

"Radio" is monthly publication on audio, video, computers, home electronics and telecommunication

12+

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ:

АНО «РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА «РАДИО»

Зарегистрирован Министерством печати и информации РФ 01 июля 1992 г.

Регистрационный ПИ № ФС77-82030

Главный редактор В. К. ЧУДНОВ

Редакционная коллегия:

А. В. ГОЛЫШКО, А. Н. КОРОТОНОШКО, К. В. МУСАТОВ,  
И. А. НЕЧАЕВ (зам. гл. редактора), Л. В. МИХАЛЕВСКИЙ,  
С. Л. МИШЕНКОВ

Выпускающий редактор: С. Н. ГЛИБИН

Обложка: В. М. МУСИЯКА

Вёрстка: Е. А. ГЕРАСИМОВА

Корректор: Т. А. ВАСИЛЬЕВА

Адрес редакции: 129090, Москва, Протопоповский пер., 25, к. Б

Тел.: (495) 607-31-18.

E-mail: [ref@radio.ru](mailto:ref@radio.ru)

Приём статей — e-mail: [mail@radio.ru](mailto:mail@radio.ru)

Отдел рекламы — (495) 607-31-18; e-mail: [advert@radio.ru](mailto:advert@radio.ru)

Распространение — (495) 607-31-18; e-mail: [sale@radio.ru](mailto:sale@radio.ru)

Подписка и продажа — (495) 607-87-39

Бухгалтерия — (495) 607-87-39

Наши платёжные реквизиты:

получатель — АНО "Редакция журнала "Радио", ИНН 7708187140,  
р/сч. 40703810538090108833

Банк получателя — ПАО Сбербанк г. Москва

корр. счёт 3010181040000000225 БИК 044525225

Подписано к печати 24.06.2025 г. Формат 60×84 1/8. Печать офсетная.

Объём 8 физ. печ. л., 4 бум. л., 10,5 уч.-изд. л.

В розницу — цена договорная.

Подписной индекс:

Официальный каталог ПОЧТА РОССИИ — П4014;

КАТАЛОГ РОССИЙСКОЙ ПРЕССЫ — 89032.

За содержание рекламного объявления ответственность несёт  
рекламодатель.

За оригинальность и содержание статьи ответственность несёт автор.

Редакция не несёт ответственности за возможные негативные последст-  
вия использования опубликованных материалов, но принимает меры по ис-  
ключению ошибок и опечаток.

В случае приёма рукописи к публикации редакция ставит об этом в из-  
вестность автора. При этом редакция получает исключительное право на  
распространение принятого произведения, включая его публикации в жур-  
нале «Радио», на интернет-страницах журнала или иным образом.

Авторское вознаграждение (гонорар) выплачивается в течение двух  
месяцев после первой публикации в размере, определяемом внутренним  
справочником тарифов.

По истечении одного года с момента первой публикации автор имеет  
право опубликовать авторский вариант своего произведения в другом мес-  
те без предварительного письменного согласия редакции.

В переписку редакция не вступает. Рукописи не рецензируются и не воз-  
вращаются.

© Радио®, 1924—2025. Воспроизведение материалов журнала «Радио»,  
их коммерческое использование в любом виде, полностью или частично,  
допускается только с письменного разрешения редакции.

Отпечатано в ОАО «Подольская фабрика офсетной печати»

142100, Моск. обл., г. Подольск, Революционный проспект, д. 80/42.

Зак. 01948-25 .

**Dr.Web**  Компьютерная сеть редакции  
журнала «Радио» находится под  
защитой Dr.Web — антивирусных  
продуктов российского разработ-  
чика средств информационной  
безопасности — компании  
«Доктор Веб».

[www.drweb.com](http://www.drweb.com)  
Бесплатный номер  
службы поддержки  
в России:  
8-800-333-79-32

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА — КОМПАНИЯ «РИНЕТ»

**▶ RINET ▶**  
БЛИЖЕ К ЛЮДЯМ

Телефон:  
+7(495)981-4571  
E-mail:  
[info@rinet.ru](mailto:info@rinet.ru)  
Сайт:  
[www.rinet.ru](http://www.rinet.ru)

## Войны будущего

**А. ГОЛЫШКО, канд. техн. наук, г. Москва**

*"Выживает не самый сильный  
и не самый умный, а тот, кто  
лучше всех приспосабливается к  
изменениям".*

**Чарльз Дарвин**

Со временем армии и войны эволюционирова-  
ли, применяя всё новые и новые технологии,  
которые приходят в том числе и из обычной  
жизни. Вот мультимиллиардер и основатель ком-  
пании Oracle Ларри Эллисон высказался недавно  
о том, что беспилотные летательные аппараты  
(БПЛА) с помощью искусственного интеллекта  
(ИИ) смогут наконец тотально контролировать  
"непослушное население" и гарантируют "наи-  
лучшее поведение граждан".

Увидев воочию, как широко используются  
БПЛА в современной войне, многочисленные экс-  
перты от гражданских до военных прочат им  
великолепное будущее. Мол, теперь это — наше  
всё. И завтра полетят не просто БПЛА, а целые  
стаи/рои БПЛА, закрывающие всё небо, управ-  
ляемые коллективным разумом искусственного  
интеллекта (ИИ) и уничтожающие не только всё,  
что приказано, но и всё идентифицируемое как  
подлежащее уничтожению. Причём недавно была  
совсем другая ситуация, когда на первом плане  
была бронетехника, сыгравшая одну из ведущих  
ролей во Второй мировой войне.

Между тем, военные специалисты уже отмети-  
ли для себя, что, к примеру, танки плохо сосуще-  
ствуют с имеющимися у противника разведыва-  
тельными, ударными и прочими БПЛА, на наших  
глазах превращающимися в децентрализованное  
оружие, включающее в себя управляемые снаря-  
ды с различной точностью попадания и также  
поражающей способностью. И самое главное  
заключается в несопоставимой стоимости проти-  
востояния на поле боя, когда танк может уничто-  
жаться одним или несколькими БПЛА стоимостью  
в несколько десятков тысяч рублей. В результате  
бронированная техника перемещается во второй  
и третий эшелоны войсковых порядков, а та, что  
приближается к линии боевого соприкосновения,  
обвешивается всем, что потенциально может  
задержать или спровоцировать приближающийся  
БПЛА на преждевременный взрыв.

Суперхарактеристики не дают сегодня самому  
продвинутому танку больше времени жизни на  
поле боя, чем более дешёвому изделию. При  
этом одно только массовое применение FPV-дро-  
нов (FPV — First Person View или "вид от первого  
лица") привело к тому, что от стремительных про-  
рывов, осуществляемых "бронированными кула-  
ками" со времён Второй мировой войны, войска  
перешли к практически позиционной войне, как в

Первой мировой войне. А перманентное наблюдение с БПЛА не позволяет скрытно организовывать крупномасштабные атаки хотя бы оперативного уровня, поскольку все действия неизменно фиксируются разведкой.

Ну, а танк едва ли не превратился в артиллерийское орудие для стрельбы с закрытых позиций. Однако танки продолжают совершенствоваться, и, к примеру, с появлением эффективныхкумулятивных боеприпасов в них пришлось утолщать броню, дифференцированно распределяя её по всему корпусу бронемашин. Тут же оказалось, что корма у танка осталась сравнительно незащищённой, поскольку никто не рассчитывал на атаку сзади. Ведь в приоритете было всё летящее в лоб. БПЛА всё помешали, и вот уже требуются машины, сравнительно равномерно бронированные со всех ракурсов.

Впрочем, существуют планы вообще закрыть с помощью БПЛА линию боевого соприкосновения с помощью так называемой "линии дронов" путём создания многоуровневой беспилотной сетевой системы из множества контролируемых ячеек БПЛА глубиной до 50 км. То есть речь уже идёт не о противодействии бронетехнике, а просто о пехоте. Казалось бы, подобные тенденции должны привести к тотальной "дронизации" всего сущего, на что и будут направлены в ближайшее время все военные бюджеты.

Известная народная мудрость гласит, что, мол, генералы всегда готовятся к прошедшей войне. Хотя было бы странным, если бы они совсем не учитывали прошлый опыт. Однако и модернизируется армия быстрее всего во время войны, которая всегда вносит много нового. К примеру, у БПЛА есть только три ограничения: сильный порывистый ветер, густой туман и дождь, если не считать противодействия противника. Во всех остальных случаях воздушная разведка и средства поражения работают безотказно. Но что это означает для других видов войск? Прежде всего, крушение всех парадигм. Возможно, временное. Если наибольшие риски наблюдаются со стороны БПЛА (а также морских беспилотников), целых роёв БПЛА или даже эшелонированной "линии дронов", то следует серьёзно (если не сказать — драматически) увеличить число ограничений их применения. И тут трудно не предвидеть, что огромные усилия в разных странах будут направлены именно на это.

Ведь если взглянуть на ситуацию не с бумажной, а с практической стороны, становится ясно,

что у БПЛА есть серьёзные слабые места, способные привести к полному провалу концепций их применения. Беспилотники стали важной боевой силой, но им приходится пробивать "стену" электронного и неэлектронного подавления.

Прежде всего, как отмечают военные эксперты, плотное эшелонирование БПЛА требует устойчивой системы управления с надёжными ретрансляторами, защищёнными линиями связи, автономными источниками питания и наличием полноценных штабов на уровне как минимум бригад, особенно если речь идёт об управлении на протяжённом фронте. Однако в условиях постоянного противодействия и ударов по командным узлам такая система превращается в мишень: оператору остаётся лишь вслепую направлять БПЛА в надежде, что он попадёт хоть куда-то. К тому же фронт далеко не всегда бывает стабильным. В теории "линия дронов" может действовать в условиях маневренных боёв, но один быстрый прорыв — и система потеряет ориентиры, а БПЛА начнут либо безрезультатно кружить по пустым секторам, к которым приписаны, либо, в худшем случае, бить по своим.

Разумеется, получат дальнейшее развитие системы радиоэлектронной борьбы (РЭБ) с динамическим подавлением радиоканалов управления БПЛА. Истребители БПЛА будут всё больше походить по функционалу на настоящие истребители. Нечувствительные к системам РЭБ БПЛА на оптоволоконном управлении при массовом применении выдают места базирования своих операторов благодаря соответствующей подсветке ВОЛС с дальнейшим уничтожением мест дислокации последних. Всё приведённое выше под управлением соответствующего ИИ (который пока не имеет достаточно быстродействующего ПО для работы машинного зрения, но со временем оно появится) может лучше выполнять свои задачи по разведке, подавлению и уничтожению. А что ещё?

Прежде всего, это специализированные зенитные системы. В частности, недавно китайские военные представили первую в мире 16-ствольную зенитную пушку для перехвата ракет, БПЛА и других низколетящих целей, включая рои беспилотников.

В отличие от традиционных ПВО, использующих концепцию точка-точка, установка работает по принципу самолёт-точка, создавая плотную завесу огня (при одновременном залпе из 16 стволов), перекрывающую большую зону и гарантированно

уничтожающую цели. Пушка обладает сверхбыстрой перезарядкой, высокой плотностью огня и может устанавливаться на грузовики, корабли и любую бронетехнику. Устройство может поражать не только дроны и ракеты, но также и наземные или морские цели. Система будет использовать синхронизированный залп из нескольких орудий, чтобы перехватить даже самые высокоскоростные цели, буквально засыпая их шквалом снарядов. Причём нет сомнения, что без управления ИИ здесь не обошлось. Стреляет пушка специальными боеприпасами, эффективными против БПЛА, крылатыми ракетами и вертолётов. Говорят, аналогов у этой системы пока нет ни в одной стране мира, а интерес к ней большой. Собственно, китайцы так доработали многоствольную артиллерию, что действие "из пушки по воробьям" больше не считалось чем-то нетехнологичным.

Несмотря на высокую эффективность БПЛА, они представляют собой трудную цель для существующих контрмер, которые могут воздействовать только на один объект одновременно и могут быть дорогими. В докладе счётной палаты США (Government Accountability Office, GAO) за апрель 2023 г. приводится сравнение боевых лазеров и мощного микроволнового оружия (HPM — High-Power Microwave) в плане функциональности, физических характеристик, испытаний и уровня летальности.

В отчёте говорится, что лазеры воздействуют на физические компоненты, ослепляя оптические датчики или прожигая поверхности управления, уничтожая каждую цель по отдельности. В отличие от боевых лазеров, HPM является площадным оружием или оружием для групповых целей. Оно способно разрушать критические компоненты, проводящие электрический ток, в том числе печатные платы, проникать сквозь твёрдые поверхности и поражать цели на больших площадях.

В своём отчёте за май 2023 г. GAO упоминает, что, в отличие от боевых лазеров, микроволновое оружие может поражать сразу несколько целей благодаря большей зоне поражения, которая зависит в первую очередь от диаграммы направленности излучающей антенны, частоты импульса и расстояния до цели.

В дополнение Центр анализа информации оборонных систем США (Defense Systems Information Analysis Center, DSIAC) отмечает, что масштабируемость микроволнового оружия сводит к минимуму побочный ущерб, гарантирует ничтожно малую стои-



мость одного выстрела и стимулирует разработку электрических кораблей, транспортных средств и летательных аппаратов, способных обеспечить необходимое энергоснабжение. Помнится, 40 лет назад нечто подобное про минимальный побочный эффект говорили на Западе о разработке "чистой" нейтронной бомбы.

НРМ уникально тем, что не наносит видимых повреждений цели во время боя и способно оказывать различное воздействие, начиная от подавления электроники и заканчивая физическим разрушением электронных систем. В целом она является частью комплекса так называемого направленного энергетического оружия (DEW — Directed-Energy Weapon), куда входят в том числе и боевые лазерные системы, работу которых можно проиллюстрировать романом Алексея Толстого "Гиперболоид инженера Гарина", хотя продемонстрировать всё приведённое в романе современные лазерные системы пока не готовы.

Сегодня микроволновое оружие практически не применяется, поскольку ООН считает, что оно потенциально может нарушить Женевскую конвенцию в части запрета на применение пыток. Однако же Женевская конвенция не защищает от БПЛА, возможности которых возросли многократно. Собственно, поэтому военные и вспомнили снова о микроволновом оружии, которое может отключать целые рои БПЛА.

Получается, что не обязательно стрелять снарядами и пулями. В 2019 г. американские военные представили систему "Тор", выводящую из строя БПЛА мощными импульсами излучения в диапазоне от 300 МГц до 300 ГГц и предназначенную для борьбы с роями БПЛА. Недавно исследовательская лаборатория ВВС США опубликовала своё видение применения DEW в лице НРМ в ближайшей 40 лет. Из него следует, что военных больше интересуют системы, способные одновременно уничтожать рой беспилотников или крылатых ракет, чем те, что уничтожают цели одну за другой.

Разумеется, возможность уничтожения БПЛА зависит от мощности излучателя. К примеру, исследования говорят о том, что 1 ГВт вполне достаточно для выведения из строя БПЛА противника даже в составе роя. Тут есть два уточнения: излучение должно быть правильно сориентировано, чтобы не уничтожить заодно что-нибудь нужное у себя, и, кроме того, необходимо обеспечить систему соответствующей энергией, что не всегда получается на

поле боя. При этом, чем больше дальность действия и чем шире "луч смерти" для БПЛА, тем больше потребуются и энергии. Военные эксперты также отмечают, что из-за своей неразборчивости такое оружие менее эффективно для защиты такой инфраструктуры, как, например, аэропорты.

Пару лет назад исследовательская лаборатория ВВС США объявила, что ищет подрядчиков для создания высокоомощной противодроновой микроволновой системы "Мельник" (по названию молота бога Тора в скандинавской мифологии). Поэтому основная цель — найти экономичную противодроновую воздушную систему, по эффективности сравнимую с системой "Тор" или превосходящую её.

Разумеется, разработкой микроволнового оружия для борьбы с беспилотниками занимаются не только в США. Разработки подобного оружия ведутся в том числе и в России. Его также планируется использовать не только для обороны, но и для испытания новых электронных военных систем на устойчивость к СВЧ-излучению. В частности, как отмечал журнал National Interest, в рамках масштабной стратегии военного перевооружения страны президент Владимир Путин приказал существенно изменить приоритеты российского оборонного производства, включая ускоренную разработку беспилотных систем, внедрение возможностей ИИ и DEW. Это соотносится с аналогичными изменениями, внесёнными Китаем, а совсем недавно и с реформами в США.

В новостных ресурсах упоминалось отечественное противодроновое ружьё Rex-1, которое способно не только сбивать БПЛА, но и глушить мобильную связь вместе с сетями Wi-Fi. Выстрел из него действует на аппараты на малых и больших высотах. Отмечается, что устройство может эффективно использоваться во время контртеррористических операций и для подавления сигналов управления детонаторами взрывных устройств.

Министерство обороны Великобритании успешно испытало микроволновое оружие Rapid Destroyer, предназначенное для борьбы с БПЛА и разработанное консорциумом под руководством французского оборонного конгломерата Thales. Во время испытаний оружие успешно нейтрализовало два роя из восьми дронов, а всего — более 100 беспилотников.

Rapid Destroyer размещается на платформе грузовика и, что неудивительно, требует значительных энергетических затрат. Аналогичные системы, такие как Tactical High-power Operational Responder (THOR), разработан-

ная ВВС США, или Leonidas для ВМС США от компании Epirus разработаны под размер стандартного грузового контейнера.

Для защиты от БПЛА и иных угроз в Великобритании сейчас создаётся перспективный боевой электромагнитный комплекс RF DEW (Radio Frequency Directed Energy Weapon). Заказ на создание этого образца выдали консорциуму Team HERSA, в состав которого вошли компании Thales UK, QinetiQ, Teledyne e2v и Horiba Mira. Разработка нового проекта велась в условиях строгой секретности. Впервые о нём стало известно около года назад, в мае 2024 г. К тому времени Team HERSA завершила основные проектные работы и успела построить опытный образец.

17 апреля Минобороны Великобритании рассказало о новом этапе испытаний. На этот раз опытный комплекс боролся с роями беспилотников. Роль условного противника играли две группы БПЛА. Несмотря на повышенную сложность такой задачи, изделие RF DEW засекало аппараты, а затем последовательно работало по ним. В ходе этих испытаний комплекс продемонстрировал способность одновременного поражения нескольких воздушных целей. Однако точные данные не раскрываются. Известны размеры роев условного противника и число одновременно перехваченных аппаратов. Тем не менее, Минобороны и Team HERSA высоко оценивают новую разработку и говорят о её больших перспективах. Однако они пока не могут назвать сроки завершения испытаний и дальнейших этапов.

Опытный образец изделия RF DEW выполнен мобильным. На серийном двухосном автомобильном шасси RMMV HX60 разместили кабину оператора, несколько блоков различной аппаратуры и модуль с электромагнитным излучателем. По всей видимости, такая боевая машина является полностью автономной и может выполнять свои задачи без помощи извне. Конструкция комплекса указывает на возможность использования других шасси или изготовления стационарной версии.

RF DEW получает информацию о воздушной обстановке с помощью малогабаритного радиолокатора и видекамеры. Радиус обнаружения и сопровождения целей составляет несколько километров, что вполне достаточно для использования штатного боевого модуля. Ключевым элементом комплекса является модуль электромагнитного излучателя. Он имеет крупный корпус на поворотном основании, внутри которого размещены все необходимые приборы. Сверху на

корпусе находится качающаяся установка с антенной решёткой. На общей установке с антенной закреплена видеокамера для точной наводки.

Для формирования электромагнитного луча необходима мощность используется фазированная антенная решётка с возможностью наведения в двух плоскостях. Параметры излучателя, такие как рабочая частота, выходная мощность и т. д., неизвестны. При этом сообщается, что мощность достаточна для поражения или повреждения электроники на дистанциях до 1 км.

ВМС США объявили, что в 2026 г. начнут испытания системы НРМ, известной как Project Meteor, которая будет способна уничтожать быстро движущиеся противокорабельные баллистические ракеты.

Chimera — ещё одна недавно успешно испытанная система, разработанная американским оборонным подрядчиком Raytheon, которая способна успешно отслеживать и поражать как статические, так и воздушные цели, включая рои БПЛА. Считается, что успешная разработка DEW позволит существенно сократить расходы на американскую оборону. К примеру, военно-морские силы США используют многомиллионные ракеты Standard Missile-2 для поражения иранских БПЛА, стоимость которых не превышает 2000 долл. за штуку. Издание Defense One сообщает, что Raytheon планирует передать Пентагону два новых прототипа уже в этом году и ещё один в 2026 г. Это позволит устранить существующие в настоящее время проблемы с применением мощного микроволнового оружия в армии США.

Что касается лазерного оружия, то для работы ему тоже требуются значительные источники энергии, а его эффективность может меняться в зависимости от условий окружающей среды и ряда других факторов. Поэтому тестирование целесообразно проводить в обстановке, максимально приближённой к реальности с учётом всех возможных обстоятельств. А вот эффект от НРМ почти линейен, то есть испытания НРМ можно проводить в лабораторных условиях, где тесты на малых уровнях мощности позволяют точно прогнозировать, что случится, когда излучение "врубят" на полную мощность.

В целом поражающая способность лазерного оружия зависит от энергии, направляемой к цели и времени, в течение которого лазер на этой цели фокусируется. Оружие НРМ, соответственно, зависит от пиковой выходной мощности, частоты следования микроволновых импульсов и используемой частоты. В то

же время оружие НРМ имеет ряд существенных недостатков. В частности, оно характеризуется высокими потерями при распространении в воздухе и ограниченной дальностью действия в приземных слоях атмосферы. А относительно большие размеры и высокое энергопотребление ограничивают, к примеру, его размещение на платформах космического базирования. Впрочем, не исключено, что технологический прогресс в конечном итоге приведёт к появлению экономически эффективного и жизнеспособного микроволнового оружия.

В июле 2022 г. издание Asia Times сообщило о создании в США оружия High-Powered Joint Electromagnetic Non-Kinetic Strike (HiJENKS) — крылатой ракеты-невидимки с боевой частью НРМ, которая предназначена, в первую очередь, для уничтожения высокотехнологичной электроники. И отнюдь не только в БПЛА. Цель программы HiJENKS — создать экономически эффективное оружие для поражения электронных систем и глубоко залегающих целей, которые не могут быть уничтожены традиционными взрывчатыми веществами. Оно будет генерировать мощный электромагнитный импульс, способный пройти сквозь металл, защищающий подземные командные центры, и вывести из строя чувствительную электронику. Впрочем, оно может оказаться малоэффективным против низкотехнологичных противников.

Тем временем китайская компания NORINCO (China North Industries Group Corporation) за-

буется быстрая нейтрализация роёв БПЛА. Установленное на высококомбинированной шасси оружие оснащено мощной фазированной антенной решёткой, способной фокусировать интенсивные электромагнитные импульсы на БПЛА для нарушения работы систем их управления. Система способна обнаруживать цели на расстоянии до 6 км и оптически отслеживать их в радиусе 4 км. Сообщалось, что даже микродроны, находящиеся на расстоянии более 3 км, могут быть точно зафиксированы и нейтрализованы. В целом система работает аналогично микроволновой печи, мгновенно сжигая электронные компоненты и блоки управления. Ну, а специалисты по маркетингу формулируют сказанное выше так: "Мощный микроволновый луч системы действует как "полусферическая москитная сетка" радиусом 3 км, обеспечивая защиту от атак беспилотных летательных аппаратов".

Теперь немного о технологиях. НРМ является относительно новой областью исследований, относящейся к классу высокоэнергетических электромагнитных (НРЕМ — High Power ElectroMagnetics), в которую входят электромагнитный импульс молнии (LEMP — Lightning ElectroMagnetic Impulse) и ядерный электромагнитный импульс (NEMP — Nuclear ElectroMagnetic Impulse). Мощность, излучаемая источниками НРМ, находится в интервале от нескольких киловатт до десятков гигаватт (в импульсе) в диапазоне частот от десятков мегагерц до нескольких гигагерц. В свою очередь, магнетрон или гиро-

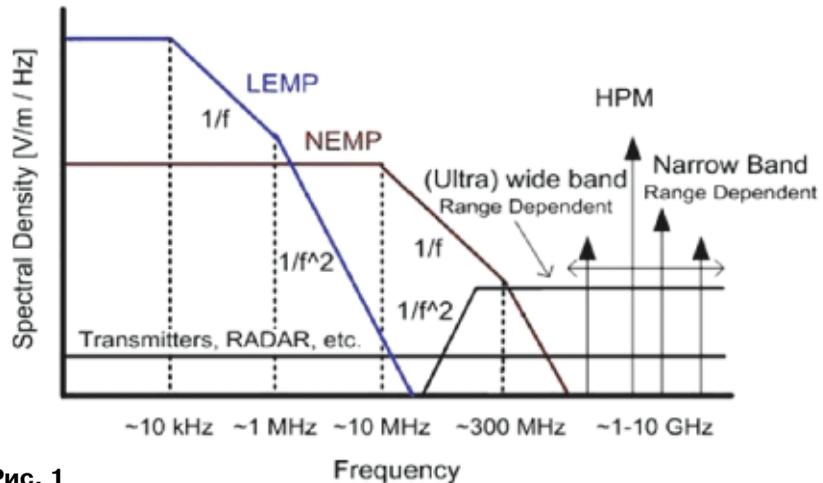


Рис. 1

явила о достигнутом ею прогрессе в технологии борьбы с БПЛА, представив систему высокоэнергетического микроволнового оружия Hurricane-3000. Его полевые испытания продемонстрировали многообещающие результаты, особенно в сценариях, где тре-

трон являются классическими технологиями НРМ.

На рис. 1 приведено сравнение типичных НРЕМ по спектральной плотности и частоте (<https://www.emsopedia.org/entries/high-power-microwave-hpm/>).

Немецкая фирма Diehl представляет несколько продуктов НРМ для борьбы с БПЛА на базе технологии мощных вакуумных ламп и используется для подавления электронных устройств на расстоянии от 50 м до нескольких сотен метров. Английская компания Teledyne также представляет несколько аналогичных продуктов НРМ с излучаемой мощностью порядка нескольких мегаватт. Максимальные расстояния деактивации электронных устройств также не превышают нескольких сотен метров.

Сегодня появилась технология VIRCATOR, которая используется для реализации вышеупомянутых устройств, позволяющая получить большую мощность и значительно уменьшенные габариты. Основным её элементом является генератор с виртуальным катодом, выполненный по технологии вакуумной лампы, поэтому VIRCATOR — это VIRTual CATHode oscillATOR. Это устройство может обеспечить в импульсе до 1 ГВт на частотах менее 10 ГГц. Тем не менее, КПД довольно низок, достигая 10 %, которые пока являются лучшими в этом классе.

Источник НРМ состоит из высоковольтного генератора импульсов (например, генератор Маркса), вакуумной лампы, волновода и конечной излучающей антенны (рис. 2). Основная идея заключается в ускорении плотного потока пучка электронов, излучаемого катодом взрывным образом, за счёт напряжения 300...500 кВ, приложенного между ним и анодом, состоящим из электропроницаемой сетки. Многочисленные электроны проходят через анод и образуют область пространственного заряда позади анода, называемую виртуальным катодом. Эта область

пространственного заряда при определённых условиях может колебаться в диапазоне микроволновых частот. Возможна также перестройка устройства в широкой полосе частот, используя только изменение плотности пространственного заряда. Такое решение очень привлекательно благодаря своей простоте конструкции.

Электроны отходят от катода под действием напряжения в сотни киловольт, приложенного к аноду. Вблизи анода они достигают такой скорости, что по инерции проходят его, поскольку он выполнен из сетки, и в тече-

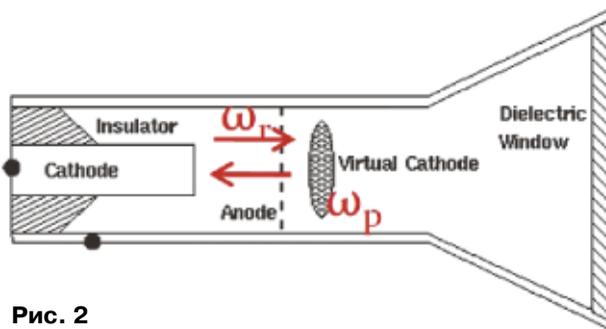


Рис. 2

ние некоторого времени остаются скопанными в образовавшейся ими же в анодном пространстве области пространственного заряда. Полученное электронное облако, подверженное воздействию высоких потенциалов, создаёт плазму, которая колеблется с пульсацией  $\omega_p$ .

По мере увеличения электронной плотности в виртуальном катоде электроны, покидающие анод, замедляются, и результирующий электрический заряд вынужден оставаться вблизи анода. Этот недостаток зарядов, которые обогащали бы виртуальный катод, приводит к тому, что последний обедняется до такой степени, что новые заряды,

выходящие из анода, могут снова пройти через этот потенциальный барьер, генерируя импульсы тока для повторного обогащения виртуального катода. Этот цикл повторяется до тех пор, пока к клеммам катода и анода приложено напряжение. Сгенерированные электронные импульсы возбуждают резонатор, подключённый к выходному волноводу, в результате чего излучается радиочастотный сигнал с частотой  $\omega$ .

Подведём итог. Технологии развиваются, задачи решаются, военная мысль движется вперёд. Не исключено, что со временем у военных появится возможность построения СВЧ-стены из систем НРМ с точечным уничтожением лазерным оружием вместе с традиционными стрелковыми комплексами отдельных прорвавшихся целей. Возможно, о роях БПЛА и пр. тогда можно будет не беспокоиться. Правда, хорошо бы иметь неподалёку какой-нибудь источник энергии вроде сверхмощных аккумуляторов или, к примеру,

АЭС (желательно в мобильном варианте), чтобы не прибегать к тактическому оружию с генерацией NEMP. Однако всё это — лишь взгляд из сегодняшнего технологического дня. А потом придумают что-то новое.

По материалам

<https://clck.ru/3M4zBv>,  
<https://clck.ru/3M4zFi>,  
<https://clck.ru/3M4zJ4>,  
<https://clck.ru/3M4zc3>,  
<https://clck.ru/3M4zfM>,  
<https://clck.ru/3M4zhU>,  
<https://clck.ru/3M4zsw>,  
<https://clck.ru/3M4zw8>,  
<https://clck.ru/3M4zxy>