

УДК 621.396.967; 621.396.662

Средства производственного контроля автодинных радиовзрывателей в период Второй мировой войны¹

Носков В. Я.

*Уральский федеральный университет
ул. Мира, 19, Екатеринбург, 620002, Российская Федерация
noskov@oko-ek.ru*

Получено: 8 сентября 2019 г.

Отрецензировано: 13 сентября 2019 г.

Принято к публикации: 16 сентября 2019 г.

Аннотация: *Рассмотрены основные аспекты создания радиовзрывателей в годы Второй мировой войны. Представлены результаты анализа технических решений контрольно-тестового оборудования автодинных радиовзрывателей, которое применялось при их производстве в США, Англии и Канаде в годы Второй мировой войны. Рассмотрено оборудование в виде металлических загрузочных боксов, которое экранирует излучение автодинов в пространство. Избыточная емкость, создаваемая стенками бокса, для радиовзрывателей метрового диапазона была нейтрализована индуктивной компенсацией внутри бокса. Рассмотрены также особенности конструкции боксов для радиовзрывателей дециметрового диапазона.*

Ключевые слова: *автодин, радиовзрыватель, автодинный радиовзрыватель, тестовое оборудование, загрузочный бокс.*

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Носков В. Я. Средства производственного контроля автодинных радиовзрывателей в период второй мировой войны // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2019. Т. 2, № 2. С. 227—244.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011): Носков, В. Я. Средства производственного контроля автодинных радиовзрывателей в период второй мировой войны / В. Я. Носков // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. — 2019. — Т. 2, № 2. — С. 227—244.

¹ Статья является расширенной версией доклада, представленного на 29-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» — КрыМиКо'2019 (Севастополь, РФ, 8—14 сентября 2019 г.).

Industrial check means of autodyne proximity fuses during World War II

V. Ya. Noskov

Ural Federal University

19, Mira Str., Yekaterinburg, 620002, Russian Federation

noskov@oko-ek.ru

Received: September 8, 2019

Peer-reviewed: September 13, 2019

Accepted: September 16, 2019

Abstract: *The basic aspects of radio fuses designing during the Second World War are considered. The results of the analysis of technical solutions for the control and test equipment of autodyne radio fuses, which were used in their production in the USA, England and Canada during the Second World War, are presented. The equipment in the form of metal loading boxes which shields the radiation of autodynes into the space is considered. The excessive capacity created by the box walls for meter-wavelength fuses was neutralized by inductive compensation inside the box. The design features of boxes for decimeter-wavelength range fuses are also considered.*

Keywords: *autodyne, radio fuse, autodyne radio fuse, test equipment, boot box.*

For citation (IEEE): V. Ya. Noskov, “Industrial check means of autodyne proximity fuses during World War II,” *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 2, no. 2, pp. 227–244, 2019. (In Russ.). doi: 10.15826/icrt.2019.02.2.21

1. Введение

В настоящее время автодины применяются в различных радиолокационных датчиках и измерителях на транспорте, промышленности и научных исследованиях [1—7]. Однако наиболее широкое использование они получили в качестве датчиков неконтактных взрывателей боеприпасов (радиовзрывателей — РВ) [8—12]. При реализации РВ простота конструкции, малые габариты и вес, а также низкая стоимость таких приемопередатчиков оказались наиболее ценными их качествами, которые достигнуты благодаря совмещению функций передатчика зондирующего и приемника отраженного от объекта локации излучения в одном каскаде — автогенераторе. Принцип действия этих устройств основан на автодинном эффекте — реакции генератора на внешнее воздействие, которая состоит в изменениях практически всех параметров генератора (амплитуды и часто-

ты колебаний, а также токов и напряжений смещения активного элемента генератора). Регистрация этих изменений в виде автодинного сигнала и его обработка обеспечивают решение задач обнаружения цели и измерение ее параметров относительного движения.

Автодинные РВ были разработаны и поставлены на самое массовое производство в США, Англии и Канаде в годы Второй мировой войны. Общий объем выпуска их превысил 20 миллионов штук. Он в несколько раз превосходил масштабы производства иной радиоэлектронной продукции военного назначения в те годы.

Наиболее ответственная за тактико-технические характеристики часть РВ — это, безусловно, его радиолокационная головка, собственно автодинный приемопередатчик. Сложность задачи контроля параметров этой части в условиях производства состоит в том, что автодин непосредственно связан с антенной и в реальных условиях он “работает” на свободное пространство. В связи с этим возникает вопрос, каким образом на производственных предприятиях в условиях скученности оборудования и ограниченности пространства удалось решить проблему электромагнитной совместимости? Поскольку поиск решения этой проблемы актуален и в наши дни, целью данной работы является анализ технических решений контрольно-тестового оборудования, которое применялось в ходе производства РВ в США, Англии и Канаде в годы Второй мировой войны.

2. Историческая справка о создании радиовзрывателя

“Сегодня один из наиболее прекрасных дней в моей жизни, поскольку вы показали мне оружие, с которым мы победим нацизм” — У. Черчилль, 1939 г.

Как отмечено выше, наиболее широкое применение автодины получили в годы Второй мировой войны в качестве датчика «близости» для дистанционных взрывателей. Сама идея создания такого взрывателя, который самостоятельно обнаруживал бы цель на заданном расстоянии, не являлась уникальной и высказывалась многими специалистами разных стран задолго до 1939 года. Неоднократно предпринимались попытки создания такого взрывателя, используя различные физические принципы и явления (инфракрасный, электростатический, магнитный, акустический и др.). Однако комплекс проблем на пути реализации этой идеи в то время был практически непреодолим [12—14].

Разрешить стоящие проблемы удалось английскому ученому А. Бьютменту (см. рис. 1, *a*) (William Alan Stewart Butement) [15]. Будучи помощником директора по научным исследованиям департамента Экспериментального Корпуса Воздушной Защиты (Air Defense Experimental

Establishment — ADEE), он руководил исследованиями по повышению эффективности зенитного и артиллерийского вооружения береговой защиты (CD) с применением радиолокационной техники. В октябре 1939 года он совместно с коллегами завершил разработку предложенного им дистанционного радиовзрывателя, в котором использовался в качестве датчика близости автодинный приемопередатчик. Эти взрыватели первое время пошли на оснащение авиационных бомб и реактивных снарядов, на борту которых механические воздействия на элементы электроники сравнительно невелики. Однако технологические возможности Великобритании того времени не позволили создать промышленный образец такого радиовзрывателя для артиллерийских орудий, выдерживающего механические перегрузки при артиллерийском выстреле.

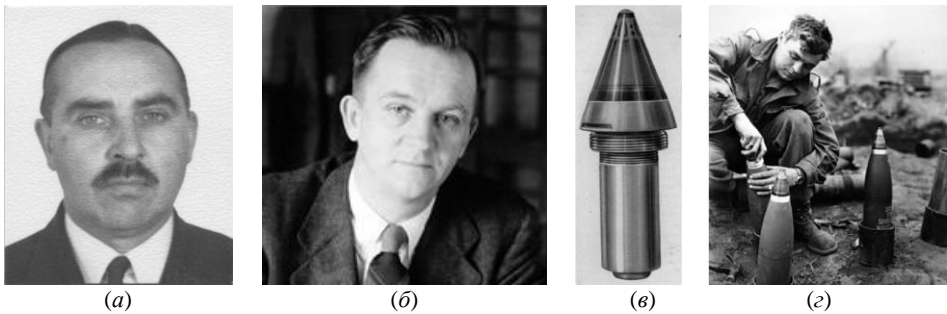


Рис. 1. Изобретатель автодинного радиовзрывателя английский ученый У. А. С. Бьюмент (а) и американский ученый-физик М. Э. Тьюв (б), сумевший создать автодинный радиовзрыватель для артиллерийских систем. Автодинный РВ (в) и американский солдат, готовящий снаряды к выстрелу (г).

Fig. 1. An English scientist W.A.S. Butement, the inventor of the autodyne radio fuse (a). An American physicist M.A. Tuve, who managed to design an autodyne radio fuse for artillery systems (b). Autodyne RF (c) and an American soldier preparing shells for firing (d).

В соответствии с неформальным соглашением между У. Черчиллем (Sir Winston Leonard Spencer-Churchill) и Ф. Д. Рузвельтом (Franklin Delano Roosevelt) об обмене научной информацией потенциально военного значения в сентябре 1940 г. США посетила английская делегация. Она передала американским коллегам наряду с другими разработками уникальный по своим параметрам (для того времени, конечно) магнетронный генератор для РЛС, а также документацию и образец РВ. Оба передаваемых объекта были высоко оценены американскими инженерами, которые по данным направлениям также вели работы, но менее успешно [16—18]. Схема английского РВ была принята за основу для разработки американского варианта взрывателя для артиллерийских систем [19].

Руководил проектом по созданию артиллерийского варианта РВ прекрасный организатор науки, известный ученый — физик, М.Э. Тьюв (Merle Antony Tuve) (см. рис. 1, б) [20]. При создании нового изделия [21] он сумел сконцентрировать усилия многих ученых и инженеров из самых разных фирм и университетов, внедрить последние технические и технологические новинки. Например, в сжатые сроки были разработаны ударостойкие электронные лампы и миниатюрные компоненты, которые ранее использовались в слуховых аппаратах; новые виды пластмасс и компаундов для заливки узлов электронных схем; источники питания, обеспечивающие длительное хранение без потери емкости; впервые при производстве аппаратуры использована технология печатного монтажа и многое другое.

Благодаря высокому научно-техническому и технологическому потенциалу Америки концепция и схема Бьютмента менее чем через год были адаптированы под самое массовое производство РВ в США, Британии и Канады (см. рис. 1, в). На последних стадиях войны зенитные снаряды, снабженные РВ, играли основную роль в защите Лондона от немецких летающих бомб V-1, отражении налетов немецкой авиации на караваны судов с поставками по Ленд-лизу (Lend-lease) и атак японских камикадзе на Тихоокеанском театре военных действий. При выполнении сухопутных операций на европейской территории после открытия союзниками Второго фронта также использовались артиллерийские снаряды с РВ против немецкой пехоты, показавшие высокую эффективность (см. рис. 1, г). Поскольку РВ вызывает подрыв снарядов на высоте 6—15 метров, то в таких случаях от осколков пехоту не спасают даже окопы. Жизни многих тысяч солдат союзников удалось сохранить благодаря созданию и активному использованию в боевых действиях снарядов с автодинными РВ. По мнению многих высокопоставленных военных, политиков и экспертов создание этого устройства считается вторым по важности после атомной бомбы достижением техники вооружения за годы ВМВ.

После войны М. Тьюв получил медаль “За заслуги” от президента Трумэна и был награжден орденом Британской империи. По этому случаю М. Тьюв, отметив свою роль в контексте, сказал, что “...радиовзрыватель не был изобретением одного человека; в нем было заложено множество изобретений и усовершенствований, как в США, так и в Британии” [22]. В свою очередь А. Бьютмент, годами позже, говорил, что он рассматривает радиовзрыватель как его наиболее важное достижение в жизни.

3. Краткие сведения об устройстве радиовзрывателей

Разработка и постановка на производство РВ для вращающихся снарядов, таких как зенитные и артиллерийские снаряды, были выполнены в 1941 году под эгидой Главного управления военно-морских сил (ГУ ВМС) США (United States Department of the Navy).

В то время как разработкой взрывателей для не вращающихся боеприпасов, таких как бомбы, ракеты и мины, руководило Главное управление сухопутных войск (ГУ СВ) США (United States Army). Далее рассмотрим конструктивные особенности РВ, разработка и процесс производства которых контролировались службами ГУ СВ. Некоторые из этих взрывателей, установленных на боеприпасах, показаны на рис. 2.

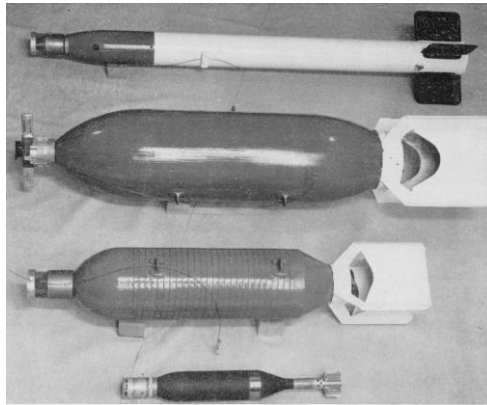


Рис. 2. Внешний вид (см. сверху вниз) высокоскоростной самолетной ракеты, бомб массой 500 и 265 фунтов и снаряда для минометного 81-мм орудия, оснащенных РВ.

Fig. 2. Appearance (see from top downwards) of a high-speed aircraft missile, bombs weighing 500 and 265 pounds, and a shell for a mortar 81-mm gun equipped with an RF

Существование РВ было одним из самых тщательно охраняемых секретов США и их союзников, поскольку РВ является неочевидным достижением науки и техники, поставившим средства вооружений на качественно новый уровень. Ученые многих стран имели представление о возможности создания такого РВ, но только США и их союзники смогли перейти от концепции к практической реализации, эффективной эксплуатации и производству. Простой в общей теории, РВ чрезвычайно сложен в достижении реализации идеи, находящейся за гранью творческого успеха. Он объединил в единое целое целый ряд научных и практических аспектов.

Во-первых, РВ должен удовлетворять чисто военным требованиям, таким как конструктивно соответствовать существующим боеприпасам,

т.е. он должен легко заменять другие типы взрывателей, например, механические. Во-вторых, он должен быть способен выдерживать длительные условия хранения и работать в широком диапазоне температур. В-третьих, он не должен изменять баллистические характеристики боеприпасов. В-четвертых, он должен соответствовать другим строгим требованиям, касающимся времени активации, безопасности и эффективности боеприпаса, а также выдерживать механические перегрузки при транспортировке и использовании. Например, при выстреле из миномета перегрузки на элементы РВ могут составлять до 10g. Ограничения по габаритам для РВ, обусловленные необходимостью взаимозаменяемости с механическими взрывателями, поставили разработчиков в очень жесткие условия. В этот объем должны поместиться такие узлы РВ, как приемопередатчик с антенной, усилитель с тиратроном, генератор переменного тока с выпрямителем и фильтром и другие (см. рис. 3).

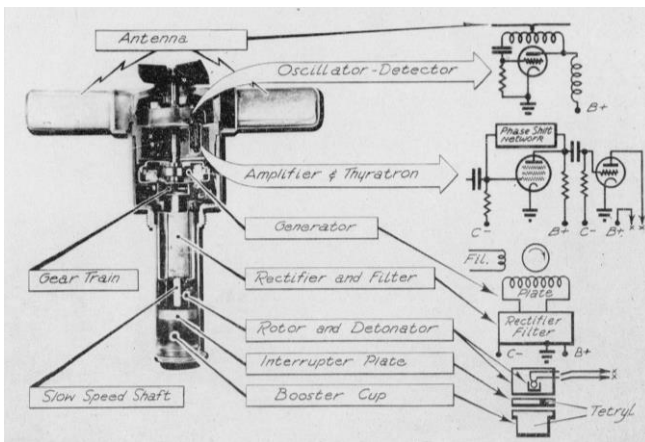


Рис. 3. Общий вид РВ в поперечном сечении (слева) и его основные узлы (справа): Antenna — антенна; Oscillator-Detector — генератор-детектор (автодин); Amplifier and Thyatron — усилитель и тиратрон; Generator — генератор переменного тока источника питания; Rectifier and Filter — выпрямитель и фильтр источника питания; Gear Train — зубчатая передача от оси пропеллера (вверху) к ротору генератора; Rotor and Detonator — ротор генератора и детонатор; Interrupter Plate — пластина прерывателя; Booster Cup — чашка инициатора; Slow Speed Shaft — вал малой скорости; Tetryl — взрывчатое вещество.

Fig. 3. General view of the RF in cross section (left) and its main nodes (right)

Перечисленные выше требования к элементам и узлам РВ вызвали необходимость разработки новых малогабаритных и, в тоже время, прочных радиоэлектронных компонентов. К счастью, тенденции достижения “малогабаритности” и “прочности” идут “вместе”. Вес элементов пропор-

ционален кубу линейного размера, а опорная площадь пропорциональна его квадрату. Таким образом, уменьшение размеров в 10 раз приводит к тому, что прочность объекта при ускорении также увеличивается на порядок. Сопротивление центробежным силам и изгибающим моментам также значительно увеличивается за счет уменьшения размера. Это есть причина, что электронные компоненты, которые обычно считаются хрупкими, могут быть сконструированы таким образом, чтобы выдерживать высокие вибрационные и ускоряющие силы, возникающие в различных снарядах.

4. Организация производства радиовзрывателей

Для ускорения процесса массового производства под каждый тип РВ были разработаны типовые проекты цехов, планы размещения сборочных линий отдельных узлов и устройства в целом, участков испытания на ударные и вибрационные воздействия, а также контроля чувствительности автодинного приемо-передатчика. В планах размещения оборудования и рабочих мест были предусмотрены участки окончательного тестирования РВ. Вся необходимая документация по развертыванию производства передавалась заинтересованным фирмам. Варианты общего вида отдельных участков цеха по сборке РВ представлены на рис. 4 [10].



Рис. 4. Общий вид участков цеха по сборке РВ.

Fig. 4. General view of the sections of the RF assembly workshop

Контролю качества производства РВ уделялось особое внимание. Выполнение каждой операции контролировалось инспектором ГУ СВ США (по-нашему — военпредом). Количество этих инспекторов насчитывалось порядка 10% от общего числа занятых в производстве. При этом для целей производственного контроля выходных параметров РВ была решена задача создания высокопроизводительных стандов, максимально воспроизводящих условия работы РВ в реальной обстановке (см. рис. 5).

В производственных условиях на участок контроля параметров РВ образцы РВ поступают в полностью собранном виде (см. рис. 5) и какие-либо дальнейшие их конструктивные изменения далее были недопустимы. На этом участке оцениваются рабочие характеристики и качество работы отдельных секций РВ, т.е. высокочастотной (ВЧ) части, усилительной схемы, детонатора и источника питания. При этом оператору не ставилась задача выполнения общего тестирования устройства.

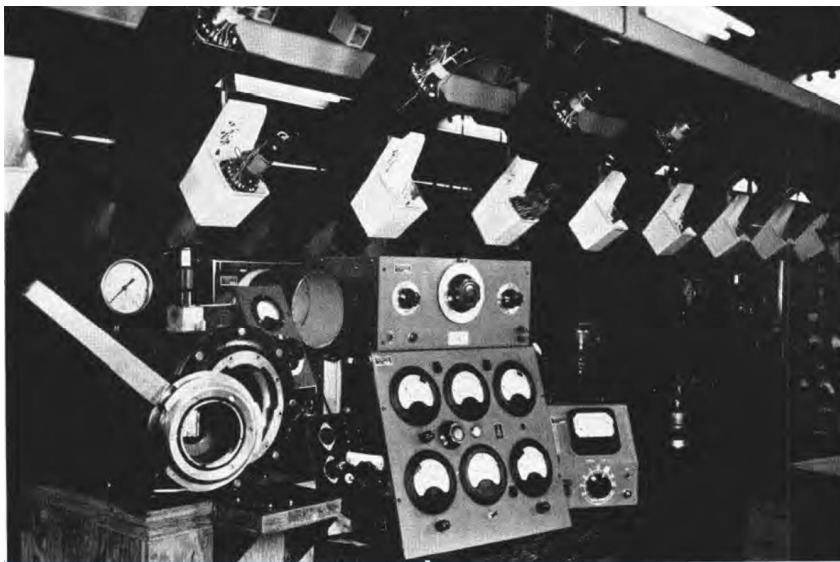


Рис. 5. Окончательная тестовая позиция на производственной линии. В верхней части фотографии показаны взрыватели, прибывающие в небольших коробочках с линии сборочного конвейера.

Fig. 5. The final test position of the production line. At the top of the photo fuses arriving in small boxes from the assembly line are shown

Причины такого подхода связаны с необходимостью выявления конкретного дефекта. Если бы были применены общие тесты, можно было бы компенсировать низкую чувствительность одной части за счет другой, при этом дефект может оказаться замаскированным. Например, РВ с аномально низкой чувствительностью ВЧ части может успешно запускать тиратрон за счет высокого усиления усилительного каскада, поскольку одна секция компенсирует другую. Если ВЧ часть необычно чувствительна, РВ может иметь тенденцию к самовозбуждению. Следовательно, в таком случае вероятность сбоев в РВ сильно возрастает за счет выхода параметров этой части за пределы допуска.

Наиболее ответственная за тактико-технические характеристики часть РВ — это, безусловно, его ВЧ часть, собственно автодинный приемопередатчик (“oscillator-detector” в американской терминологии тех лет [8—10]). Необходимо отметить, что тестирование РВ необходимо не только во время их изготовления, но и периодически при их длительном хранении с тем, чтобы определить, находятся ли несущая частота и чувствительность автодина в допустимых пределах.

Необходимо отметить, что открытые сведения о РВ и стендовом оборудовании в печати появились только после лета 1944 года, когда в ходе операции против немецких войск, предпринявших контрнаступление, были впервые применены снаряды, оснащенные РВ. До этого случая РВ применялись только на своей территории для отражения воздушного нападения и над морем. После операции против немецких войск они, согласно правилам США, утратили гриф секретности.

5. Тестовое оборудование для радиовзрывателей метрового и дециметрового диапазонов длин волн

Для исключения влияния соседних объектов на поле излучения антенны и взаимодействия между собой контрольно-тестовой аппаратуры измерение параметров РВ выполнялось в экранированных загрузочных устройствах (боксах) (см. рис. 6) [10, 23—25].

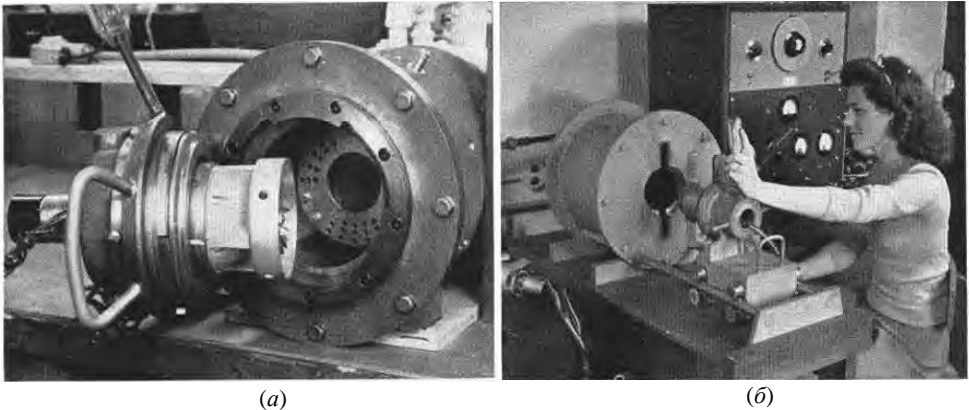


Рис. 6. Тестовое оборудование в виде загрузочных боксов для РВ с круглой формой излучающей системы (а) и с дипольным излучателем (б).

Fig. 6. Test equipment in the form of loading boxes for RF with a round-shaped emitting system (a) and with a dipole emitter (b)

Размеры боксов в поперечнике составляли около 2 футов. Передний щиток бокса, на который крепился РВ, по форме и размерам соответствовал боеприпасам, для которых он предназначался. Эта мера обеспечивает в условиях бокса реализацию условий, близких к реальным, которые имеют место на борту боеприпаса в свободном пространстве. При этом обеспечиваются заданная выходная мощность автодина и требуемая частота генерации.

Избыточная емкость, создаваемая стенками бокса, для РВ метрового диапазона была нейтрализована индуктивной компенсацией внутри бокса (см. поз. "tuning inductance" на рис. 7, а). В некоторых конструкциях боксов [26] для настройки стенда в резонанс наряду с индуктивностью вводились дополнительные конденсаторы постоянной и переменной емкости (см. поз. 3 и 12 на рис. 7, б, в).

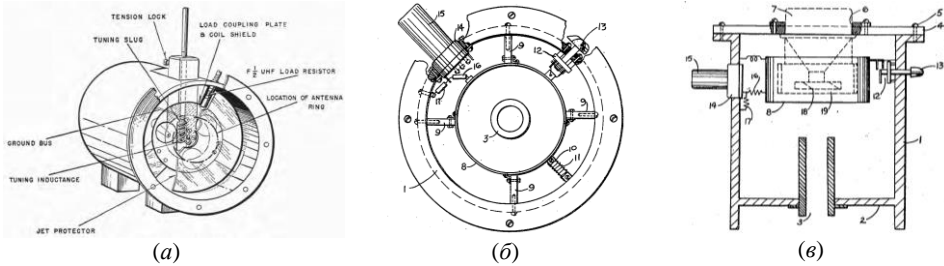


Рис. 7. Компенсация избыточной емкости бокса переменной индуктивностью (а) и параллельным соединением индуктивности, емкости и дополнительного подстроечного конденсатора (б), (в).

Fig. 7. Compensation of the excessive capacity of the box with a variable inductance (a) and with a parallel connection of inductance, capacity and an additional trim capacitor (b), (v)

Для имитации воздействия на автодинный генератор отраженного излучения для РВ метрового диапазона параллельно излучателю подключалось нагрузочное сопротивление. Компенсация его емкостной составляющей производилась также с помощью параллельного соединения емкости и индуктивности. При этом операция подключения нагрузочного сопротивления в первое время выполнялась вручную, что значительно затягивало процесс тестирования РВ (см. рис. 8, а и б).

Для сокращения времени тестирования в дальнейшем были предложены различные технические решения, которые могли вызывать изменения нагрузки генератора иным способом. Наиболее распространенный из них состоял в изменении параметров электронной лампы. Например, посредством изменения выходного сопротивления электронной лампы со стороны катода (см. поз. 15 на рис. 7, б, в и рис. 9, а) при вариациях

напряжения на ее сетки, входного сопротивления со стороны сетки при вариации анодного напряжения или внутреннего сопротивления со стороны анода при вариации сеточного напряжения [25]. В некоторых случаях в качестве имитатора использовался диодный выпрямитель с изменяемым от низкочастотного генератора смещением и индикатор настройки [10] (см. рис. 9, б и в). Когда эта цепь была настроена на резонансную частоту, она вносила в автодинный генератор только вариации резистивного сопротивления нагрузки. При этом параметры вносимого сопротивления и глубины его модуляции обычно определялись путем опытного подбора под условия работы РВ в свободном пространстве.



(a)



(б)

Рис. 8. Подключение скомпенсированных параллельным соединением индуктивности и емкости резисторов к излучателям РВ круглой формы (а) и с диполем (б).

Fig. 8. Connection of the resistors compensated by a parallel assembly of the inductors and capacitance to the round-shaped radiators of RF (a) and with a dipole (b)

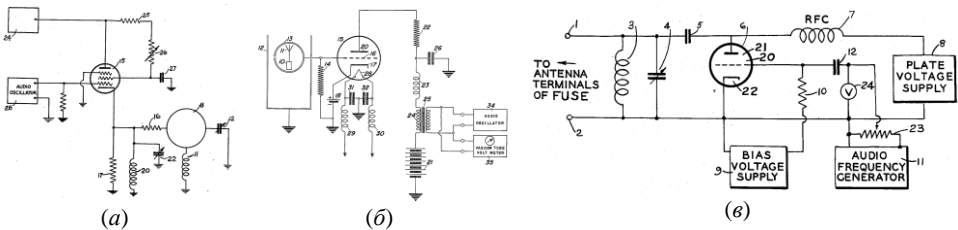


Рис. 9. Варианты подключения к РВ электронной лампы для изменения нагрузки генератора при тестировании автодинов: в цепь катода (а) [26], в цепь управляющей сетки (б) [27] и в цепь анода (в) [28] электронной лампы.

Fig. 9. Variants of connecting an electronic lamp to the RF to change the oscillator load while testing autodynes: to the cathode circuit (a) [26], to the control grid circuit (b) [27] and to the anode circuit (c) [28] of the electronic lamp

Боксы экспериментальных стендов для РВ дециметрового диапазона выполнялись в виде встроенных одна в другую аксиально двух отрезков труб различных диаметров. При этом они реализовали отрезок коаксиальной линии, настраиваемый в резонанс на рабочую частоту РВ при помощи подвижного шунта с резистором, контактирующего с поверхностями обеих труб (см. рис. 10, поз. 34). Для изменения нагрузки генератора, имитирующего воздействие на автодинный генератор отраженного излучения, в полость резонатора вводилась нагруженная резистором рамка, вращающаяся вокруг своей продольной оси при помощи микроэлектродвигателя (см. поз. 43 на рис. 10, а, б [29]). В иных конструкциях для имитации изменений нагрузки генератора использовалась неподвижная рамка, в разрыв которой был подключен модулирующий диод (39) (см. рис. 10, в [30]).

Для контроля частоты генерации автодина обычно использовался частотомер или измерительный приемник, слабо связанные с полем коаксиального резонатора через зонд (см. поз. 56 на рис. 10, а и б) и (см. поз. 35 на рис. 10, в). Необходимо отметить, что для исследования РВ на воздействие активных помех описанные стенды также могут быть использованы. Для этого можно использовать аналогичные зонды для ввода сигнала помех в полость коаксиального резонатора.

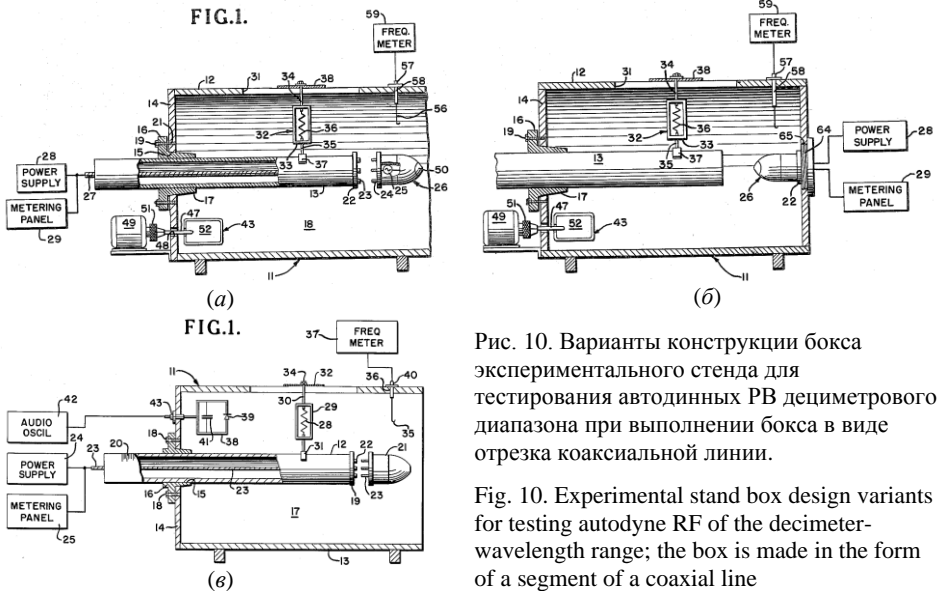


Рис. 10. Варианты конструкции бокса экспериментального стенда для тестирования автодинных РВ дециметрового диапазона при выполнении бокса в виде отрезка коаксиальной линии.

Fig. 10. Experimental stand box design variants for testing autodyne RF of the decimeter-wavelength range; the box is made in the form of a segment of a coaxial line

Вышеописанные стенды из-за резонансных свойств камер могли тестировать РВ только определенного типа и в строго ограниченном диапа-

зоне частот. На практике часто необходимо тестировать РВ, находящихся на хранении, которые имеют разные рабочие частоты, типы антенн (электрические и магнитные) и различные диаграммы направленности антенн. В таком случае, очевидно, что желательно иметь испытательное оборудование, в котором исключается применение резонансных камер. Одно из таких технических решений стенда, способного решать указанную проблему, представлено на рис. 11 [31].

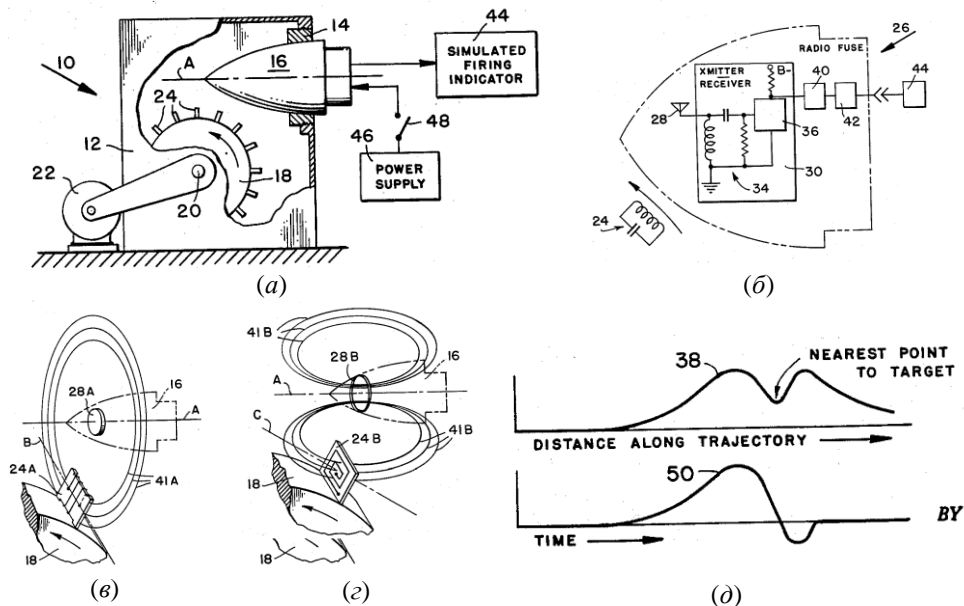


Рис. 11. Вариант конструкции бокса экспериментального стенда для тестирования автодинных генераторов РВ дециметрового диапазона, использующих различные типы антенн (а); функциональная схема РВ (б); схемы взаимодействия концентрического магнитного поля антенны РВ с катушкой (в), (г); кривые зависимости огибающей сигнала от величины относительного расстояния между целью и РВ (д).

Fig. 11. An experimental stand box design variant for testing autodyne RF of the decimeter-wavelength range using various types of antennas (a); RF functional circuit (b); interaction schemes of the concentric magnetic field of the RF antenna with the coil (c), (d); curves of the envelope of the signal on the relative distance between the target and the RF (d)

Стенд 10 (см. рис. 11, а) включает в себя бокс 12, который снабжен отверстием 14, выполненным с возможностью установки РВ 16. Внутри бокса 12 имеется колесо 18, выполненное из диэлектрика с низкой диэлектрической проницаемостью. Ось 20 этого колеса посредством шкивов и приводного ремня связана с вращающимся двигателем 22. Устройство 10 может тестировать любое требуемое количество РВ, имеющих различные диа-

граммы направленности антенны и несущей частоты. С этой целью в нем имеется множество открытых настроенных на требуемую частоту катушек 24, которые расположены под определенным углом по периферии колеса 18. Для каждого из типов РВ имеется соответствующая катушка, которая наиболее эффективно взаимодействует с полем излучения антенны РВ. РВ 16 (см. рис. 11, б) представляет собой миниатюрный доплеровский радиолокатор 26, содержащий антенну 28, автодинный приемо-передатчик и схему обнаружения. Приемо-передатчик 30 содержит резонансную схему 34, связанную с антенной 28 и активный элемент 36 автодина, который работает одновременно в режиме генерации и преобразования частоты доплеровского сигнала.

На рис. 11, в представлена схема взаимодействия концентрического магнитного поля антенны РВ с катушкой концентрического магнитного поля 41а антенны РВ с катушкой 24а, плоскость которой совпадает с осью РВ, а на рис. 11, г — схема взаимодействия эллиптического магнитного поля 41в антенны РВ с катушкой 24в, плоскость которой перпендикулярна оси РВ.

Для решения задачи обнаружения цели в РВ 26 (см. рис. 11, д) используется известное в радиолокации явление особенностей формирования доплеровского сигнала при относительном перемещении цели и ракеты. Кривая огибающей сигнала сначала увеличивается по мере приближения РВ к цели из-за увеличения амплитуды отраженного излучения. Затем вблизи точки наименьшего расстояния между целью и ракетой амплитуда доплеровского сигнала имеет “провал” в связи с нулевым значением частоты Доплера. График этой зависимости отражен в виде кривой 38 на рис. 11, д. Этот сигнал выделяется полосовым усилителем и передается в схему обнаружения для выдачи команды на подрыв боевой части снаряда в наиболее выгодном положении относительно цели для ее поражения.

6. Заключение

Одним из крупнейших достижений результатов исследований и разработок радиовзрывателей времен Второй мировой войны явилось то, что они проложили путь к миниатюризации, которая вошла в электронную промышленность и создала предпосылки для нынешней эры интегральных схем. Создание радиовзрывателя явилось мощным толчком к развитию целых направлений в электронной технике и материаловедении, освоению новых передовых технологий в приборостроении и военной техники, а также теоретической базы, без которой любой прогресс в науке и технике практически невозможен.

Результаты выполненного обзора технических средств контроля основных параметров автодинных радиовзрывателей видно насколько оригинальными и интересными были технические решения, позволившими в короткие сроки решить проблему не только создания взрывателя качественно нового уровня, но и поставить их на массовое производство. По нашему мнению, эти решения представляют в наши дни не только историческую, но и техническую ценность.

Интересно отметить, что путь от идеи до серийного образца радиовзрывателя, проделанный американскими коллегами за год, в условиях СССР потребовал нескольких лет. Как нам представляется, это связано не только со значительным различием в уровне развития технологий, но и с порядком организации научной и изобретательской деятельности ученых и инженеров. В поддержку этого тезиса уместно привести интересные воспоминания о М. Э. Тьюв его биографа П. Абельсона (P. H. Abelson) [22]. Он отмечал, что основным компонентом успеха М. Э. Тьюв при разработке радиолокационного взрывателя было, несмотря на военное положение, использование демократических принципов в своей работе и в общении с людьми. Эти принципы, по словам самого М. Э. Тьюв, “...работают так хорошо, что вся команда охватывает все так энергично, что в процессе большинства работ была борьба, как бы мне удержаться вместе с ними. Я часто чувствовал себя подобно коротконогому ослу, пытающемуся удержаться и не отстать от бегущих скаковых лошадей”.

Список литературы

1. Усанов Д. А., Скрипаль Ал. В., Скрипаль Ан. В. Физика радиоволновых и оптических автодинов. — Саратов : Изд-во СГУ, 2003. 310 с.
2. Усанов Д. А., Скрипаль Ал. В., Скрипаль Ан. В., Постельга А. Э. Сверхвысокочастотный автодинный измеритель параметров вибраций // Приборы и техника эксперимента. 2004. № 5. С. 130—134.
3. Усанов Д. А., Постельга А. Э. Восстановление сложного движения участка тела человека по сигналу радиоволнового автодина // Медицинская техника. 2011. Т. 45, № 1. С. 8—10.
4. Лушев В. П., Воторопин С. Д., Дерябин Ю. Н., Журинов Ю. Б., Потапов М. Г. Автодинные СВЧ датчики перемещения для измерения скорости горения высокоэнергетических композиционных материалов // 15-я Международная крымская конференция “СВЧ-техника и телекомм. технологии”. Севастополь, 2005. С. 831—833.
5. Закарлюк Н. М., Носков В. Я., Смольский С. М. Бортовые автодинные датчики скорости для аэробаллистических испытаний // 20-я Международная крымская конференция “СВЧ-техника и телекомм. технологии”. Севастополь, 2010. С. 1065—1068.
6. Комаров И.В., Смольский С.М. Основы теории радиолокационных систем с непрерывным излучением частотно-модулированных колебаний. — М. : Горячая линия. Телеком. 2010. 391 с.

7. Носков В. Я., Варавин А. В., Васильев А. С., Ермак Г. П., Закарлюк Н. М., Игнатков К. А., Смольский С. М. Современные гибридно-интегральные автодинные генераторы микроволнового и миллиметрового диапазонов и их применение. Ч. 9. Радиолокационное применение автодинов // *Успехи современной радиоэлектроники*. 2016. № 3. С. 32—86.
8. Rocket F. Proximity Fuze // *Electronics*. 1945. № 11. С. 110—111.
9. Hunton R. D., Miller B. J. Generator-Powered Proximity Fuze // *Electronics*. 1945. № 12. С. 98—103.
10. Ellett A., Bush V., Conant J. B. Radio Proximity Fuzes for FIN-Stabilized Missiles // USA, office of SRD, NDRC. Columbia University. Division of War Research. Washington, D. C., 1946. Т. 1. 488 с.
11. Alidoost S. A., Sadeghzade R., Fatemi R. Autodyne System with a Single Antenna // 11-th International Radar Symposium (IRS 2010). Conference Proceedings (Vilnius, Lithuania 16–18 June 2010). Vilnius, Geozondas LTD, 2010. С. 406—409.
12. Носков В. Я. История зарождения и развития автодинных радиовзрывателей // 23-я Международная крымская конференция “СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии”. Севастополь, 2013. С. 26—29.
13. Burns R. W. Early History of the Proximity Fuze (1937–1940) // *IEE Proceedings A — Science, Measurement and Technology*. 1993. Т. 140. № 3, С. 224—236.
14. Burns R.W. Factors Affecting the Development of the Radio Proximity Fuse 1940–1944. *IEE Proceedings – Science, Measurement and Technology*. 1996. Т. 143, № 1. С. 1—9.
15. Носков В. Я. Автодинный радиовзрыватель — генеральная заслуга А. Бьютмента // 27-я Международная Крымская конференция “СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии”. Москва; Минск; Севастополь, 2017. Т. 8. С. 1734—1740.
16. W.A.S. Butement. Available at: <http://ru.wikipedia.org/> (accessed 10 April 2017).
17. History of radar. <http://en.academic.ru/dic.nsf/enwiki/639958>.
18. Butement W. A. S., Pollard P. E. Coastal Defense Apparatus. *Inventions Book of the Royal Engineers Board*, Jan. 1931.
19. Butement W. A. S., Shire E. S., Thomson A. F. H. Пат. 585 791 (Великобритания) Improvements in or Relating to Projectiles. February 25, 1947.
20. M. A. Tuve. Available at: <http://www.nap.edu/html/biomems/mtuve.html> (accessed 10 April 2013).
21. Tuve M. A., Roberts R. B. Пат. 3 166 015 (США). Radio Frequency Proximity Fuze. June 19, 1965.
22. Abelson P. H. Marle Antony Tuve: 1901–1982. A Biographical Memoir. National Academies Press. Washington D. C. Copyright 1996. Available at: <html/biomems/mtuve.pdf> (accessed 10 April 2013).
23. Hinman W. S., Brunetti C. Radio Proximity Fuze Design // *Part of Journal of Research of the National Bureau of Standards*. RP-1723. 1946. Т. 37, № 7. 18 с.
24. Hinman W. S., Brunetti C. Radio Proximity Fuze Development // *Proceedings of the I.R.E. and Waves and Electrons*. 1946. № 12. С. 976—986.
25. Page C. H., Astin A. V. Survey of Proximity Fuze Development // *American Journal of Physics*. 1947. Т. 15, № 2. С. 95—110.
26. Nels J., Bradley W. E. Пат. 2 448 889 (США). Proximity Fuse Testing Apparatus. September 16, 1944.
27. Jackson F.H. Пат. 2 715 725 (США). Circuit Tester for Electronic Fuzes for Munitions. July 31, 1946.
28. Bell R. A. Пат. 2 727 140 (США). Proximity Fuse Adjusting Means. August 25, 1944.
29. Plotkin G. N. Пат. 3 015 820 (США). Radiation Load Simulator for Proximity Fuse. August 04, 1958.

30. King D. D. Пат. 3 025 462 (США). Radiation Load Simulator. October 12, 1956.
31. Quinlivan J. E. Пат. 3 161 878 (США). Apparatus and Method for Testing Radio Fuses. March 07, 1961.

Информация об авторе

Носков Владислав Яковлевич, доктор технических наук, профессор кафедры радиоэлектроники и телекоммуникаций Института радиоэлектроники и информационных технологий — РТФ Уральского федерального университета, г. Екатеринбург, Российская Федерация. ORCID 0000-0003-2434-1742.

Information about the author

Vladislav Ya. Noskov, Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Radio Electronics and Telecommunications, Institute of Radio Electronics and Information Technologies – RTF, Ural Federal University, Ekaterinburg, Russian Federation. ORCID 0000-0003-2434-1742.