 © Авторы статьи / Authors of the article

ГЕОДЕЗИЯ/GEODESY

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.4 EDN: CJMBWF

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОРТАТИВНОГО ИСТОЧНИКА ПРЕДНАМЕРЕННЫХ РАДИОПОМЕХ НА ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПО СИГНАЛАМ ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ

Научная статья

Куприянов А.О.[1], Павлов С.М.[2,] *, Кузнецов Д.А.[3]
[1] ORCID : 0009-0008-9222-5579;
[2] ORCID : 0009-0007-7200-4739;
[3] ORCID : 0009-0006-0243-3557;
[1, 2, 3] Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (pavsem-geod[at]yandex.ru)

Предложена: 24.02.2026; Принята: 23.04.2026; Опубликована: 18.05.2026

Аннотация

В статье представлены результаты экспериментального исследования влияния портативного источника преднамеренных радиопомех на работоспособность современной спутниковой геодезической аппаратуры (СГА). Целью работы является определение реального радиуса эффективного воздействия устройства и сравнительный анализ информативности выходных метрик приёмника для детектирования маскирующей заградительной и имитационной помехи. Методика полевых испытаний предусматривала поэтапное сближение источника маскирующей заградительной помехи (EaglePro «Метель-PRO») с многочастотным геодезическим приёмником M68G на дистанциях от 400 до 0 м с непрерывной регистрацией параметров отношения сигнал/шум (SNR), кодово-фазовых псевдодальностей и расчётного параметра многолучевости. Установлено, что фактическая зона эффективного воздействия многократно превышает заявленные производителем 10 м: полный срыв слежения за сигналами L1/G1/E1/B1 фиксируется на дистанциях до 50 м, а деградация SNR и возникновение аномалий в измерительных данных наблюдаются вплоть до 200–400 м. Доказано, что соотношение сигнал/шум (SNR) не обеспечивает достоверного обнаружения воздействия на расстояниях свыше 100 м, оставаясь в пределах естественных флуктуаций. В качестве наиболее информативного индикатора предложен параметр многолучевости, демонстрирующий высокую чувствительность к фазовым искажениям приёмного тракта даже для частотных каналов, не являющихся прямой целью подавления. Экспериментально подтверждено, что многочастотная архитектура СГА не гарантирует устойчивости работоспособности при сближении с источником помех менее чем на 50 м, а на дистанциях 10–20 м приводит к необратимой деградации и полной потере навигационного решения независимо от количества используемых частотных диапазонов. Полученные данные обосновывают необходимость внедрения алгоритмов мониторинга многолучевости для раннего выявления маскирующей заградительной помехи, а также могут быть использованы при разработке протоколов защиты высокоточных геодезических измерений и совершенствовании помехоустойчивых приёмных трактов ГНСС-аппаратуры.

Ключевые слова: ГЛОНАСС, радиоподавление навигационных сигналов, jamming, маскирующая помеха, спутниковая геодезическая аппаратура.

AN EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF A PORTABLE SOURCE OF DELIBERATE JAMMING ON GEODETIC MEASUREMENTS USING SIGNALS FROM GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS

Research article

Kupriyanov A.O.[1], Pavlov S.M.[2,] *, Kuznetsov D.A.[3]
[1] ORCID : 0009-0008-9222-5579;
[2] ORCID : 0009-0007-7200-4739;
[3] ORCID : 0009-0006-0243-3557;
[1, 2, 3] Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russian Federation

* Corresponding author (pavsem-geod[at]yandex.ru)

Suggested: 24.02.2026; Accepted: 23.04.2026; Published: 18.05.2026

Abstract

The article presents the results of an experimental study of the impact of a portable source of deliberate radio jamming on the performance of modern satellite geodetic equipment (SGE). The aim of the research is to determine the actual effective range of the device and to conduct a comparative analysis of the information content of the receiver’s output metrics for detecting masking, blocking and simulated interference. The field test methodology included a step-by-step approach to moving the source of masking jamming (EaglePro "Metel-PRO") to the M68G multi-frequency geodetic receiver at distances ranging from 400 m to 0 m, with continuous recording of the signal-to-noise ratio (SNR), code-phase pseudo-ranges and the calculated multipath parameter. It has been established that the actual effective range of influence exceeds the manufacturer’s stated 10 m many times over: a complete loss of tracking of the L1/G1/E1/B1 signals is recorded at distances of up to 50 m, while SNR degradation and the occurrence of anomalies in the measurement data are observed up to 200–400 m. It was proven

 © Авторы статьи / Authors of the article

that the signal-to-noise ratio (SNR) does not ensure reliable detection of interference at distances exceeding 100 m, remaining within the range of natural fluctuations. The parameter of multipath propagation is suggested as the most informative indicator, demonstrating high sensitivity to phase distortions in the receiving path even for frequency channels that are not the direct target of suppression. Experiments have confirmed that the multi-frequency architecture of the SGE does not guarantee operational stability when approaching an interference source at a distance of less than 50 m, and at distances of 10–20 m leads to irreversible degradation and complete loss of the navigation solution, regardless of the number of frequency bands used. The obtained data substantiate the need to implement multipath monitoring algorithms for the early detection of masking interference, and may also be used in the development of protocols for the protection of high-precision geodetic measurements and the improvement of interference-resistant receiver paths in GNSS equipment.

Keywords: GLONASS, jamming of navigation signals, jamming, masking interference, satellite surveying instruments.

Введение

Спутниковые навигационные системы (ГНСС) являются критически важным элементом современной инфраструктуры, обеспечивая функционирование геодезического производства, беспилотных авиационных систем, транспорта и систем синхронизации времени. Однако в настоящее время наблюдается рост количества инцидентов, связанных со сбоями в работе спутниковой геодезической и навигационной аппаратуры. Основная причина данного явления — широкое распространение устройств преднамеренного подавления спутниковых навигационных сигналов. В публицистической и научной литературе такие средства часто обозначаются терминами «глушилки» или «джаммеры» (от англ. jammers) [1], [2], [3]. Несмотря на законодательные ограничения на оборот специальных технических средств, данные устройства доступны на рынке радиоэлектронной техники. При этом заявленные в паспортах технические характеристики часто не соответствуют реальным условиям распространения радиоволн на местности [4]. Их неконтролируемое использование приводит к сбоям в работе приемной аппаратуры, потере точности позиционирования и полному отказу навигационного поля [5].

На текущем этапе в гражданском сегменте представлен широкий спектр технических средств, предназначенных для формирования помеховой обстановки. Классификация данных устройств по характеру воздействия на навигационное поле (НАП) выделяет два основных класса: средства создания маскирующих заградительных (jamming) и имитационных помех (spoofing). Принцип их действия заключается в формировании шумового излучения, спектральная ширина которого превышает полосу пропускания приемного тракта целевой аппаратуры. Это обеспечивает подавление полезного сигнала по мощности во всем рабочем частотном диапазоне, снижая отношение сигнал/шум ниже порога обнаружения [6]. Преимущественное использование средств постановки маскирующих заградительных помех обусловлено следующими факторами:

1. Данный вид помех создает шумовой фон, затрудняющий или делающий невозможным обнаружение полезного навигационного сигнала [7].

2. Заградительный тип помех воздействует на широкий диапазон частот одновременно, создавая обширный квазибелый шумовой фон, который охватывает множество каналов или весь спектр, используемый системами ГНСС [8], [9].

3. Данные устройства не требуют точной информации о параметрах целевой системы, что делает их универсальными, так как вся необходимая информация для формирования спектра находится в открытых источниках [10].

При этом влияние на геодезическое производство вырежется в снижении точности позиционирования и увеличения трудозатрат: заградительные помехи срывают фазовые слежения, делая невозможным выполнение работ в режиме статика и кинематика, а имитирующие — создают риск полной отбраковки выполненных наблюдений уже на камеральном этапе [11]. В следствии чего инженерам приходится выполнять повторные измерения и при этом применять альтернативные традиционные методы, что существенно повышает себестоимость работ.

В научной литературе представлено значительное количество работ, посвященных как моделированию воздействия помех на приемники ГНСС, так и полевым испытаниям [12], [13], [14]. Однако большинство исследований ограничивается анализом изначальных сигналов L1 C/A группировки GPS или L1 ГЛОНАСС [12], [15]. Теоретически, архитектура современных многочастотных приемников ГНСС, поддерживающих сигналы различных частотных диапазонов (G3, E5a+b, E6, B2I/b, B2a, B3 и др.), должна обеспечивать повышенную устойчивость к помеховым воздействиям за счет частотного разделения. Предполагается, что такие приемники сохранят работоспособность при воздействии маскирующих заградительных помех, локализованных в узких частотных полосах (например, исключительно в диапазонах L1 GPS и ГЛОНАСС), благодаря возможности обработки сигналов на незатронутых частотных каналах. Однако эмпирическая база, описывающая поведение приемной аппаратуры в условиях воздействия доступных коммерческих средств постановки помех, остается недостаточной. Вопросы проведения полевых экспериментов на современных модулях с задействованием полного спектра доступных систем и сигналов изучены фрагментарно. Определение достоверных метрик обнаружения маскирующих заградительных и имитационных помех является необходимым условием для обеспечения безопасности высокоточных измерений.

Вследствие этого целью данного исследования является экспериментальная оценка радиуса воздействия устройства подавления сигналов ГНСС на современную спутниковую геодезическую аппаратуру (СГА) и сравнительный анализ информативности различных метрик сигнала для обнаружения влияния воздействия вредоносного помехового сигнала.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Проведение полевого эксперимента с поэтапным сближением источника помех к приемнику сигналов ГНСС на дистанции от 400 до 0 метров.

2. Сравнительный анализ устойчивости сигналов навигационных группировок ГЛОНАСС, GPS, Галилео, BeiDou.

 © Авторы статьи / Authors of the article

3. Оценка степени подавления сигналов устройством глушения в зависимости от расстояния.

4. Оценка информативности параметров многолучевости и соотношения сигнал/шум (SNR) для детектирования факта подавления.

Методы и принципы исследования

Для проведения полевых экспериментальных исследований воздействия маскирующих заградительных помех на спутниковую геодезическую аппаратуру (СГА) была применена методика, реализуемая в условиях статичного расположения источника помех в одной горизонтальной плоскости с антенной СГА при разности высот между фазовыми центрами антенн не более 1 м. Содержание методики заключается в следующей последовательности действий:

1. Средство постановки помех (СПП) устанавливается в начале эксперимента на расстоянии 400 метров от СГА.
2. Начинается сеанс статических наблюдений на СГА, записывается 10 минут наблюдений без влияния помех.
3. Производится трансляция маскирующей помехи продолжительностью 3 минуты.
4. В течение следующих 3 минут СПП перемещается на 50 метров ближе к СГА (на расстояние 350 метров).
5. Действия 3 и 4 повторяются вплоть до достижения расстояния в 50 метров. После завершения трансляции помех на последней точке записывается 10 минут наблюдений без влияния помех.

Рисунок 1 - Схема проведения эксперимента
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.4.1

Разбивочные работы по точкам установки устройства подавления выполнялись с использованием электронного тахеометра SOUTH NTS 362R6. Закрепление точек осуществлялось с помощью временных геодезических знаков, точность взаимного положения которых обеспечивалась в пределах 1см.

В качестве средства постановки маскирующих помех использовался подавитель сигналов EaglePro Метель-PRO, технические характеристики устройства представлены в таблице 1, внешний вид устройства на рисунке 2.

Рисунок 2 - Подавитель сигналов EaglePro Метель-PRO
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.4.2

Таблица 1 - Технические характеристики подавителя сигнала EaglePro Метель-PRO

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.4.3

Характеристика	Значение
Заявленный радиус действия	10 метров
Габариты	135x76x35 мм

 © Авторы статьи / Authors of the article

Характеристика	Значение
Количество каналов	6
Заявленные подавляемые частоты	GSM 925 — 965 МГц, DCS/PHS 1805 МГц — 1880 МГц, 3G 2110 МГц — 2170 МГц, GPS и ГЛОНАСС 1500 МГц — 1610 МГц, 4G 2620 МГц — 2690 МГц, WiFi и Bluetooth 2400 — 2500 МГ
Тип помех	непрерывный
Тип сигнала	Маскирующий, заградительный

Выбор устройства подавления EaglePro «Метель-PRO» обусловлен его репрезентативностью для моделирования типовых угроз в гражданском сегменте. Спектральные характеристики устройства (диапазон 1500–1610 МГц) охватывают основные навигационные частоты L1 систем GPS и ГЛОНАСС, что коррелирует с частотным диапазоном наиболее массовых навигационных потребителей, включая смартфоны, автомобильные навигаторы и беспилотные системы [16], [17].

Для современной спутниковой геодезической аппаратуры использование источника помех с фиксированным спектральным охватом позволяет экспериментально оценить эффективность механизмов частотной селективности. Работоспособность многочастотного приемника в указанных условиях должна обеспечиваться за счет использования сигналов частотных каналов (GPS L2C, L2P (Y), L5; BDS B2I, B3I, B2a, B2b; ГЛОНАСС G2, G3; Galileo E5a, E5b, E6), находящихся вне полосы эффективного излучения СПП.

В качестве СГА использовался M68G, основные технические характеристики устройства представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Технические характеристики спутниковой геодезической аппаратуры M68G

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.4.4

Характеристика	Значение
принимаемые сигналы от навигационных систем	GPS L1C/A, L1C, L2C, L2P (Y), L5; BDS B1I, B2I, B3I, B1C, B2a, B2b; ГЛОНАСС G1, G2, G3; Galileo E1, E5a, E5b, E6; QZSS L1C/A, L1C, L2C, L5; NavIC L5; SBAS L1C/A
OEM модуль	Unicorecomm UM980

Для анализа влияния глушения и подмены радионавигационных сигналов на результаты наблюдений глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) используется программа анализа влияния глушения и подмены радионавигационных сигналов на результат наблюдений ГНСС [18]. Для оценки целостности параметров ГНСС-наблюдений, качества и полноты измерительной информации использовалась программа анализа качества измерительной информации ГНСС измерений [19].

Обработка измерительной информации включала анализ следующих параметров: отношения сигнал/шум (C/N_0), погрешностей многолучевости [20], кодовых псевдодальностей и измерений несущей фазы, а также статуса слежения за спутниками и количества доступных навигационных сигналов.

Обсуждение

Проведенный анализ экспериментальных исследований позволил интерпретировать ряд метрик обнаружения воздействия заградительного маскирующего сигнала на работу спутниковой геодезической аппаратуры.

В ходе экспериментов установлено, что работоспособность приема навигационных сигналов частот L1 ГЛОНАСС и GPS существенно снижается при включении источника маскирующей заградительной помехи. Частота разрывов слежения за навигационным сообщением напрямую коррелирует с удаленностью средства постановки помех (СПП) (см. рисунок 3, 4).

 © Авторы статьи / Authors of the article

Однако фактическая зона эффективного воздействия превысила заявленные в технической документации значения (10 м): полное подавление сигнала наблюдалось на расстоянии до 50 м, частичное — до 200 м. Устойчивость приема сигналов напрямую зависит от угла возвышения спутников и, следовательно, от мощности полезного сигнала на входе навигационной аппаратуры потребителя.

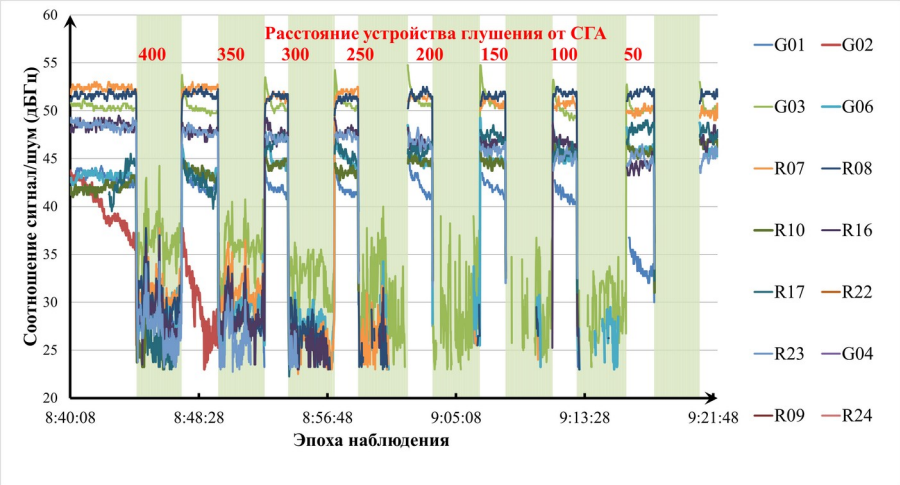

Рисунок 3 - График Соотношения сигнал/шум по частоте L1 спутниковых группировок GPS и ГЛОНАСС
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.4.5

Экспериментальные данные показывают, что детектирование маскирующей заградительной помехи по соотношению сигнал/шум (SNR) эффективно лишь на близких дистанциях (до 50 м) или при прямом воздействии на конкретный сигнал (более 400 м). В остальных случаях изменение SNR для незаглушаемых сигналов остаётся в пределах естественных флуктуаций, что затрудняет автоматическое обнаружение атаки по энергетическим критериям (см. рисунок 4).

Для повышения надёжности предлагается анализировать многолучевость для всех навигационных сигналов, которые находятся не под действием целевого воздействия заградительного маскирующего сигнала. Параметр многолучевости, определяемый на основе линейной комбинации кодовых и фазовых псевдодальностей на двух несущих частотах с последующим временным усреднением для исключения фазовой неоднозначности и аппаратных задержек [21], демонстрирует высокую чувствительность к фазовым искажениям в приёмном тракте. Это позволяет выявлять помеху по всей совокупности сигналов даже при стабильном SNR, так как широкополосная помеха влияет на общие цепи приёмника.

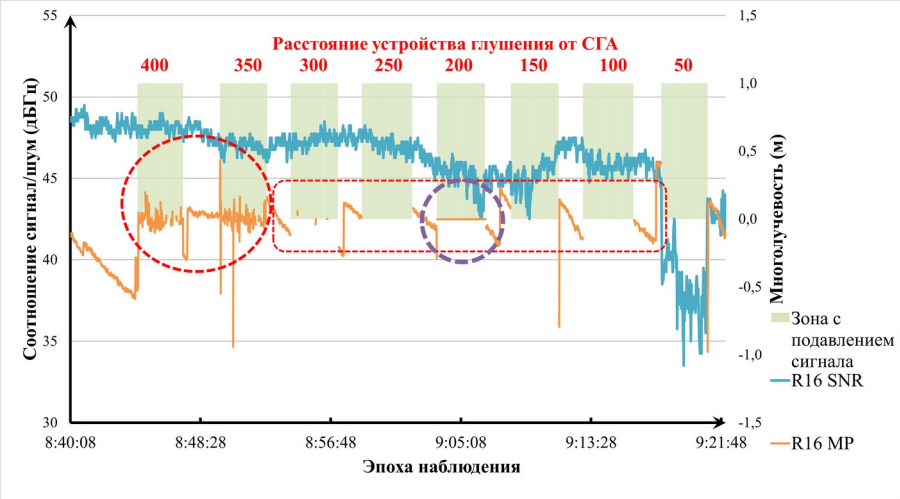

Рисунок 4 - График многолучевости и соотношения сигнал/шум спутника R16 сигнала L2 ГЛОНАСС
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.4.6

При этом анализ временных рядов многолучевости показал, что при воздействии помех наблюдаются их характерные изменения (см. рисунки 5, 6). Значения многолучевости изменяются скачкообразно: разность значений между соседними эпохами наблюдений в режиме подавления превышает 1 м. Данный эффект наблюдается как в начале воздействия, так и в процессе подавления, а также после выключения подавителя. Начиная с расстояния 300 метров, фиксируется значительное увеличение количества пропусков в расчёте параметра из-за временной потери

 © Авторы статьи / Authors of the article

фазовой синхронизации. Кроме того, в отдельных случаях наблюдается аномальная стабильность: значения многолучевости фиксируются на одном уровне, что указывает на сбой в работе алгоритма оценки (см. рисунок 4, выделено фиолетовым пунктиром).

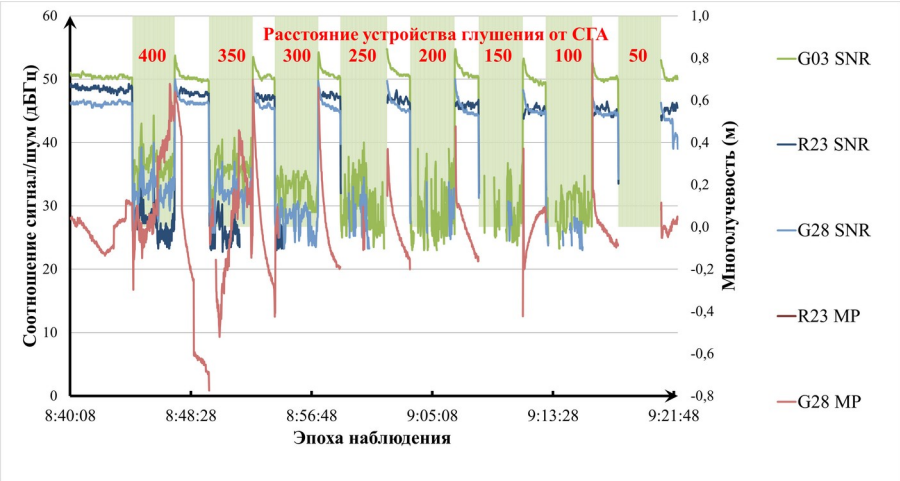

Рисунок 5 - График многолучевости и соотношения сигнал/шум спутников GPS и ГЛОНАСС сигнала L1
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.4.7

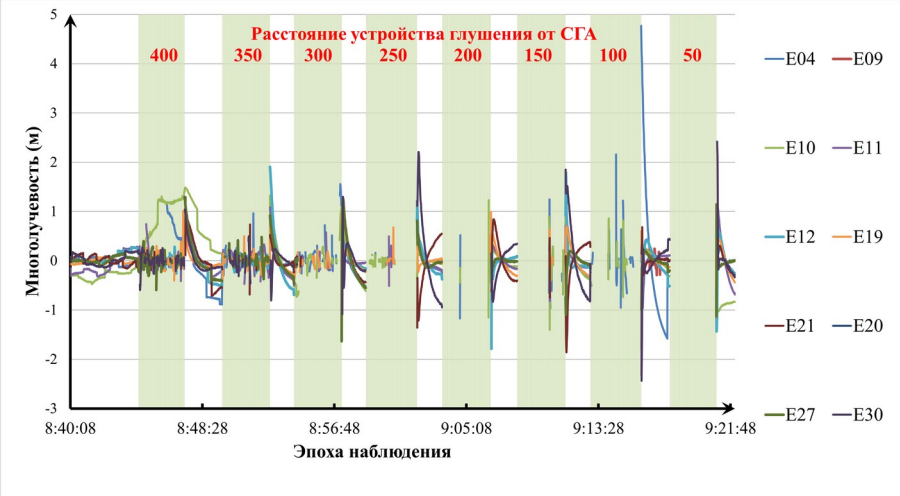

Рисунок 6 - График многолучевости спутниковой группировки Галилео сигнала E1
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.4.8

Экспериментально установлено, что сигналы диапазонов L1 (GPS), G1 (ГЛОНАСС), E1 (Galileo) и B1I/B1C (BeiDou) подверглись полному подавлению на дистанции 50 м. Для современных частот (L5, E5a/E5b, B2a/B2b) срыв слежения фиксировался исключительно на этой же дистанции, однако влияние маскирующей заградительной помехи на соотношение сигнал/шум наблюдалось вплоть до 200 м, где регистрировались характерные искажения. На дистанциях менее 50 м для современных сигналов отмечена значительная деградация значения соотношения сигнал/шум, а также полное прекращение приема части спутников (см. рисунок 7).

Данная закономерность характерна абсолютно для всех современных сигналов спутниковых систем. Таким образом, можно сделать вывод, что даже многочастотное разделение не способно полностью обеспечить устойчивость оборудования к влиянию преднамеренных помех на смежных частотах. Сближение на расстояние менее 50 м с источником помехи может привести к отказу навигационного обеспечения вследствие воздействия маскирующей заградительной помехи, при этом при подходе вплотную к источнику подавления (менее 10–20 м) деградация сигналов всех частотных диапазонов носит необратимый характер и приводит к полной потере навигационного решения независимо от количества используемых частотных каналов.

 © Авторы статьи / Authors of the article

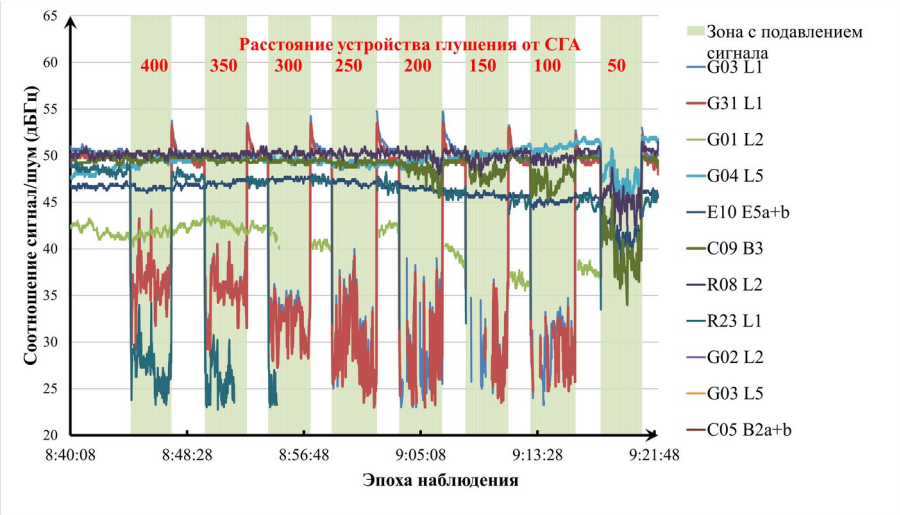

Рисунок 7 - График соотношений сигнал шум для различных спутниковых группировок и частот
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.4.9

Заключение

По результатам проведенных экспериментальных исследований влияния устройства подавления сигналов ГНСС на спутниковую геодезическую аппаратуру можно сделать следующие выводы:

1. Экспериментально подтверждено, что реальный радиус эффективного воздействия устройства подавления значительно превышает заявленные производителем 10 метров. Деградация качества сигнала, потеря части спутников и аномалии в метриках SNR и многолучевости фиксируются на дистанциях до 200–400 м в условиях прямой видимости.

2. Параметр отношения сигнал/шум не обеспечивает достоверного детектирования воздействия маскирующей заградительной помехи на дистанциях свыше 100 м, так как может оставаться в пределах естественных флуктуаций. Наиболее информативным признаком воздействия является анализ параметра многолучевости, определяемого на основе линейной комбинации кодовых и фазовых псевдодальностей: он демонстрирует высокую чувствительность к фазовым искажениям в приёмном тракте даже для сигналов, не являющихся прямой целью подавления.

3. Сигналы в диапазонах L1 (GPS), G1 (ГЛОНАСС), E1 (Galileo), B1I/B1C (BeiDou) подвергались полному подавлению на дистанции около 50 м, тогда как сигналы современных диапазонов (L5, E5a/E5b, B2a/B2b) сохраняли слежение на больших расстояниях. Однако влияние помехи на соотношение сигнал/шум для современных частот наблюдалось вплоть до 200 м, а на дистанциях менее 50 м фиксировались значительная деградация SNR и периодические срывы слежения.

4. Использование многочастотной аппаратуры позволяет повысить устойчивость за счёт переключения на «незаглушенные» частотные каналы (L5, E5, B2), однако не гарантирует полную защиту. Сближение на расстояние менее 50 м с источником помехи может привести к отказу навигационного обеспечения вследствие воздействия на смежных частотах, при этом подход вплотную к источнику подавления приводит к полной потере навигационного решения независимо от количества используемых частотных диапазонов.

Полученные результаты справедливы для подавителей гражданского класса с фиксированным набором частот. Для комплексной оценки помехозащищённости современных навигационных сигналов требуется проведение дополнительных экспериментов с использованием широкополосных источников помех, охватывающих весь спектр навигационных частот (включая L5, E5, B2).

В дальнейшем планируется провести сравнительный анализ устойчивости различных видов спутниковой геодезической аппаратуры к воздействию средств постановки помех, охватывающих весь спектр частот ГНСС (включая L5, E5, B2). Такой подход позволит исключить влияние спектральных ограничений источника воздействия и оценить универсальность выявленных закономерностей для разных типов приёмников.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Коломенский К.Ю. Методы подавления помех при приеме сигналов глобальных навигационных спутниковых систем на основе обработки сигналов во временной, частотной и частотно-временной областях / К.Ю. Коломенский //

 © Авторы статьи / Authors of the article

Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. — 2025. — Т. 28. — № 4. — С. 6–24. — DOI: 10.32603/1993-8985-2025-28-4-6-24.

2. Бердюгин-Малиновский Д.А. Виды навигационных имитирующих помех и методы борьбы с ними / Д.А. Бердюгин-Малиновский, С.Н. Шабунин // Вестник УрФО. Безопасность в информационной сфере. — 2025. — Т. 3. — № 57. — С. 5–16.

3. Ривкин Б.С. Навигация без GPS за рубежом / Б.С. Ривкин // Гироскопия и навигация. — 2024. — Т. 32. — № 1 (124). — С. 115–142.

4. Coffed J. The Threat of GPS Jamming: The Risk to an Information Utility / J. Coffed. — URL: http://www.exelisinc.com/solutions/signalsentry/Documents/ThreatOfGPSJamming_February2014.pdf (accessed: 24.02.2026).

5. Mitch R.H. Signal characteristics of civil GPS jammers / R.H. Mitch, R.B. Harris, R. Keegan [et al.] // Proceedings of the 24th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS 2011). — 2011. — P. 1907–1919.

6. Соловьев Ю.А. Системы спутниковой навигации / Ю.А. Соловьев. — Москва: Эко-Трандз, 2000.

7. Камнев Е.А. Радиоподавление помехозащищенной навигационной аппаратуры потребителей спутниковых радионавигационных систем в интересах объектово-территориальной защиты : дис. ... канд. техн. наук / Камнев Евгений Анатольевич. — Москва: МАИ (НИУ), 2018. — 160 с.

8. Ефименко В.С. Характеристики приема сигналов ГНСС в условиях негауссовских помех / В.С. Ефименко, В.Н. Харисов, Д.Н. Ворончихин // Радиотехника. — 2015. — № 12. — С. 95–100.

9. Arribas J. Multi-antenna techniques for interference mitigation in GNSS signal acquisition / J. Arribas, C. Fernández-Prades, P. Closas // EURASIP Journal on Advances in Signal Processing. — 2013. — Vol. 2013. — P. 1–9. — DOI: 10.1186/1687-6180-2013-143.

10. Spot and barrage jamming: a training solution for military and homeland security qualification // SkyRadar. — URL: https://www.skyradar.com/blog/spot-and-barrage-jamming-a-training-solution-for-military-and-homeland-security-qualification-videos (accessed: 24.02.2026).

11. Saajasto M. Effects of prolonged GNSS jamming on a continuously operating monitoring station / M. Saajasto, H. Kuusniemi, H. Leppäkoski [et al.] // Journal of Location Based Services. — 2025. — P. 1–16. — DOI: 10.1080/17489725.2025.2456789.

12. Elghamrawy H. Experimental evaluation of the impact of different types of jamming signals on commercial GNSS receivers / H. Elghamrawy, M. Elhabiby, A. El-Rabbany [et al.] // Applied Sciences. — 2020. — Vol. 10. — № 12. — P. 4240. — DOI: 10.3390/app10124240.

13. Bažec M. Evaluating the vulnerability of several geodetic GNSS receivers under chirp signal L1/E1 jamming / M. Bažec, F. Dimc, P. Pavlovčič-Prešeren // Sensors. — 2020. — Vol. 20. — № 3. — P. 814. — DOI: 10.3390/s20030814.

14. Marata L. Trends and Challenges in Next-Generation GNSS Interference Management / L. Marata, B. Motella, M. Pini [et al.] // arXiv preprint arXiv:2510.27576. — 2025.

15. Зырьянов А.Р. Исследование радиуса действия подавителя сигналов ГНСС экспериментальным методом / А.Р. Зырьянов, И.Ф. Бадамшин // Вестник ПНИПУ. — 2023. — № 2. — С. 45–53.

16. Smartphone-based GNSS Positioning — Today and Tomorrow // Inside GNSS. — 2021. — URL: https://insidegnss.com/smartphone-based-gnss-positioning-today-and-tomorrow/ (accessed: 24.02.2026).

17. Novák A. Global navigation satellite systems signal vulnerabilities in unmanned aerial vehicle operations: Impact of affordable software-defined radio / A.Novák, E. Grešová, P. Beňo [et al.] // Drones. — 2024. — Vol. 8. — № 3. — P. 109. — DOI: 10.3390/drones8030109.

18. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025691473 Российская Федерация. Программа анализа влияния глушения и подмены радионавигационных сигналов на результат наблюдений ГНСС / Куприянов А.О., Леве Д.Е., Морозов Д.А. [и др.]; заявитель Московский государственный университет геодезии и картографии. — заявл. 28.10.2025; опубл. 14.11.2025. — URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=84128671 (дата обращения: 24.02.2026). — EDN: YJKIPK.

19. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025690576 Российская Федерация. Программа анализа качества измерительной информации ГНСС измерений / Куприянов А.О., Морозов Д.А., Леве Д.Е. [и др.]; заявитель Московский государственный университет геодезии и картографии. — заявл. 28.10.2025; опубл. 10.11.2025. — URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=84127124 (дата обращения: 24.02.2026). — EDN: THAMJU.

20. Куприянов А.О. Разработка алгоритма анализа переотражений навигационного сигнала для изучения влияния многолучёвости на ГНСС-измерения / А.О. Куприянов, Ю.М. Нейман, Д.А. Морозов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. — 2017. — № 6. — С. 41–44.

21. Косарев Н.С. Оценка многолучевости ГНСС-измерений с помощью программного продукта открытого доступа / Н.С. Косарев // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. — 2025. — Т. 69. — № 4. — С. 8–20. — DOI: 10.30533/GiA-2025-035. — EDN: CBKAMW.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kolomenskij K.Yu. Metody podavleniya pomekh pri prieme signalov global'nykh navigatsionnykh sputnikovykh sistem na osnove obrabotki signalov vo vremennoj, chastotnoj i chastotno-vremennoj oblastyakh [Methods of interference suppression in receiving signals of global navigation satellite systems based on signal processing in time, frequency and time-frequency domains] / K.Yu. Kolomenskij // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij Rossii. Radioelektronika [Proceedings of Higher Educational Institutions of Russia. Radio Electronics]. — 2025. — Vol. 28. — № 4. — P. 6–24. — DOI: 10.32603/1993-8985-2025-28-4-6-24. [in Russian]

 © Авторы статьи / Authors of the article

2. Berdyugin-Malinovskij D.A. Vidy navigacionnykh imitiruyushchikh pomekh i metody bor'by s nimi [Types of navigation spoofing signals and methods of counteraction] / D.A. Berdyugin-Malinovskij, S.N. Shabunin // Vestnik UrFO. Bezopasnost' v informacionnoj sfere [Bulletin of the Ural Federal District. Information Security]. — 2025. — Vol. 3. — № 57. — P. 5–16. [in Russian]

3. Rivkin B.S. Navigaciya bez GPS za rubezhom [Navigation without GPS abroad] / B.S. Rivkin // Giroskopiya i navigaciya [Gyroscopy and Navigation]. — 2024. — Vol. 32. — № 1 (124). — P. 115–142. [in Russian]

4. Coffed J. The Threat of GPS Jamming: The Risk to an Information Utility / J. Coffed. — URL: http://www.exelisinc.com/solutions/signalsentry/Documents/ThreatOfGPSJamming_February2014.pdf (accessed: 24.02.2026).

5. Mitch R.H. Signal characteristics of civil GPS jammers / R.H. Mitch, R.B. Harris, R. Keegan [et al.] // Proceedings of the 24th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS 2011). — 2011. — P. 1907–1919.

6. Solov'ev Yu.A. Sistemy sputnikovoj navigacii [Satellite navigation systems] / Yu.A. Solov'ev. — Moscow: Eko-Trandz, 2000. [in Russian]

7. Kamnev E.A. Radiopodavlenie pomekhozashchishchennoj navigacionnoj apparatury potrebitelej sputnikovykh radionavigacionnykh sistem v interesakh ob"ektovo-territorial'noj zashchity [Radio suppression of interference-protected navigation equipment of satellite radionavigation system users for object-territorial protection]: diss. ... PhD in Tech. Sciences / Kamnev Evgeny Anatolyevich. — Moscow: MAI (NIU), 2018. — 160 p. [in Russian]

8. Efimenko V.S. Kharakteristiki priema signalov GNSS v usloviyakh negaussovskikh pomekh [Characteristics of GNSS signal reception under non-Gaussian interference conditions] / V.S. Efimenko, V.N. Kharisov, D.N. Voronchikhin // Radiotekhnika [Radio Engineering]. — 2015. — № 12. — P. 95–100. [in Russian]

9. Arribas J. Multi-antenna techniques for interference mitigation in GNSS signal acquisition / J. Arribas, C. Fernández-Prades, P. Closas // EURASIP Journal on Advances in Signal Processing. — 2013. — Vol. 2013. — P. 1–9. — DOI: 10.1186/1687-6180-2013-143.

10. Spot and barrage jamming: a training solution for military and homeland security qualification // SkyRadar. — URL: https://www.skyradar.com/blog/spot-and-barrage-jamming-a-training-solution-for-military-and-homeland-security-qualification-videos (accessed: 24.02.2026).

11. Saajasto M. Effects of prolonged GNSS jamming on a continuously operating monitoring station / M. Saajasto, H. Kuusniemi, H. Leppäkoski [et al.] // Journal of Location Based Services. — 2025. — P. 1–16. — DOI: 10.1080/17489725.2025.2456789.

12. Elghamrawy H. Experimental evaluation of the impact of different types of jamming signals on commercial GNSS receivers / H. Elghamrawy, M. Elhabiby, A. El-Rabbany [et al.] // Applied Sciences. — 2020. — Vol. 10. — № 12. — P. 4240. — DOI: 10.3390/app10124240.

13. Bažec M. Evaluating the vulnerability of several geodetic GNSS receivers under chirp signal L1/E1 jamming / M. Bažec, F. Dimc, P. Pavlovčič-Prešeren // Sensors. — 2020. — Vol. 20. — № 3. — P. 814. — DOI: 10.3390/s20030814.

14. Marata L. Trends and Challenges in Next-Generation GNSS Interference Management / L. Marata, B. Motella, M. Pini [et al.] // arXiv preprint arXiv:2510.27576. — 2025.

15. Zyryanov A.R. Issledovanie radiusa deystviya podavitelya signalov GNSS eksperimental'nym metodom [Experimental study of the range of GNSS signal jammer] / A.R. Zyryanov, I.F. Badamshin // Vestnik PNIPU [Bulletin of PNRPU]. — 2023. — № 2. — P. 45–53. [in Russian]

16. Smartphone-based GNSS Positioning — Today and Tomorrow // Inside GNSS. — 2021. — URL: https://insidegnss.com/smartphone-based-gnss-positioning-today-and-tomorrow/ (accessed: 24.02.2026).

17. Novák A. Global navigation satellite systems signal vulnerabilities in unmanned aerial vehicle operations: Impact of affordable software-defined radio / A.Novák, E. Grešová, P. Beňo [et al.] // Drones. — 2024. — Vol. 8. — № 3. — P. 109. — DOI: 10.3390/drones8030109.

18. Certificate of state registration of computer program No. 2025691473 Russian Federation. Programma analiza vliyaniya glusheniya i podmeny radionavigacionnykh signalov na rezul'tat nablyudenij GNSS [Program for analyzing the impact of jamming and spoofing of radionavigation signals on GNSS observation results] / Kupriyanov A.O., Leve D.E., Morozov D.A. [et al.]; applicant Moscow State University of Geodesy and Cartography. — appl. 28.10.2025; publ. 14.11.2025.— URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=84128671 (accessed: 24.02.2026). — EDN: YJKIPK. [in Russian]

19. Certificate of state registration of computer program No. 2025690576 Russian Federation. Programma analiza kachestva izmeritel'noj informacii GNSS izmerenij [Program for analyzing the quality of measurement information of GNSS measurements] / Kupriyanov A.O., Morozov D.A., Leve D.E. [et al.]; applicant Moscow State University of Geodesy and Cartography. — appl. 28.10.2025; publ. 10.11.2025. — URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=84127124 (accessed: 24.02.2026). — EDN: THAMJU. [in Russian]

20. Kupriyanov A.O. Razrabotka algoritma analiza pereotrazhenij navigacionnogo signala dlya izucheniya vliyaniya mnogoluchevosti na GNSS-izmereniya [Development of an algorithm for analyzing reflections of navigation signal to study the effect of multipath on GNSS measurements] / A.O. Kupriyanov, Yu.M. Nejman, D.A. Morozov [et al.] // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Geodeziya i aerofotosemka [Proceedings of Higher Educational Institutions. Geodesy and Aerophotography]. — 2017. — № 6. — P. 41–44. [in Russian]

21. Kosarev N.S. Ocenka mnogoluchevosti GNSS-izmerenij s pomoshch'yu programmnogo produkta otkrytogo dostupa [Assessment of GNSS measurement multipath using open access software product] / N.S. Kosarev // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Geodeziya i aerofotosemka [Proceedings of Higher Educational Institutions. Geodesy and Aerophotography]. — 2025. — Vol. 69. — № 4. — P. 8–20. — DOI: 10.30533/GiA-2025-035. — EDN: CBKAMW. [in Russian]