
УДК 551.507.321.4

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАЗРАБОТКИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ТРОСОВЫХ АНТЕНН ДВ- И СДВ-ДИАПАЗОНОВ

В.А. Розов, ведущий инженер ОАО «РИМР»; rosoff@mail.ru

Ю.И. Шестаков, начальник лаборатории ОАО «РИМР», к.т.н.

В.К. Христич, главный конструктор ООО «Конструктор»

***Ключевые слова:** вертикальная тросовая антенна, привязной аэростат, привязной трос, СДВ-диапазон.*

Введение. С конца 50-х по 90-е годы прошлого века велись интенсивные работы по созданию передающих вертикальных тросовых антенн, поднимаемых с помощью привязных аэростатов. Для стационарных и мобильных СДВ-радиостанций разрабатывались антенно-аэростатные устройства с высотой подъема тросовых антенн от 2 до 4 км. В качестве носителя тросовой антенны использовались аэростаты каплевидной (обтекаемой) формы с оперением в кормовой части для аэродинамической устойчивости аэростата в ветровом потоке. Оболочки аэростатов объемом от 2000 м³ до 5000 м³ изготавливались из многослойных материалов на основе лавсана и заполнялись подъемным газом гелием. Тросовая антенна (привязной кабель-трос) была сделана из стальной сверхпрочной проволоки, наружная часть которой покрывалась электропроводящим слоем в виде оплетки из медной проволоки диаметром 0,3 мм – излучающего элемента антенны.

Анализ экспериментальных исследований и результатов многолетних испытаний показал, что наиболее эффективными являются передающие вертикальные тросовые ан-

тенны на стационарных и мобильных СДВ-радиостанциях. Вопросы надежности таких антенн практически сводились к низкой живучести привязных аэростатов, особенно при эксплуатации их в сложных погодных условиях (сильный ветер, гроза, гололед).

Постановка задачи и методы решения. Сегодня, благодаря появлению современных материалов с малой газопроницаемостью, новых технологий и технических решений, стало возможным решить многие не решенные ранее проблемы и создать высоконадежные, принципиально новые по конструкции аэростаты и привязные тросы. В числе главных задач на нынешнем этапе – повышение устойчивости аэростатных антенн к сложным метеоусловиям и улучшение эксплуатационных и стоимостных характеристик антенно-аэростатных устройств.

В ОАО «РИМР» было принято решение о проведении исследований в области создания вертикальных тросовых антенн с аэростатической и аэродинамической подъемной силой. Но если создание вертикальной тросовой антенны на основе новых материалов особых сложностей не вызывало, то в части аэростата имелись серьезные проблемы – необходимо было создать высоконадежный, устойчивый к экстремальным погодным условиям привязной аэростат.

Исследования велись по нескольким направлениям. Одно из них – создание привязного аэростата с высокими аэродинамическими свойствами, выдерживающего нагрузки при скорости ветра более 20 м/с и надежно защищенного от грозы и гололеда. Таким решением стало совмещение конструкции сферического привязного аэростата с зонтичной (емкостной) частью вертикальной тросовой антенны.

Одновременно рассматривалась возможность устойчивого положения привязного аэростата в заданной точке пространства, что также немаловажно для сохранения входных параметров аэростатной антенны. С этой целью была изготовлена модель аэростатной антенны зонтичного типа.

Экспериментальные исследования и продувка модели аэростата с системой его стабилизации и гибких элементов зонтичной антенны проводились при изменении положения шара в пространстве путем направления моделируемых наземных якорных устройств к набегающему потоку (рис. 1 и 2).

Результаты, полученные при продувке модели в аэродинамической трубе в ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, легли в основу конкретных технических решений, на которые было выдано несколько патентов. Один из них – «Аэростатная антенна зонтичного типа» (№ 2340986), принадлежащий ОАО «РИМР», удостоен диплома на IX Московском международном салоне инноваций и инвестиций и золотой медали на IV Международном салоне изобретений и новых технологий «Новое время» (Севастополь, сентябрь 2008 г.).

Другое перспективное направление исследований – создание вертикальных тросовых антенн с аэродинамическим носителем в виде крыла, запускаемого встречным ветровым потоком с подвижных средств или с помощью пневмопушки на высоту 2 км.

Вертикальные тросовые антенны новой конструкции. Аэростатная антенна зонтичного типа (рис. 3) включает в себя:

- аэростат сферической формы с полновыполненным баллонетом;
- пропущенную через верхний и нижний полюса аэростатной оболочки вертикальную токопроводящую штангу;
- флюгирующее аэродинамическое устройство, свободное вращающееся в верхней части вертикального штока;
- емкостную нагрузку зонтичного типа, выполненную из эластичных штанг с токопроводящим покрытием, которые одними концами прикреплены к верхней части вертикальной токопроводящей штанги, другими, радиально расходящимися и подпружиненно согнутыми, – к катанарному поясу аэростата.

Для надежного удержания привязного аэростата на высоте верхняя часть его оболочки охвачена фартуком, армированным лентами из высокопрочных сверхвысокомодульных (СВМ) нитей. Фартук соединен с тремя привязными тросами, выполненными также на основе СВМ-материалов. Один из тросов, выступающий в качестве антенны с токопроводящим покрытием, подсоединен через катанарный пояс аэростата к вертикальной токопроводящей штанге, а нижним концом – к фидеру передатчика.

Два других привязных троса выполнены в виде шлангов из газонепроницаемого материала. Верхними своими концами они подключены через катанарный пояс к газовым частям оболочки аэростата, разделенной полновыполненным баллонетом, а нижними – через разводные блоки к газгольдерам. Аэростатная лебедка осуществляет подъем и посадку аэростата при помощи лебедки, катушка которой выполнена из трех секций и разводных блоков.

Предложенные конструкторские решения позволяют производить газоподполнение или замену его (например, ге-

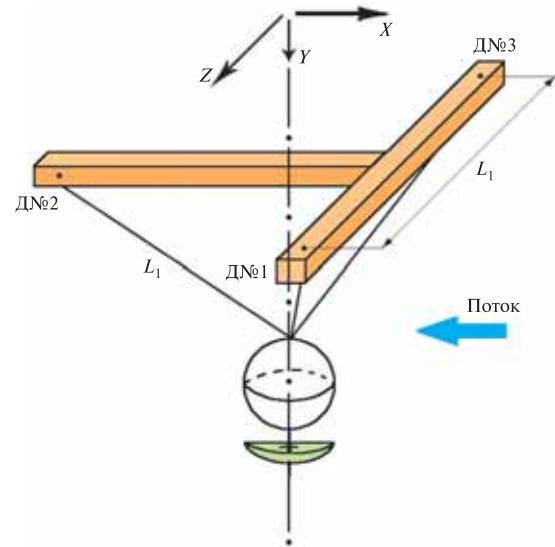


Рис. 1. Схема крепления модели аэростата на рамной подвеске

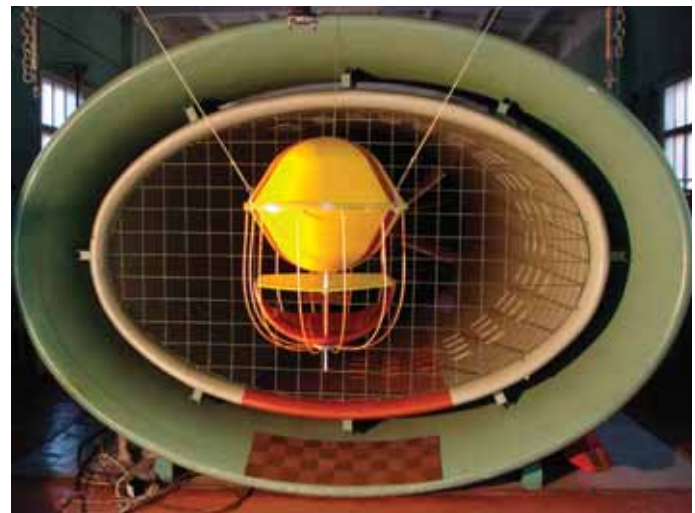


Рис. 2. Модель аэростатной антенны новой конструкции в аэродинамической трубе («трубное» – перевернутое положение модели)

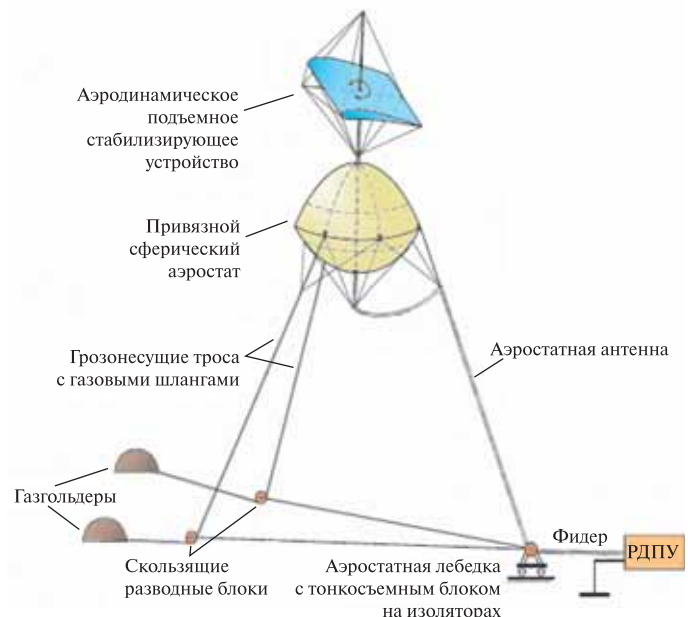


Рис. 3. Аэростатная антенна зонтичного типа

ля на водород) в оболочке без спуска аэростата на землю. Это значительно снижает эксплуатационные затраты и увеличивает продолжительность стояния аэростатной антенны на высоте, причем замена одного газа другим абсолютно безопасна для обслуживающего персонала.

Отличительными особенностями предлагаемой аэростатной антенны зонтичного типа являются:

- повышенная надежность эксплуатации привязного аэростата при сильном порывистом ветре со скоростью более 20 м/с, грозе и гололеде;
- размещение емкостной нагрузки тросовой антенны над оболочкой аэростата;
- подполнение оболочки аэростата газом или замена одного газа другим без спуска аэростата на землю.

Антенно-аэростатное устройство зонтичного типа (ААУ ЗТ), предназначенное для передачи радиосигналов в СДВ- и ДВ-диапазонах со стационарных или мобильных СДВ- и ДВ-радиостанций, может использоваться в качестве резервной антенны для стационарных и основной антенны для мобильных СДВ- и ДВ-радиостанций. В состав ААУ ЗТ входят привязной аэростат, емкостная нагрузка (зонтик), устройство стабилизации аэростата в пространстве, средства наземного обеспечения.

Привязной аэростат имеет сферическую форму с полностью выполненным баллонетом и привязными тросами, один из которых служит вертикальной тросовой антенной. Емкостная нагрузка состоит из радиально расходящихся от верхней части вертикального токопроводящего штока эластичных штанг с токопроводящим покрытием. Устройство стабилизации аэростата в пространстве представляет собой флюгирующее аэродинамическое крыло.

К средствам наземного обеспечения относятся:

- аэростатное удерживающее устройство;
- аэростатная лебедка с разводными блоками;
- газовое хозяйство (газгольдеры с газовыми шлангами, компрессор, баллоны с газом (гелий, водород), манометры и шланги высокого давления);
- система управления, блокировки и сигнализации;
- устройство аварийной посадки аэростата;
- дизель-генератор;
- средства связи;
- метеостанция;
- запасное имущество (ЗИП);
- средства доставки и развертывания.

Привязной аэростат удерживает вертикальную тросовую антенну с емкостной нагрузкой (зонтиком) на высоте. Зонтик увеличивает действующую высоту антенны и защищает оболочку аэростата от грозы. Устройство стабилизации обеспечивает устойчивость аэростата в ветровом потоке и увеличивает подъемную силу за счет аэродинамической составляющей крыла.

Антенно-аэростатное устройство предназначено для развертывания и обслуживания привязного аэростата у земли. Аэростатная лебедка через разводные блоки осуществляет подъем аэростатной антенны на нужную высоту и спуск ее на аэростатное удерживающее устройство.

Система управления, блокировки и сигнализации служит для ручного и дистанционного управления подъемом и спуском аэростатной антенны (основной и выносной пульты управления), а также осуществляет блокировку и сигнализацию при сбоях в работе ААУ или неправильных действиях обслуживающего персонала.

Устройство аварийной посадки аэростата используется для экстренной посадки вышедшей из строя аэростатной ан-

тенны путем дистанционного вскрытия оболочки аэростата. Газовое хозяйство предназначено для наполнения и подполнения подъемным газом оболочки аэростата. Электролизная установка служит для получения водорода из воды.

Компрессорное оборудование компримирует подъемный газ из газгольдеров в баллоны. Дизель-генератор обеспечивает подачу электроэнергии в отсутствие основного энергопитания на ААУ ЗТ.

Дистанционное управление антенно-аэростатным устройством по телеграфным или радиоканалам, получение суточного, декадного или месячного метеопрогноза, а также экстренного сообщения о выходе из строя ААУ осуществляются с помощью средств связи. Метеопрогноз (направление, скорость и сила ветра, температура, атмосферное давление, влажность воздуха в непосредственной близости от антенны) поступает с метеостанции на объекте.

Запасное имущество (ЗИП) рассчитано на замену наиболее часто выходящих из строя элементов системы и отработавшего положенный срок расходного имущества.

К средствам доставки и развертывания ААУ ЗТ относится грузовой автотранспорт с высокой проходимостью, например «КамАЗ», «Урал» (не менее трех машин с прицепами). Для снаряжения и осмотра технического состояния оболочки аэростата предполагается использовать автовышку с люлькой.

Функциональные возможности и основные тактико-технические характеристики аэростатной ДВ- и СДВ-антенны:

- диапазон рабочих частот 15–100 кГц;
- диаграмма направленности в горизонтальной плоскости круговая;
- подводимая мощность до 200 кВт;
- коэффициент полезного действия 0,15–0,8 в зависимости от рабочей частоты и высоты подъема антенны;
- полоса пропускания частот 80–4200 Гц в зависимости от рабочей частоты;
- высота подъема антенны до 2000 м;
- диаметр тросовой антенны 11,2 мм;
- время непрерывного нахождения антенны в рабочем (вертикальном) положении более 30 суток;
- время развертывания ААУ ЗТ на подготовленной площадке в зависимости от количества привязных тросов от 4 до 8 часов.
- электроснабжение антенны осуществляется за счет основного или резервного источника питания трехфазного переменного тока напряжением 380 В и частотой 50 Гц.

Отличительные особенности ААУ ЗТ:

1. Повышенная устойчивость ААУ ЗТ к сильным ветрам (со скоростью более 20 м/с) благодаря исключению образования «ложки» на оболочке аэростата, усилению катанарного пояса аэростата и креплению привязных строп не точно к оболочке аэростата, а к охватывающему верхнюю ее часть фартуку.

2. Защита аэростата от грозы путем размещения зонтичной части антенны над верхней частью оболочки аэростата, принимающей на себя грозовые разряды.

3. Высокая защищенность оболочки аэростата от налипания мокрого снега (образования гололеда) с помощью антигололедного покрытия (напыления) аэродинамического крыла с фартуком обтекаемой формы. Кроме того, при работе на антенну зонтичная ее часть нагревается, что также способствует защите от гололеда.

4. Улучшение эксплуатационных и стоимостных характеристик аэростата при сохранении на том же уровне радиотехнических параметров аэростатной антенны. Это обеспечивается:

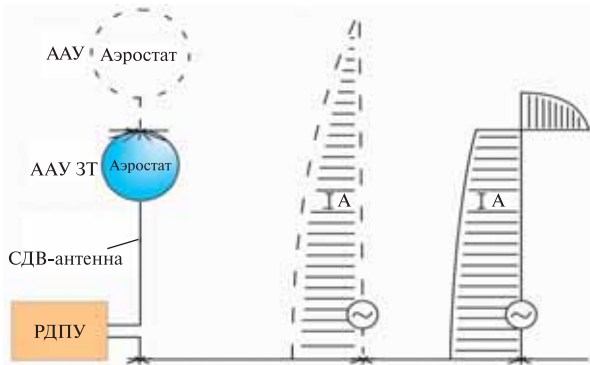


Рис. 4. Схема подключения емкостной нагрузки (зонтика) к верхней части тросовой антенны

– газоподполнением оболочки аэростата или заменой гелия на водород без спуска аэростата на землю, что значительно увеличивает время нахождения аэростата на высоте (более 30 суток) и благодаря невысокой стоимости водорода позволяет снизить эксплуатационные расходы на антенну, обеспечивая при этом безопасность обслуживающего персонала на должном уровне;

– за счет подключения емкостной нагрузки (зонтика) к верхней части тросовой антенны – при снижении ее физической длины сохраняются радиотехнические параметры антенны (действующая высота). Это позволяет уменьшить объем аэростата, в результате чего сокращается время развертывания аэростатной антенны и снижается стоимость ААУ ЗТ в целом (рис. 4).

При сохранении физической длины аэростатной антенны зонтичного типа в 2000 м увеличивается действующая высота антенны и, соответственно, улучшаются ее основные радиотехнические характеристики, которые могут быть приравнены к аэростатной антенне длиной 2400 м, при подводимой к антенне мощности в зависимости от частоты до 200 кВт (таблица).

f , кГц	X_A , Ом	R_{Σ} , Ом	R_A , Ом	η	I_A , А	P_{Σ} , кВт	P_A , кВт	$U_{\text{вх}}$, кВ
15	624	8,86	12,46	0,41	81,6	32,1	71,3	46,9
20	317	17,66	21,38	0,73	97,8	143	163,6	38
25	79	31,0	39,8	0,80	75,0	170	185	6,5
30	5	33,6	40,7	0,86	74,0	182	194	3,0

Перспективные направления создания мобильной СДВ- и ДВ-связи. ДВ- и СДВ-радиостанции с предлагаемой конструкцией ААУ ЗТ могут быть разнесены на десятки километров друг от друга для работы в режиме сложения мощностей в пространстве, что позволяет увеличить дальность связи.

Для увеличения дальности связи несколько СДВ-радиостанций с аэростатными антеннами могут быть объединены в единую структуру в целях работы в режиме пространственного сложения их мощностей, т.е. в режиме фазированной антенной решетки (ФАР), на одной частоте. Энергетический эффект такой структуры выражается в увеличении уровня поля в точке приема за счет коэффициента направленного действия (КНД) ФАР и увеличения суммарной излучаемой мощности в n раз, где n – количество радиостанций в структуре ФАР.

КНД зависит от конфигурации ФАР (линейная поперечная или продольная, круговая), количества излучателей и относительных расстояний между излучателями d/λ , где λ – длина волны. При $d/\lambda \leq 1/8$ проявляется сильное влияние излучателей друг на друга и происходит переизлучение. КНД

фазированной антенной решетки приблизительно совпадает с КНД синфазной антенны.

Работа в зоне переизлучения крайне затруднительна из-за рассогласования радиопередающих устройств (РПДУ), и требуется проведение нескольких итераций последовательного приближения к настройке всех РПДУ. При этом необходимость в повторной настройке возникает при смене как рабочей частоты, так и азимута излучения.

При $d/\lambda \gg 1$ формируется многопестковая диаграмма направленности, но сохраняется значение КНД в максимуме диаграмм направленности. В общем случае КНД ФАР может быть больше или меньше величины n в максимуме диаграммы направленности.

Для обеспечения синфазного сложения полей в пространстве в заданном направлении каждая радиостанция должна обладать информацией о координатах других радиостанций и устанавливать по ним фазу излучаемого сигнала относительно единого для всех радиостанций опорного сигнала. Поэтому радиостанции, входящие в структуру ФАР, подлежат оснащению навигационными средствами (GPS, ГЛОНАСС и др.) и должны быть объединены в единую сеть линиями связи (лучше по кольцу), по каналам которых производят обмен данными, сигналами синхронизации опорных генераторов, сигналами управления и диагностики технических средств, а также передают и распределяют информационные сигналы. Одну из радиостанций назначают головной.

Следует отметить одну важную особенность структуры СДВ-радиостанций с ФАР. С точки зрения наблюдателя, находящегося в дальней зоне, источник излучения пеленгуется как точечный, а в ближней зоне формирования диаграммы направленности ($\sim 10\lambda$) возникает неопределенность пеленга из-за несинфазности полей от отдельных излучателей и реактивности поля. Поэтому при перемещении наблюдателя в этой зоне будут регистрироваться большие флуктуации пеленга, вплоть до его пропадания и скачков. По этой причине высокоточное наведение и эффективное воздействие на такую пространственно рассредоточенную на десятки квадратных километров излучающую структуру становится крайне затруднительным.

Объединение нескольких (порядка четырех–восьми) подвижных радиостанций в пространственно разнесенную структуру с ФАР по энергетической эффективности эквивалентно стационарной СДВ-радиостанции. Это позволяет создавать резервные СДВ-радиостанции, обеспечивать их электропитанием от типовых дизельных электростанций типа «Энергия 2×100» и дислоцировать их вблизи пунктов управления, отказавшись от капитального строительства.

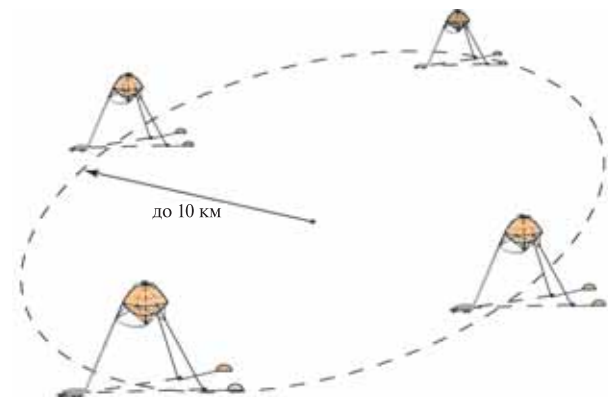


Рис. 5. Схема сложения мощностей в пространстве ДВ- и СДВ-радиостанций

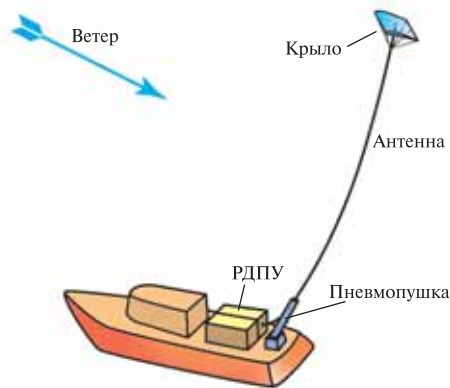


Рис. 6. Устройство разворачивания вертикальных тросовых антенн с аэродинамическим носителем с надводных средств

Одним из перспективных направлений создания мобильной СДВ- и ДВ-связи является размещение радиостанций СДВ (ДВ) на надводных кораблях. Например, для СДВ-радиостанции в контейнерном исполнении, устанавливаемой в кормовой части такого корабля, в качестве СДВ-антенны может с успехом использоваться тросовая антенна на основе синтетического СВМ-каната, выводимая вместе с аэродинамическим крылом с помощью пневмопушки на рабочую высоту до 2 км. При этом тросовая антенна вертикально удерживается за верхний конец с помощью аэродинамического крыла, наполняемого встречным ветровым потоком (принцип змея), а нижний ее конец прикрепляется к фидеру СДВ-радиопередатчика (рис. 6). При отсутствии ветра корабль движется и создает необходимый встречный ветровой поток, удерживающий с помощью аэродинамического крыла тросовую антенну в вертикальном положении. Вертикальное положение тросовой антенны позволяет работать СДВ-передатчику в зависимости от рабочей частоты с высоким КПД (17–80%) и обеспечивать надежную связь, например, с погруженными подводными лодками.

После завершения сеанса связи включается специальная лебедка на выбиране, тросовая антенна наматывается на шпульку, затем шпулька вместе с аэродинамическим крылом укладывается в контейнер и вставляется в ствол пневмопушки для очередного запуска его на высоту. Запуск контейнера осуществляется при помощи подключенного к пневмопушке баллона со сжатым воздухом или углекислым газом. Возможен запуск антенн с аэродинамическим носителем и с мобильных средств (рис. 7).

Заключение. Анализ теоретических исследований и полученных результатов при испытании модели аэростатной антенны зонтичного типа в аэродинамической трубе (ФГПУ «ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова») показал перспективность работ в области привязных аэростатов зонтичного типа для подъема вертикальных тросовых антенн. Высокая надежность ААУ ЗТ обуславливается возможностью эксплуата-

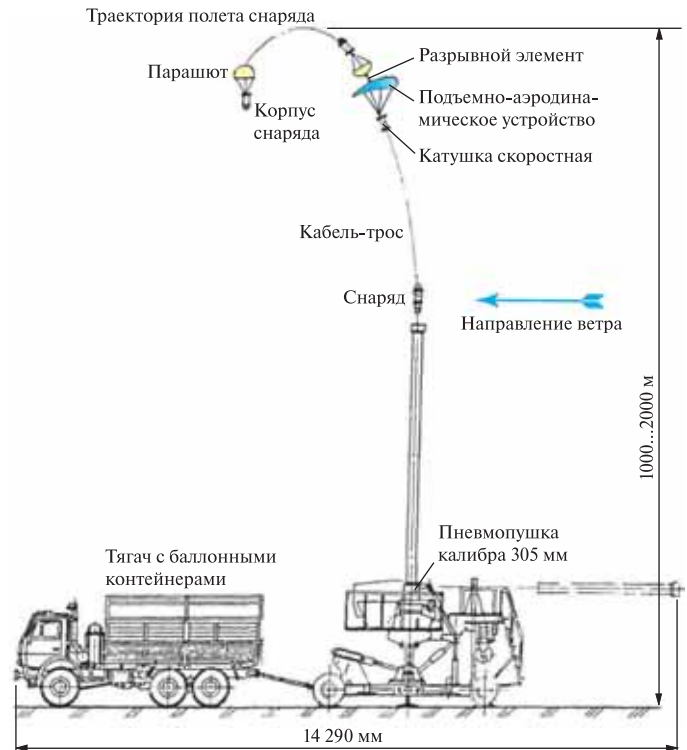


Рис. 7. Устройство разворачивания высотных систем

ции их в сложных метеоусловиях и способностью работать в режиме сложения в составе нескольких радиостанций, что значительно увеличивает дальность связи и затрудняет обнаружение, а следовательно, и уничтожение передающих СДВ-радиостанций.

Замена гелия на водород значительно снижает стоимость эксплуатации антенно-аэростатных устройств, сохраняя при этом полную безопасность персонала при обслуживании аэростата.

Способность длительного и устойчивого удержания аэростата на высоте в заданной точке при любых погодных условиях на трех тросах может быть применена для подъема на высоту различных радиоэлектронных средств, например РЛС, узконаправленных приемопередающих антенн, УКВ-радиостанций, систем и комплексов сотовой связи, аппаратуры наблюдения и контроля (аппаратура ночного видения, тепловизоры), а также для трансляции спортивных и других мероприятий.

При необходимости быстрого разворачивания или передачи особо важных сигналов пристального внимания заслуживают вертикальные тросовые антенны, выстреливаемые с помощью пневмопушки и удерживаемые на высоте с помощью аэродинамического крыла.

Получено 15.09.11