3$  — полиномы CatMull-Rom;  $rd[]$ ,  $h$  — массив высот продольного профиля дороги.

**Результаты сравнения данных разных методов.** В виду того, что используются различные методы преобразования и базовые точки отсчета координат в СНГ (Пулковские координаты), а за рубежом (Гринвича и Экватора) предложено оценивать точность метода определяемого местоположения по получаемому расстоянию на 1 градус широты и долготы. В качестве примера взяты координаты Минска с GPS (5354.97907, 2734.50963). Выбор такого подхода сравнения обусловлен необходимостью упрощения практических расчетов при движении автомобиля, ВТ в военном деле с использованием карт и при расчете артиллерийской стрельбы. Как показывает обсуждение на геодезических форумах, при небольших изменениях относительных расстояний (до 475 км) при использовании рассмотренных методов на плоскости получаются примерно близкие относительные расстояния с разницей менее 1 м и с уменьшением расстояния точность увеличивается. Для поставленной в работе цели и расстояний до 100 км это приемлемо.

Это подтверждается проведенными в работе исследованиями. Такой подход может быть распространен и на другое местоположение в СНГ, для которого необходимо провести аналогичные расчеты и определить коэффициенты преобразования. Данные по приходящемуся расстоянию на 1 градус при разных методах приведены в таблице 4.

Как видно из таблицы 4, полученные результаты по этим методам значительно отличаются. Это связано с использованием различных систем базовых точек отсчета в СНГ и за рубежом в картографии, электронных картах и для спутников. Например, в СНГ все еще используются военные карты СК-42 и СК-95, построенные от геодезического пункта с фиксированными наземными и угловыми координатами (Пулковские координаты), а WGS84 (GPS) и ГСК-2011 построены в расчетах на эллипсоиде, центр которого совпадает с центром масс Земли. Из-за чего получаемые в них координаты (в градусах и метрах) отличаются. Сейчас в качестве единой государственной системы координат в СНГ для использования при осуществлении геодезических и картографических работ установлена геодезическая система координат ГСК-2011.

Таблица 4 — Расстояние долготы и широты приходящееся на 1 градус в разных методах  
Table 4 — Distance of longitude and latitude per 1 degree in different methods

Параметр	Метод					
	Геодезический, м	Меркатора, м	Эллипсоида Меркатора, м	Через cos(), м	По [6, п. 5.1.1], м	По [6, п. 5.4.1], м
lon, м	111320.0	111319.4908	111315.7357	20559.24032	52397.351	63215.443743
lat, м	111320.0	191318.22375	111320.0	112321.7866	98216.3796	112297.6195

Она предусматривает использование как пространственных координат по п. 5.1.1 [6], так и плоскостных по п. 5.4.1 [6].

Как видно из таблицы 4, параметры широты  $lat$  в большинстве методов разнятся между собой в пределах 1 % за исключением метода по п. 5.1.1 [6]. В отношении долготы параметры более значительно разнятся (от 20559,24032 до 191318,22375 м). Учитывая использование еще старых карт СК-42, СК-95, представляется более целесообразным использовать данные параметров, получаемые по формулам п. 5.4.1 ГОСТ 32453-2017 [6], который принят в Организации Договора о коллективной безопасности (ОДКБ). На территории Республики Беларусь при определении относительных расстояний и привязке к картам предложено пользоваться упрощен-

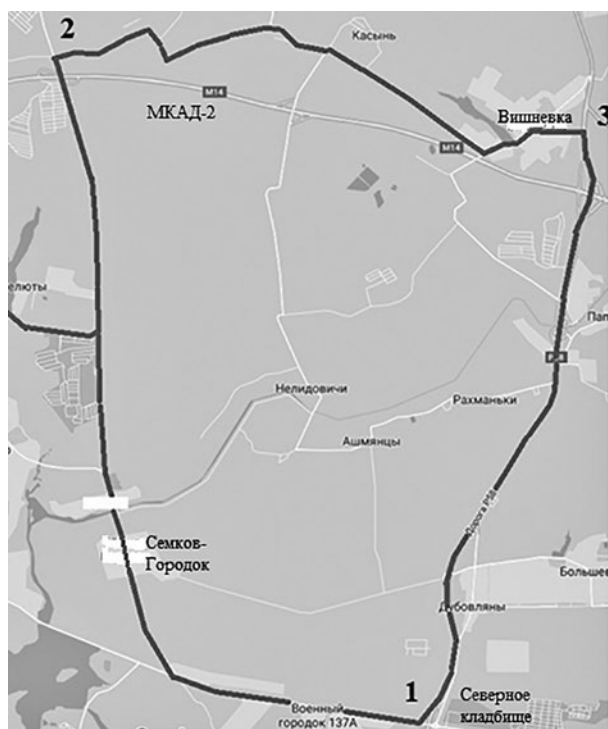


Рисунок 4 — Маршрут движения 1–2–3–1  
Figure 4 — Route 1–2–3–1

ной линейной формулой  $lat\_m = 112297,6196 \cdot D_{dec\ lat}$ ,  $lon\_m = 63215,444 \cdot D_{dec\ lon}$ . Данные коэффициенты получаются при изменении на 1 градус широты и долготы по формуле п. 5.4.1 [6] для координат Минска.

Определение пройденного расстояния и продольного профиля дороги на основе получаемых данных с модуля GPS GN-803G осуществлялось с помощью мини-компьютера Raspberry Pi 3b. Регистрация проводилась при движении автомобиля по замкнутому маршруту на дорогах различного качества [5], показанному на рисунке 4, с последующей обработкой записей программами на C/C++ на стационарном компьютере.

Дополнительно проведены замеры в условиях городского движения в Минске, показавшие пройденное расстояние 42363,7 и 29520,2 м соответственно для географического метода и по скорости при показании спидометра 29,9 км.

Результаты обработки данных при движении по маршруту сведены в таблицу 5. Как видно из таблицы 5, лучшее совпадение данных имеет место при оценке пройденного пути при суммировании значений пути, исходя из скорости (в м/с) с учетом частоты квантования (1 Гц), получаемой с GPS (расхождение 0,15 %). В остальных вариантах различие составляет 30–47 %. Причина такого различия заключается в малом шаге изменения квантования замеров (8–25 м), зависящем от скорости, при которых погрешность позиционирования модуля GPS GN-803G (1–2 м) начинает сказываться. При уменьшении шага (зависящего и от частоты квантования) точность ухудшается. Не случайно на автомобильных навигаторах используется частота 1 Гц, хотя их модули могут работать до 10 Гц.

Результаты свидетельствуют, что для использования на транспортных средствах, БЛА предпочтителен метод определения пройденного пути по скорости GPS. Для иллюстрации на рисунке 5 представлены графики изменения высоты профиля  $h$  и скорости движения  $v$  в зависимости от пройденного пути  $l$ .

Таблица 5 — Сравнение пройденного расстояния при различных методах определения пройденного пути  
Table 5 — Comparison of the distance covered with different methods of determining the path covered

Маршрут движения	Параметры точек		Пройденный путь на участках, м					
	Широта	Долгота	Вариант метода обработки					
			1	2	3	4	5	
1	Начало	02731.89508	5359.13900	15 827	21 786	18 121	17 244	12 657
	Конец	02727.16147	5404.20944					
2	Начало	02727.16163	5404.20891	13 466	15 554	26 551	14 695	8422
	Конец	02733.93791	5403.64511					
3	Начало	02733.95086	5403.60849	10 299	10 365	11 334	12 303	9073
	Конец	02731.83292	5359.12580					
Суммарный пройденный путь, м				39 592	47 705	39 706	44 142	30 152

Примечание: Суммарный пройденный путь составляет 30,2 и 31 км по электронной карте [4] и по электронному спидометру автомобиля соответственно. Варианты методов обработки 1, 2, 3, 4, 5 соответствуют методам, описанным в данной статье.

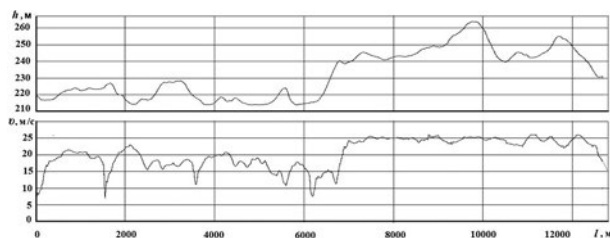


Рисунок 5 — Изменение высоты продольного профиля дороги  $h$  и скорости движения автомобиля  $v_a$  от пройденного пути  $l$   
 Figure 5 — Changing the altitude of the road longitudinal profile  $h$  and the car velocity  $v_a$  from the covered distance  $l$

Имеющие место экстремумы на графике скорости обусловлены резким изменением скорости при торможении перед переездом препятствий, при повороте дороги, перед мостом и медленно движущимся впереди автомобилем на подъеме, проезде населенных пунктов и отражают реальный режим движения. Полученные графики свидетельствуют о необходимости учета дорожных факторов при моделировании движения автомобиля.

По характеру изменения высоты дороги графики совпадают с данными работы [5] и по совокупности свидетельствуют о корректности примененного метода. Он может применяться и для систем ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou. Полученные данные по дорогам планируется использовать при моделировании движения штабных машин.

Предложенный метод получения продольного профиля дороги и режима движения автомобиля, ВТ по скорости на основе GPS позволяет более точно определять на стадии проектирования, проведения военных игр, моделирования и поддержки принятия решений действительные средние скорости, пройденный путь и другие технические показатели ТС.

**Заключение.** 1. Рассмотрены возможности и области применения GPS, проведена оценка точности определения местоположения и перемещения техники с помощью различных методов, предложен метод обработки данных и получения продольного профиля дороги, скорости (режима) движения автомобиля с помощью GPS (по параметрам скорости и высоте движущегося объекта на поверхности Земли).

2. Выявлено, что рассмотренные зарубежные методы определения местоположения дают значительные расхождения (до 2 раз), что связано с использованием различных систем базовых точек отсчета в СНГ и за рубежом, в т. ч. в картографии, электронных картах. При оценке пройденного пути по разности перемещений 2 точек проекций позиционирования и их суммирования при небольших шагах квантования (8–20 м, зависящих от скорости) рассмотренные методы также приводят к расхождению до 30–47 %.

3. Предложено на территории Республики Беларусь при определении относительных расстояний и привязке к картам пользоваться упрощенной линейной формулой  $lat\_m = 112297,6196 \cdot D_{dec\ lat}$   
 $lon\_m = 63215,444 \cdot D_{dec\ lon}$

4. Предложенный метод преобразования градусов в метры применим и для систем ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou.

5. Для получения продольного профиля дороги в зависимости от пройденного пути, режима перемещения автомобилей, ВТ, БЛА более корректным является использование данных GPS по скорости и высоте, обеспечивающих минимальную погрешность (0,15%), что подтверждается характером изменения  $h = f(l)$ ,  $v_a = f(l)$  и свидетельствует о корректности предложенного метода. Также при моделировании движения автомобиля необходимо учитывать дорожные факторы, влияющие на режим движения.

### Список литературы

1. The NMEA 0183 Protocol [Electronic resource]. — Mode of access: <https://www.tronico.fi/OH6NT/docs/NMEA0183.pdf>. — Date of access: 03.08.2021.
2. NMEA-GPS [Electronic resource]. — Mode of access: <https://github.com/craigpeacock/NMEA-GPS/blob/master/gps.c>. — Date of access: 03.08.2021.
3. Основы работы с GPS оборудованием [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://ispolnitelnaya-shema.ru/2018/02/28/instrukciya-po-rabote-s-gnss-gps-oborudovaniem>. — Дата доступа: 20.04.2021.
4. Карта для определения высоты местности и профиля высот [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.vhfdx.ru/karta-vyisot>. — Дата доступа: 24.12.2017.
5. Михайлов, В.Г. Компьютерное имитационное моделирование автомобиля / В.Г. Михайлов. — Минск: Беларус. навука, 2020. — 316 с.
6. Глобальная навигационная спутниковая система. Системы координат. Методы преобразования координат определяемых точек: ГОСТ 32453-2017. — Введ. 01.07.2018. — М.: Стандартиформ, 2017. — 19 с.
7. Исследования углов крена автомобиля при прохождении поворотов в зависимости от изменения его массы / В.С. Ершов [и др.] // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. — 2020. — № 4(26). — 12 с.
8. Mercator [Electronic resource]. — Mode of access: <https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Mercator>. — Date of access: 22.12.2020.
9. Geographic coordinate system [Electronic resource]. — Mode of access: [https://en.wikipedia.org/wiki/Geographic\\_coordinate\\_system](https://en.wikipedia.org/wiki/Geographic_coordinate_system). — Mode of access: 22.12.2020.
10. Latitude [Electronic resource] — Mode of access: [https://en.wikipedia.org/wiki/Latitude#Length\\_of\\_a\\_degree\\_of\\_latitude](https://en.wikipedia.org/wiki/Latitude#Length_of_a_degree_of_latitude). — Date of access: 24.02.2021.
11. Longitude [Electronic resource] — Mode of access: [https://en.wikipedia.org/wiki/Longitude#Length\\_of\\_a\\_degree\\_of\\_longitude](https://en.wikipedia.org/wiki/Longitude#Length_of_a_degree_of_longitude). — Date of access: 24.02.2021.
12. Волченко, Ю.М. Интерполяция функций [Электронный ресурс] / Ю.М. Волченко // Лекции с анимацией. — Режим доступа: <http://yura.volchenko.com/Education/Interpol.pdf>. — Дата доступа: 24.02.2021.
13. Catmull, E. A class of local interpolating splines / E. Catmull, R. Rom // Computer aided geometric design. — 1974. — Pp. 317–326. — DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-079050-0.50020-5>.



MISHUTA Dmitriy V., Ph. D. in Eng.

Director General<sup>1</sup>

E-mail: info@midivisana.by

MIKHAILOV Vladimir G., Ph. D. in Eng.

E-mail: sapr7@mail.ru

SIRAI Maksim V.

Head of the Military Unit<sup>2</sup>

E-mail: info@midivisana.by

<sup>1</sup>OOO "Midivisana", Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Ministry of Defence of the Republic of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

Received 04 August 2022.

## METHOD SELECTION OF DATA PROCESSING AND RECEIVING LONGITUDINAL PROFILE OF THE ROAD, VEHICLE MOVEMENT MODE USING GPS (GNSS RECEIVER)

The existing methods are analyzed for receiving and processing data from a GNSS receiver obtained on a moving car in the form of messages in degrees of latitude and longitude and converting them into meters. An accuracy assessment was carried out to determine the location and movement of machinery using various methods. The method is proposed for data processing and obtaining the longitudinal profile of the road, the car velocity (mode) using a GNSS receiver (according to the parameters of the velocity and altitude of a moving object on the surface of the Earth). It is revealed that the considered foreign methods of location determination in relation to the CIS give significant discrepancies (up to 2 times), which is associated with the use of various systems of reference points in the CIS and abroad, including in cartography, electronic maps. It is established that when estimating the distance covered by the difference in the displacements of two points of the positioning projections and their summation for small quantization increments (8–20 m, depending on velocity and frequency), the considered methods can lead to a discrepancy of up to 30–47%. It is proposed to use the simplified linear formula  $lat\_m = 112297,6196 \cdot D_{dec\ lat}$ ,  $lon\_m = 63215,444 \cdot D_{dec\ lon}$  in the territory of the Republic of Belarus when determining relative distances and linking to maps. It has been found that to obtain a longitudinal profile of the road, depending on the distance covered, the mode of movement of vehicles, military machinery, unmanned aerial vehicles, it is more correct to use GNSS receiver data on velocity and altitude, providing a minimum error (0.15%), which is confirmed by the nature of the change  $h = f(l)$ ,  $v_a = f(l)$  and indicates the correctness of the proposed method. Also, when modelling the car movement, it is necessary to take into account road factors affecting the driving mode.

**Keywords:** GPS, software, NMEA-0183, Raspberry Pi 3/4

DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2022-2-59-88-96>

### References

1. *The NMEA 0183 Protocol*. Available at: <https://www.tronico.fi/OH6NT/docs/NMEA0183.pdf> (accessed 03 August 2021).
2. *NMEA-GPS*. Available at: <https://github.com/craigpeacock/NMEA-GPS/blob/master/gps.c> (accessed 03 August 2021).
3. *Instruktsiya po rabote s GNSS/GPS oborudovaniem* [Instructions for working with GNSS/GPS equipment]. Available at: <http://ispolnitelnaya-shema.ru/2018/02/28/instruktsiya-po-rabote-s-gnss-gps-oborudovaniem> (accessed 20 April 2021) (in Russ.).
4. *Karta dlya opredeleniya vysoty mestnosti i profilya vysot* [Map for determining terrain altitude and elevation profile]. Available at: <http://www.vhfdx.ru/karta-vyisot> (accessed 24 December 2017) (in Russ.).
5. Mikhailov V.G. *Kompyuternoe imitatsionnoe modelirovanie avtomobilya* [Car computer simulation]. Minsk, Belorusskaya nauka Publ., 2020. 316 p. (in Russ.).
6. State Standard 32453-2017. *Globalnaya navigatsionnaya sputnikovaya sistema. Sistemy koordinat. Metody preobrazovaniy koordinat opredelyaemykh toчек* [Global navigation satellite system. Coordinate systems. Methods of transformations for determined points coordinates]. Moscow, Standartinform Publ., 2017. 19 p. (in Russ.).
7. Ershov V.S., Khamkov A.A., Akulov A.A., Shadrin S.S. Issledovaniya uglov krena avtomobilya pri prokhozhenii povorotov v zavisimosti ot izmeneniya ego massy [The car roll angles research when cornering in dependence on the change in its mass]. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*, 2020, no. 4 (in Russ.).
8. *Mercator*. Available at: <https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Mercator> (accessed 22 December 2020).
9. *Geographic coordinate system*. Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Geographic\\_coordinate\\_system](https://en.wikipedia.org/wiki/Geographic_coordinate_system) (accessed 22 December 2020).
10. *Latitude*. Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Latitude#Length\\_of\\_a\\_degree\\_of\\_latitude](https://en.wikipedia.org/wiki/Latitude#Length_of_a_degree_of_latitude) (accessed 24 February 2021).
11. *Longitude*. Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Longitude#Length\\_of\\_a\\_degree\\_of\\_longitude](https://en.wikipedia.org/wiki/Longitude#Length_of_a_degree_of_longitude) (accessed 24 February 2021).
12. Volchenko Yu.M. *Interpolyatsiya funktsiy* [Function interpolation]. Available at: <http://yura.volchenko.com/Education/Interpol.pdf> (accessed 24 February 2021) (in Russ.).
13. Catmull E., Rom R. A class of local interpolating splines. *Computer aided geometric design*, 1974, pp. 317–326. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-079050-0.50020-5>.