

УДК: 623.941

РАЗРАБОТКА ЗА РУБЕЖОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПУШЕК С БОЛЬШОЙ ЭНЕРГИЕЙ ВЫСТРЕЛА

DEVELOPMENT OF HIGH-POWERED RAILGUNS IN FOREIGN COUNTRIES

По представлению академика РАРАН В.В. Селиванова

В.Н. Зубов

МГТУ им. Н.Э. Баумана

V.N. Zubov

В статье рассматривается американская 32 МДж электромагнитная пушка: цель разработки, этапы создания, характеристики и текущее состояние разработок двух конкурирующих компаний General Atomics и BAE Systems. Описаны европейские электромагнитные пушки Pegasus, Rafira и новый европейский проект PILUM. Приведена открытая информация о корабельной электромагнитной пушке Китая. Описаны этапы разработки электромагнитных пушек в Турции и характеристики последнего варианта полевого прототипа.

Ключевые слова: электромагнитная пушка, рельсотрон, США, Европа, Китай, Индия, Турция.

The article discusses the American 32 MJ electromagnetic gun: the purpose of development, stages of creation, characteristics and the current state of development of two competing companies General Atomics and BAE Systems. European electromagnetic guns Pegasus, Rafira and a new European project PILUM are described. Provides open information about the Chinese naval electromagnetic gun. The stages of development of electromagnetic guns in Turkey and the characteristics of the latest version of the field prototype are described.

Keywords: electromagnetic gun, railgun, USA, Europe, China, India, Turkey.

США

В США, одной из ведущих стран мира в области разработки новейших видов вооружения, принята программа «Системы оружия направленной энергии и электрические системы вооружения» (Directed Energy and Electric Weapon Systems Program), над которой они работают уже не одно десятилетие. В рамках этой программы ведутся работы по созданию электромагнитной пушки (ЭМП) или «рельсотрона». Принцип работы рельсотрона основан на использовании электромагнитной силы для разгона по двум контактным рельсам электропроводного «якоря», толкающего снаряд в поддоне.

Целью разработки рельсотрона является создание для ВМС США надежного и мощного

оружия, которое обеспечивало бы снаряду значительно большую начальную скорость и дальность, чем при традиционном способе метания с помощью пороховых зарядов. Из последнего варианта электромагнитной пушки с энергией выстрела 32 МДж и боекомплектом из гиперзвуковых снарядов HVP (Hyper Velocity Projectile) корабль сможет поражать береговые цели на дальности до 185 км. Для сравнения, дальность стрельбы этими же снарядами HVP из 127-мм морской пушки Mk45 Mod2 составит 74 км. В результате корабли ВМС США смогут быстро наносить удары в глубине территории противника, оставаясь вне досягаемости ответного артиллерийского огня. Это позволит ускорить реализацию концепции «бесконтактной войны», разработанную Пентагоном, которая подразу-

мевают ведение боевых действий на расстоянии при помощи дальнобойной артиллерии, ударной беспилотной авиации и крылатых ракет.

Прежде всего рельсотроны планировалось использовать на новейших эсминцах типа DDG 1000 Zumwalt (рис. 1). Кроме того, чтобы другие военные корабли могли использовать рельсотрон, ведутся работы над системой генерации и хранения электроэнергии, адаптированной к другим кораблям ВМС США, которые уже входят в состав флота, например, DDG-51 Arleigh Burke (рис. 2).

Разработкой электромагнитных пушек с 2005 года по заказу ВМС США на конкурентной основе занимались в основном две компании: General Atomics и транснациональная корпорация BAE Systems.

В январе 2006 года в Военно-морском центре надводной войны ВМС США Дальгрэн (Naval Surface Warfare Center Dahlgren Division — NSWCDD), расположенном в штате Вирджиния, состоялось открытие мощного лабораторного варианта ЭМП с энергией выстрела 32 мегаджоуля

(МДж) разработки компании BAE Systems (рис. 3). До этого там находилась 8 МДж установка, способная метать тело массой 3,2 кг. Испытания новой 32 МДж установки начались в марте 2007 года.

10 декабря 2010 года в Центре NSWCDD была достигнута энергия выстрела 33 МДж (рис. 4), что на мегаджоуль больше проектных расчетов [1]. Это рекордный показатель за всю историю разработки подобных пушек в мире. Согласно расчетам американских инженеров, такая энергия позволит снаряду поражать цели на расстоянии до 203,7 км (110 морских миль). Тысячный выстрел был произведен 31 октября 2011 года и признан успешным.

К основным недостаткам лабораторной установки можно отнести большие габариты и массу самой «пушки» и большое энергопотребление (по разным данным от 16 до 25 мегаватт на один выстрел). При этом ресурса ствола лабораторного варианта ЭМП первоначально хватало на несколько выстрелов, после чего требова-

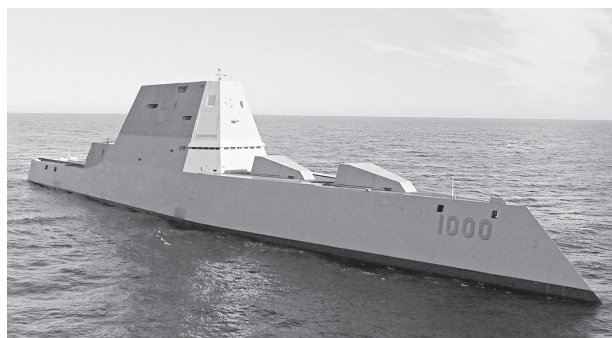


Рис. 1. DDG 1000 Zumwalt во время ходовых испытаний. Атлантический океан, 7 дек. 2015 г.

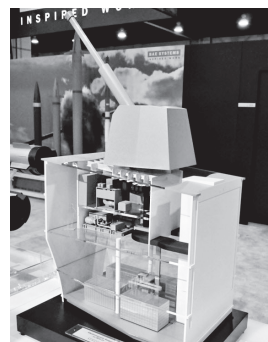


Рис. 2. Макет размещения ЭМП компании BAE Systems на кораблях класса DDG-51 Arleigh Burke. Выставка Sea-Air-Space 2014 г.



Рис. 3. Лабораторная 32 МДж установка в центре ВМС NSWCDD, Дальгрэн, ноябрь 2007 г.

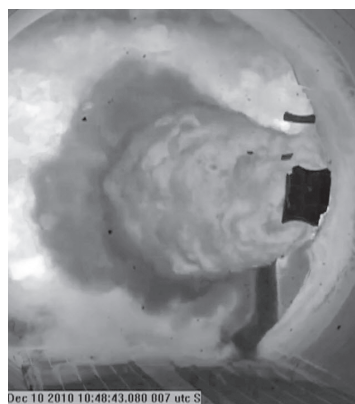


Рис. 4. Испытания 10 декабря 2010 г.

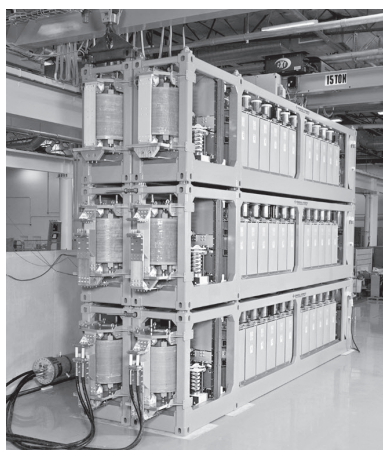


Рис. 5. Модуль конденсаторов

лась замена рельсовых направляющих. Кроме того, лабораторный образец неустойчив к воздействию влаги, что очень критично для ВМС.

Другим недостатком лабораторных установок являются огромные размеры накопителей энергии, в качестве которых применяются батареи конденсаторов. Размеры одного конденсатора составляет десятки сантиметров, а их суммарный объем сопоставим с размерами большой учебной аудитории. Поэтому целью разработчиков является совершенствование импульсных источников энергии для уменьшения их габаритов. Поставщиком накопителей энергии для электромагнитных пушек ВМФ с 2007 года и до настоящего времени является компания General Atomics. На рис. 5 представлен модуль, состоящий из 6 блоков конденсаторов, соединенных между собой. Накопитель энергии для лабораторной 32 МДж ЭМП имеет модульную конструкцию и содержит 27 блоков, содержащих в общей сложности 324 конденсатора.

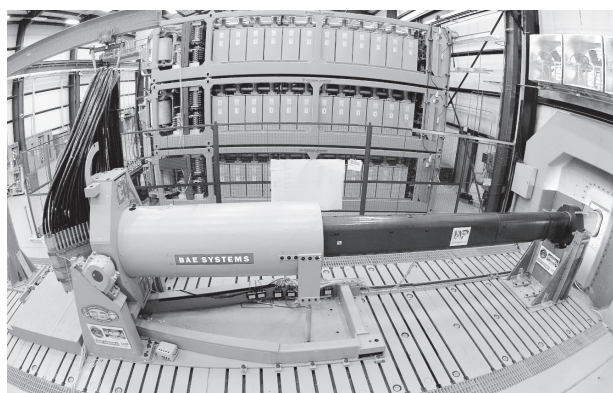


Рис. 6. Первый 32 МДж промышленный прототип ЭМП компании BAE Systems

За все время проведения тестов были проверены различные конфигурации ствола и конструкции направляющих рельсового типа. При этом производились и испытания сплавов, из которых изготовлены различные элементы пушки.

30 января 2012 года в Военно-морской центр надводной войны ВМС США Дальгрэн доставили первый промышленный прототип ЭМП компании BAE Systems с энергией выстрела 32 МДж (рис. 6). Промышленный образец уже более похож на пушку. Ствол длиной 9,75 м изготовлен из композитных материалов путем намотки. Он более устойчив к износу и воздействию влаги, выдерживает большее количество выстрелов, имеет значительно меньшие габариты. В феврале 2012 года ВМС США приступили к испытаниям этой пушки. Предполагалось разогнать снаряды невзрывного типа массой 9 кг до скорости в 5 чисел Маха (около 1700 м/с). В конце февраля BAE Systems совершил 6 выстрелов. Собственные инвестиции BAE Systems в проект составили 20 млн американских долларов.

В апреле 2012 года в Дальгрэн прибыл другой промышленный прототип рельсотрона с энергией выстрела 32 МДж, созданный конкурирующей компанией General Atomics (рис. 7). По утверждению эксперта по электромагнитным пушкам компании Raytheon, пушка компании General Atomics способна метать снаряд массой 10 кг на дальность около 200 км за 6 минут. Далее последовали испытания этого прототипа ЭМП и анализ результатов стрельб из двух образцов.

В целом, к 2013 году американские 32 МДж прототипы рельсотрона были способны обеспечивать начальную скорость снаряда 2000–2500 м/с

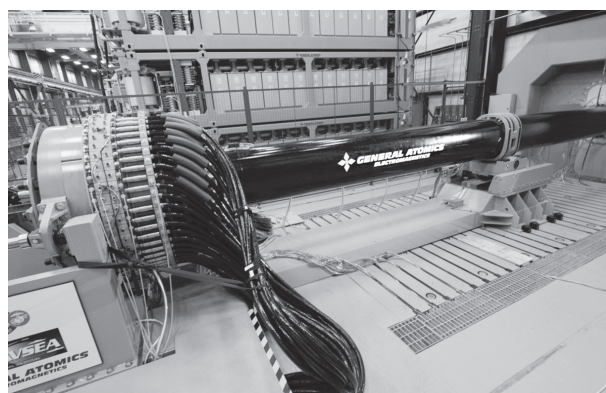


Рис. 7. Первый 32 МДж промышленный прототип ЭМП компании General Atomics

(5,9–7,4 числа Маха) и максимальную дальность стрельбы около 185 км. Энергию выстрела у обоих прототипов можно было регулировать от 20 до 32 МДж, в зависимости от необходимой дальности стрельбы [2, р. 23].

В середине 2013 года компания BAE Systems получила от Управления военно-морских исследований ONR (Office of Naval Research) контракт на сумму 34,5 млн долларов США [3]. Получение этого контракта означало окончание первой фазы разработки ЭМП и выбор компании BAE Systems в качестве основного разработчика пушки во время второй фазы разработки.

Проиграв контракт, компания General Atomics продолжила работы в области электромагнитного метания на собственные средства, сконцентрировав свои усилия на дальнейшей разработке двух вариантов пушки: исследовательского 3 МДж варианта под названием Blitzzer¹ и основного 10 МДж варианта, которые компания разрабатывала с 2007 года. Установку с энергией выстрела 10 МДж компания рассматривает как универсальную для кораблей, наземных и мобильных платформ. Также компания продолжает разрабатывать управляемые снаряды к своим ЭМП и совершенствовать импульсные источники энергии. В 2015 году General Atomics впервые добилась того, что бортовая электроника снарядов «выжила в условиях запуска рельсотрона», то есть после воздействия сильного электромагнитного поля и перегрузок в 30000 g [4]. В 2017 году были успешно проведены многократные испытания блока электроники управления снарядом Guidance Electronics Unit (GEU) при стрельбе из 3 МДж установки и ускорении снарядов в 30000 g [5]. В этих же испытаниях продемонстрирована непрерывная двусторонняя передача данных телеметрии между снарядами в полете и наземной станцией на открытом расстоянии. К 2017 году компании удалось сократить размеры высокоэнергетических импульсных источников питания в 2 раза при прежней энергоемкости, создав импульсные силовые модули с энергоемкостью более 415 кДж на модуль, что является мировым рекордом, по утверждению компании [6]. В настоящее время компания выполняет трехлетний контракт, заключенный с Армией США в

2018 году, по дальнейшей доработке рельсотрона, поставке серии прототипов и изучению возможностей интеграции рельсотронов с существующими и будущими армейскими боевыми машинами [7].

Вторая фаза разработки морской ЭМП с большой энергией выстрела началась в 2014 году. С этого времени BAE Systems уделяет наибольшее внимание переходу от одиночных выстрелов к стрельбе очередями, разработке автоматической системы заряжания боеприпасов, системы охлаждения пушки, а также оптимизации для работы на море и увеличению ресурса ствола. По заявлению адмирала Мэтью Л. Кландера (Matthew L. Klunder), начальника отдела военно-морских исследований при Управлении военно-морских исследований, в конце 2014 года ресурс ствола составлял около 400 выстрелов, но при стрельбе на неполную мощность. В рамках второй фазы также запланированы стрельбы на дальность 185 км.

В 2016 году последний вариант ЭМП компании BAE Systems был смонтирован на новой площадке полигона в Дальгрене (рис. 8). Источники питания размещались в мобильных контейнерах, соединенных с пушкой электрическими кабелями. Пушка уже имела подъемный механизм, механизм досылания и элементы автомата заряжания. Энергия выстрела данного варианта составляет 32 МДж, максимальная дульная скорость снаряда 7,5 чисел Маха (2550 м/с), скорость подлета снаряда к цели на дальности 185 км около 5 чисел Маха [8].

17 ноября 2016 года из нового прототипа был проведен первый выстрел. Начальная скорость метаемого тела составила около 6 чисел Маха (~ 2000 м/с). Метаемое тело представляло из себя металлическую «болванку», имитирующую по форме снаряд в поддоне вместе с якорем (рис. 8). Стрельбой подобными «болванками» ранее испытывалась лабораторная 32 МДж установка.

В июле 2017 года была продемонстрирована работа автомата заряжания и возможность стрельбы очередью из двух выстрелов при энергии выстрела около 20 МДж. На видео испытаний видно, сколько времени уходит на зарядку

¹Название Blitzzer в пер. с англ. «Молниеносно атакующий».



Рис. 8. Последний вариант 32 МДж ЭМП компании BAЕ Systems (кадр из видеозаписи испытаний)

конденсаторов после первого выстрела — около 10 секунд. Далее планируется стрельба с энергией выстрела 32 МДж.

По последним данным ЭМП перевезена на ракетный полигон Уайт-Сэндс в Нью-Мексико, где она продолжает проходить испытания. Размеры полигона местами достигают 280 км с юга на север, что позволяет проводить стрельбы из ЭМП на максимальную дальность.

На продолжение проекта разработки 32 МДж ЭМП в бюджетный запрос ВМФ на 2021 финансовый год было включено 9,5 млн долларов США [2, р. 21].

Всего на программу создания рельсотрона, которая официально началась в 2005 году, Пентагон потратил более 500 млн долларов. Ожидается, что стоимость одного выстрела из рельсотрона составит 50 тыс. долларов. Эта сумма учитывает стоимость снаряда, износ рельсов и энергетические расходы.

Стрельба из электромагнитной пушки на большие дальности порядка 200 км будет бессмысленной из-за высокого рассеивания, если снаряд не будет управляемым. В связи с чем ряд компаний, например, BAЕ Systems, General Atomics, Boeing, занимаются разработкой дальнобойных управляемых гиперзвуковых снарядов HVP для электромагнитных пушек, а также для сухопутных 155-мм и морских 127-мм орудий. В 2013 году BAЕ Systems получила от Управления военно-морских исследований контракт стоимостью 33,6 млн долларов на разработку гиперзвукового снаряда HVP [9]. Таким образом, BAЕ

Systems сейчас является основным разработчиком и 32 МДж электромагнитной пушки, и снарядов к ней².

Европа

В Европе с 1987 года занимается электромагнитным метанием Франко-немецкий научно-исследовательский институт Сен-Луи (ISL), который считается европейским лидером в данной области. В 1997 году институт создал 10 МДж установку Pegasus [10] длиной 6 м и сечением отверстия 4×4 см (рис. 9). Последние результаты испытания Pegasus включают успешный запуск снарядов массой порядка 1 кг с гиперзвуковой скоростью 2500 м/с (~ 7,4 чисел Маха) [10]. Эффективность преобразования электрической энергии в кинетическую превышает 35 %, что считается хорошим показателем.

В 2019 году Европейское оборонное агентство (EDA) и институт Сен-Луи инициировали проект по созданию мощной электромагнитной пушки и снарядов к ней. Проект получил название PILUM³ — Projectiles for Increased Long-range effects Using Electro-Magnetic railgun — снаряды для увеличения дальнобойных эффектов с использованием электромагнитного рельсотрона (рис. 10). В нём принимают участие 5 европейских стран: Франция, Германия, Польша, Италия и Бельгия. Координатор проекта — институт

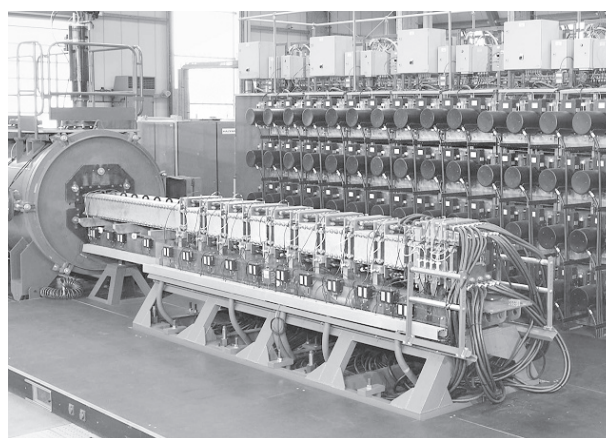


Рис. 9. Лабораторный вариант франко-немецкой ЭМП Pegasus

²Об управляемых гиперзвуковых снарядах HVP корпорации BAЕ Systems готовится отдельная статья.

³PILUM переводится с латыни как «копье».

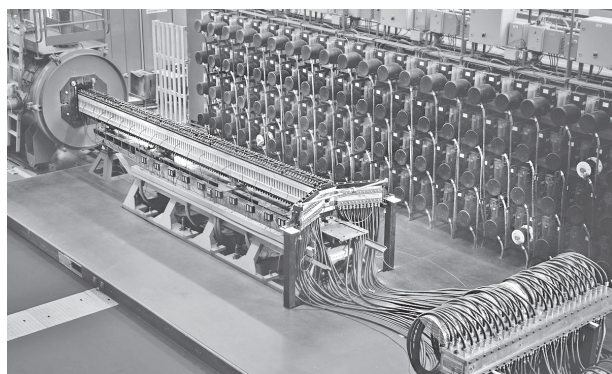


Рис. 10. Новый вариант ЭМП для проекта PILUM

Сен-Луи. По данным института Сен-Луи, первая часть проекта продлится два года, в течение которых будет доказано, что электромагнитная пушка «способна запускать гиперзвуковые снаряды ... на расстояние в несколько сотен километров» [11]. Пока речь идет скорее всего о расстоянии не более 200 км. В рамках проекта также будет изучена возможность интеграции рельсотрона в наземные и военно-морские платформы. Планируется создать демонстрационный образец управляемого снаряда и ЭМП к 2028 году [12].

Институт также обладает другой ЭМП под названием RAFIRA, которая используется для исследования возможности использования рельсотрона для защиты от противокорабельных ракет. RAFIRA имеет сечение проходного отверстия 5×5 мм. Из нее можно произвести залп до пяти выстрелов с «чрезвычайно высокой скорострельностью» [10]. В режиме одиночного выстрела RAFIRA может разгонять снаряды массой около 100 г до гиперзвуковой скорости 2400 м/с ($\sim 7,1$ чисел Маха) с ускорением более 100000 g. По результатам исследования института, для защиты от гиперзвуковых ракет необходима частота стрельбы более 50 Гц [10], т.е. 3000 выстр/мин.

Индия

Индия также разрабатывает ЭМП и снаряды к ней. Результаты первых работ в этом направлении индийские ученые опубликовали еще в 1994 году. Тогда были проведены исследования возможности метания тел массой 3–3,5 г с энергией выстрела 240 кДж. В ноябре 2017 года, по

данном государственной организации оборонных исследований и разработок (Defense Research and Development Organization — DRDO), ЭМП с квадратным отверстием 12 мм успешно прошла испытания, и ученые готовятся начать испытания модели 30 мм. Цель состоит в создании 10 МДж пушки, способной разогнать снаряд весом 1 кг до скорости более 2000 м/с. Пушка разрабатывается для ВМС Индии.

Китай

По словам академика РАН В.Е. Фортова, Китай «сейчас этой технологией активно занимается», только за 2015 год «в стране было опубликовано около 150 научных статей, посвященных этой тематике».

В 2018 году американский адмирал Джон Ричардсон заявил, что высшие военные чины ВМС «очень осведомлены» о китайских достижениях в данной области [2, р. 24]. Как сообщил в июне 2018 года глобальный телеканал CNBC, один из мировых лидеров в новостях о бизнесе, со ссылкой на источники в министерстве обороны США, которые непосредственно знакомы с последними отчетами военной разведки о новом военно-морском оружии Китая, китайский рельсотрон впервые был замечен в 2011 году и впервые испытан в 2014 году. Считается, что китайские военные впервые успешно установили это оружие на военный корабль ВМФ к концу 2017 года и начали ходовые испытания. В начале 2018 года танкодесантный корабль типа 072III «Haiyang Shan» с вооружением очень похожим на



Рис. 11. Китайский десантный корабль Haiyang Shan класса 072III, предположительно оснащенный действующим прототипом электромагнитной пушки

ЭМП (рис. 11) был замечен на реке Янцзы на верфи Учан в Ухане, а в конце 2018 года этот корабль отправился в плавание, возможно, для испытаний в открытом океане. Палуба корабля, предназначенная для перевозки 10 танков или 500 тонн другого военного груза, вполне может вместить само орудие, контейнеры для системы управления орудием и источники питания ЭМП. Появление ЭМП на корабле демонстрирует высокий уровень технологического развития Китая и может укрепить его военно-политическую позицию в Тихоокеанском регионе.

Турция

В Турции работы в данной области начались с производства импульсных источников питания в 1972 году. В 1985 году была разработана первая переключаемая силовоточная система с электронным управлением. Первая концептуальная модель ЭМП собрана в 2008 году [13].

Значительных успехов в области технологий электромагнитного метания достигла турецкая оборонная компания Yeteknoloji [13]. Компания специализируется в области направленной энергии, в частности на разработке импульсных источников питания, генераторах электромагнитных импульсов и высоковольтных микроволн, электромагнитных электродвигателях и другом оборудовании, работающем при больших токах и высоком напряжении. В 2013 году компания впервые создала свой собственный прототип электромагнитной пушки под рабочим названием EMFS-1 с энергией выстрела 20 кДж. В 2014 году Yeteknoloji разработала и поставила для крупной турецкой оборонной корпорации Aselsan свой третий прототип электромагнитной пушки EMFS-3 с энергией выстрела 150 кДж. В 2015 году Yeteknoloji начала производство первых композитных стволов для ЭМП и испытания пятого варианта пушки EMFS-5 с энергией выстрела 400 кДж [14].

В 2018 году компанией был создан первый не лабораторный, а передвижной прототип ЭМП Sahi209 Blok1, с возможностью испытаний «в поле». Образец имел следующие характеристики: энергия выстрела 1 МДж, длина ствола 3 м, масса метаемого тела 300 г, дальность 10 км, дульная скорость метаемого тела 3 числа Маха [13]. В этом же году компания Yeteknoloji подписала контракт



Рис. 12. 10 МДж электромагнитная пушка Sahi209 Blok2

с Подсекретариатом оборонной промышленности Турции (SSM) на дальнейшие разработки и поставку полевого прототипа электромагнитной пушки. И через год был представлен первый рабочий образец 10 МДж электромагнитной пушки Sahi209 Blok2, имеющий поворотную башню (рис. 12). Образец имеет длину ствола 7 м и метает снаряд калибром 35 мм, длиной 450 мм и массой 1000 г (рис. 13) со скоростью 6 чисел Маха (~ 2000 м/с) на максимальную дальность 50 км [14]. Масса всего метаемого тела, состоящего из снаряда, поддона и якоря, составляет 1,5 кг. С 2019 года проводятся полевые испытания пушки Sahi209 Blok2 и начаты стрельбовые испытания снарядов к этой пушке. Также в 2019 году пушка Sahi209 Blok2 была представлена на выставке IDEF 2019.

На данный момент компания разработала композитный поддон для снарядов и протестировала его в огневых испытаниях. Планируется разработать два варианта снаряда: с суббоеприпасами и бронебойный. В процессе разработки и тестирования находится взрыватель и суббоеприпасы, изучается круговое вероятное отклонение разрабатываемых снарядов, их ударное

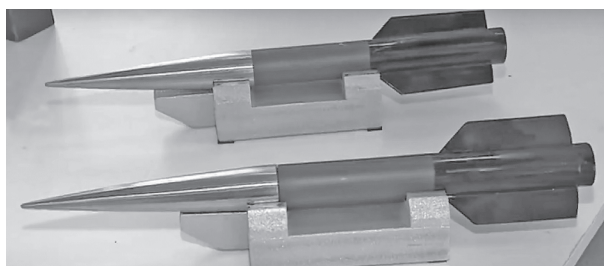


Рис. 13. Снаряды к пушке Sahi209 Blok2

воздействие и радиус поражения. По данным разработчика, образец Sahi209 Blok2 был произведен полностью на местном и национальном уровне за счет собственных ресурсов.

Заключение

Таким образом, несмотря на существенные технологические сложности создания электромагнитной пушки с большой энергией выстрела, мировые и региональные страны-лидеры стремятся к её созданию. Это открывает новые военные преимущества, дает политические дивиденды и существенный прогресс во многих технологических областях, включая накопление и преобразование энергии, аэротермодинамику, прочность материалов и технологии создания снарядов.

Литература

1. Electromagnetic (EM) Railgun. URL: <https://www.baesystems.com/en/product/electromagnetic-em-railgun> (дата обращения 15.10.2020).
2. Navy Lasers, Railgun, and Gun-Launched Guided Projectile: Background and Issues for Congress. Updated May 29, 2020. URL: <https://assets.documentcloud.org/documents/6935060/Navy-Lasers-Railgun-and-Gun-Launched-Guided.pdf> (дата обращения 15.10.2020).
3. Revolutionizing the Future of Naval Warfare with Electromagnetic Railgun Development. 1 Jul 2013. URL: <https://www.baesystems.com/en/article/revolutionizing-the-future-of-naval-warfare-with-electromagnetic-railgun-development> (дата обращения 15.10.2020).
4. General Atomics Railgun Projectile Development Passes Critical Tests at U.S. Army's Dugway Proving Ground. 22 June 2015. URL: <https://www.ga.com/general-atomics-railgun-projectile-development-passes-critical-tests-at-us-armys-dugway-proving-ground> (дата обращения 15.10.2020).
5. General Atomics Successfully Tests Railgun Hypersonic Projectiles. 10 May 2017. URL: <https://www.ga.com/general-atomics-successfully-tests-railgun-hypersonic-projectiles> (дата обращения 15.10.2020).
6. General Atomics Announces Next Generation Railgun Pulsed Power Containers. 09 March 2017. URL: <https://www.ga.com/general-atomics-announces-next-generation-railgun-pulsed-power-containers> (дата обращения 15.10.2020).
7. General Atomics Awarded Army Contract to Advance Railgun Weapon System Technology. 01 March 2018. URL: <https://www.ga.com/general-atomics-awarded-army-contract-to-advance-railgun-weapon-system-technology> (дата обращения 15.10.2020).
8. BAE systems Electromagnetic Railgun. Specifications. URL: <https://www.baesystems.com/en/download-en/20191121210840/1434555443481.pdf> (дата обращения 15.10.2020).
9. BAE Systems to Develop Next-Generation Guided Projectile for U.S. Navy. 7 Nov 2013. URL: <https://www.baesystems.com/en/article/bae-systems-to-develop-next-generation-guided-projectile-for-us-navy> (дата обращения 15.10.2020).
10. Electromagnetic acceleration. French-German Research Institute of Saint-Louis. URL: <https://www.isl.eu/en/42-recherches/laser-and-electromagnetic-technologies/514-railgun> (дата обращения 15.10.2020).
11. EDA selects the «PILUM» consortium, a disruptive-technology research project for innovative electromagnetic railgun. 11 June 2020. URL: <https://www.isl.eu/en/news-en/last-news-en/1047-press-release-eda-launches-studies-for-electromagnetic-railguns> (дата обращения 15.10.2020).
12. Towards a European Defence Union. 2019 Preparatory action on defence research (PADR) calls — description of selected proposals. URL: <https://eda.europa.eu/docs/default-source/documents/padr-calls-factsheet-v2.pdf> (дата обращения 15.10.2020).
13. Projects ŞAHİ-209. URL: <https://www.yeteknoloji.com/en/projects> (дата обращения 15.10.2020).
14. Electromagnetic Railgun Sahi209 Blok2. URL: https://www.yeteknoloji.com/wp-content/uploads/2019/04/sahi209_blok2_eng.pdf (дата обращения 15.10.2020).