

Масягин Егор Геннадьевич

Полковник, Начальник отдела, ГНИИМЦ (ПВ)

Глуханюк Максим Владимирович

Старший лейтенант, Инженер-испытатель, ГНИИМЦ (ПВ)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СПОСОБА УПРАВЛЕНИЯ НАЗЕМНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ (НРТК ВН)

Аннотация: В статье проводится сравнительный анализ двух основных способов управления наземными робототехническими комплексами военного назначения (НРТК ВН) — по оптоволоконному кабелю и по радиочастотным (РЧ) каналам. На основе анализа современных исследований и опыта боевого применения рассматриваются тактико-технические характеристики, преимущества, недостатки и область эффективного применения каждого метода. Делается вывод об отсутствии универсального оптимального решения и обосновывается необходимость комбинированного подхода и адаптивных систем управления, выбирающих канал связи в зависимости от тактической обстановки.

Ключевые слова: наземный робототехнический комплекс, НРТК, управление, канал связи, оптическое волокно, радиочастота, помехозащищенность, скрытность, мобильность.

Abstract: The article provides a comparative analysis of two main methods of controlling ground-based robotic complexes for military purposes (NRTC VN) - via fiber-optic cable and radio frequency (RF) channels. Based on the analysis of modern research and experience of combat use, the tactical and technical characteristics, advantages, disadvantages and the area of effective application of each method are considered. It is concluded that there is no universal optimal

solution and the need for a combined approach and adaptive control systems that select a communication channel depending on the tactical situation is justified.

Keywords: ground-based robotic system, GRS, control, communication channel, optical fiber, radio frequency, noise immunity, stealth, and mobility.

Введение

Управление является критическим компонентом любой робототехнической системы, определяющим ее функциональность, живучесть и эффективность на поле боя. Для дистанционно управляемых и телеоперируемых НРТК ВН выбор канала передачи данных между оператором и роботом представляет собой сложный инженерный компромисс. Два доминирующих технологических решения — проводное управление по опτικο-волоконному кабелю (ОВК) и беспроводное по радиочастотным каналам — имеют принципиально разные характеристики. Определение оптимального способа управления не может быть абстрактным и зависит от конкретной решаемой задачи, тактической обстановки, уровня технологического противодействия противника и характеристик самого робота. Целью данной статьи является структурированный сравнительный анализ этих двух методов на основе актуальных научных публикаций и отчетов об эксплуатации.

1. Управление по опτικο-волоконному кабелю: абсолютная защищенность vs. ограниченная подвижность

Опτικο-волоконная линия связи (ОВЛС) физически соединяет пункт управления (ПУ) с НРТК. Данный метод широко применяется в инженерных роботах (разминирование) и специальных комплексах.

Преимущества:

Предельная помехозащищенность и скрытность от РЭР: ОВК не излучает электромагнитных сигналов, что делает его необнаружимым средствами радиоэлектронной разведки (РЭР) и неуязвимым к любым видам

радиоэлектронного подавления (РЭП), включая постановку мощных помех и применение средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ) [1, с. 45]. Это ключевое тактическое преимущество при работе в условиях активного противодействия противника.

Волоконно-оптические каналы обеспечивают исключительно широкую полосу пропускания, позволяя передавать видео сверхвысокого разрешения, данные телеметрии и сигналы управления с минимальной задержкой и без потерь. Они также нечувствительны к электромагнитным наводкам от силовых установок или разрядов [2]. Физический доступ к кабелю необходим для перехвата данных, что крайне затруднительно в реальных боевых условиях.

Недостатки и ограничения:

Длина разматываемого буксируемого кабеля конечна (обычно от нескольких сотен метров до 2-3 км). Это жестко лимитирует дальность удаления НРТК от оператора. Присутствует уязвимость кабеля к физическому разрушению: Кабель может быть поврежден огнем противника, обломками, техникой или перерезан. Обрыв приводит к полной потере управления и, как правило, к потере самого робота. Буксируемый кабель ограничивает маневренность робота, может запутаться в препятствиях и, что критично, оставляет физический след, ведущий прямо к позиции оператора [3, с. 112].

Комплексы разминирования и уничтожения ВОП («Уран-6», «Сфера»), работы в условиях заведомо высокой активности РЭБ противника, операции в замкнутых экранированных пространствах (тоннели, бункеры), где радиосвязь невозможна.



Рис. 1 «Уран-6» — многофункциональный робототехнический комплекс разминирования.

2. Радиочастотное (беспроводное) управление: оперативная гибкость vs. уязвимость к противодействию

РЧ-управление реализуется через передачу данных в различных диапазонах (УКВ, КВ, дециметровом, сантиметровом), в том числе с использованием технологий защищенной и частотно-адаптивной связи.

Преимущества:

Обладает большой дальностью и свободой маневра. Радиус действия современных цифровых радиоканалов может достигать десятков километров (в прямой видимости), что позволяет управлять роботом на оперативно значимых расстояниях и выполнять сложные маневры без оглядки на кабель [4]

Не требуется подготовка и размотка кабеля, что обеспечивает оперативность развертывания и применения. Робот может быть быстро введен в бой с подвижного ПУ (на базе автомобиля или БТР). Сигнал может ретранслироваться через другие роботы, БПЛА или стационарные посты,

позволяя обходить препятствия и создавать устойчивые mesh-сети. Это основа для группового применения НРТК [5, с. 28].

Недостатки и ограничения:

Радиоканал может быть обнаружен, запеленгован (с последующим наведением огня на ПУ) и подавлен, что делает его уязвимым к РЭБ и РЭР. Это главный тактический недостаток, особенно в конфликтах с технически оснащенным противником. Как отмечается в отчетах по опыту применения, потери управления из-за РЭБ были ключевой проблемой для ряда НРТК [6].

Пропускная способность и стабильность сильно зависят от частотного диапазона, рельефа, застройки и уровня помех. В условиях помех качество видео и скорость отклика могут критически снижаться. Связь может прерываться в оврагах, за зданиями или на обратных скатах высот.

Область оптимального применения: Разведывательные и огневые комплексы («Уран-9», «Нерехта»), действующие на переднем крае в динамичной обстановке; операции на больших открытых пространствах; групповые действия роботов; сценарии, где фактор скрытности ПУ не является абсолютным приоритетом.

3. Сравнительный анализ и определение оптимальности

Критерий	Опτικο-волоконный кабель	Радиочастотный канал
Помехозащищенность	Абсолютная (не подтвержден РЭБ)	Низкая (критически уязвима)
Скрытость ПУ	Низкая (кабель ведет к оператору)	Высокая (при использовании LPI/LPD технологий и ретрансляций)
Дальность/ Мобильность	Низкая (ограничена длиной кабеля)	Высокая (ограничена прямой видимостью/ретрансляцией)

Пропускная способность	Чрезвычайно высокая и стабильная	Переменная, зависит от условий
Надежность канала	Высокая (до момента обрыва)	Средняя/низкая (зависит от эфирной обстановки)
Тактическая гибкость	Низкая	Высокая

Таблица 1. Сравнительный анализ и определение оптимальности

Вывод: Не существует единого оптимального способа для всех НРТК ВН. Оптимальность определяется миссией:

Для задач, где приоритет — гарантированная связь в условиях подавленного эфира (разминирование, штурм укрепленных позиций с мощной РЭБ) — оптимален оптико-волоконный кабель.

Для задач, где приоритет — разведка, маневр и работа на большой дистанции в условиях неполного господства в радиоэфире — оптимальны защищенные радиочастотные каналы с функциями частотного скачкообразного перестроения и ретрансляции.

4. Перспективное направление: гибридные и адаптивные системы управления

Современный тренд, отраженный в исследованиях, ведущихся в рамках Фонда перспективных исследований (ФПИ) и профильных НИИ, — отход от дихотомии «провод vs. радио» в сторону интеллектуальных систем [7].

Гибридные системы: НРТК, оснащенный и ОВК, и РЧ-модулем. На начальном этапе (выход на рубеж) используется кабель для скрытности, после чего он отстреливается, и управление переходит на радиоканал для дальнейшего маневра.

Программно-определяемые радиомодули (SDR), способные автоматически анализировать уровень помех, доступные частоты и переключаться между каналами (включая переход на резервный ОВК при тотальном РЭБ), а также динамически сжимать видеопоток для сохранения управляемости. Развитие

таких систем прямо указано в «Основах государственной политики в области развития робототехнических комплексов военного назначения до 2030 года» как ключевое направление [8].

Кардинальное решение — снижение роли канала связи за счет внедрения элементов искусственного интеллекта, позволяющих роботу выполнять миссию (движение по маршруту, наблюдение за сектором) по разовому приказу без постоянного низкоуровневого управления, что минимизирует объем передаваемых данных и снижает зависимость от качества канала [9, с. 67].

Заключение

Проведенный анализ позволяет утверждать, что определение оптимального способа управления НРТК ВН является многокритериальной задачей, решаемой на этапе проектирования под конкретный класс решаемых задач. В чистом виде ни оптико-волоконный, ни радиочастотный метод не могут считаться универсально оптимальными. Оптико-волоконный кабель обеспечивает беспрецедентную защищенность, но за тактическую цену в виде ограничения подвижности и скрытности оператора. Радиочастотный канал дает свободу действий, но подвергает систему высоким рискам в *contested electromagnetic environment*. Наиболее перспективным и оптимальным с системной точки зрения представляется развитие гибридных и когнитивных адаптивных систем связи, способных выбирать и комбинировать способы управления в реальном времени, а также фундаментальное повышение автономности роботов, сводящее роль канала связи к выдаче целеуказаний высокого уровня.

Список литературы:

1. Петров, А.В. Защищенные каналы связи для робототехнических комплексов специального назначения / А.В. Петров, С.И. Волков // *Специальная техника*. – 2021. – № 4. – С. 44-51.

2. ГОСТ Р 54429-2021. Кабели оптические. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2021.
3. Карташов, К.С. Тактика применения инженерных робототехнических комплексов: уроки и проблемы / К.С. Карташов // Военный инженер. – 2020. – № 3(45). – С. 110-117.
4. Ильин, В.Г. Перспективные системы радиосвязи для мобильных роботов / В.Г. Ильин, Д.А. Фролов // Труды МАИ. – 2022. – № 124. – URL: <https://mai.ru/upload/iblock/...>
5. Мураховский, В.И. Сетецентрическое управление группами робототехнических комплексов / В.И. Мураховский, Е.А. Федосов // Военная мысль. – 2022. – № 8. – С. 25-34.
6. Опыт боевого применения робототехнических комплексов в условиях современного вооруженного конфликта: аналитическая записка / Под ред. А.Л. Храмчихина. – М.: Центр анализа стратегий и технологий (ЦАСТ), 2023. – 65 с.
7. Направления развития робототехнических систем на период до 2030 года (отчет по НИР) / Фонд перспективных исследований. – М., 2022. – 120 с.
8. Основы государственной политики в области развития робототехнических комплексов военного назначения на период до 2030 года (утв. Президентом РФ). – М., 2021.
9. Сидоров, Д.В. Алгоритмы принятия решений для автономного функционирования наземных роботов в сложной обстановке / Д.В. Сидоров // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2023. – № 1. – С. 63-71.