

УДК 629.7**Разработка методики проектирования мобильных привязных
аэростатных комплексов нового поколения**

Пономарев П.А.

Аннотация.

В статье приведены основные отличительные особенности нового поколения мобильных привязных аэростатных комплексов, дано описание их структуры и рассмотрен обобщенный алгоритм проектирования.

Ключевые слова: привязной аэростат; мобильный привязной аэростатный комплекс; методика проектирования; удерживающее аэростатное устройство; канат-кабель; система электроснабжения; ходовые базы; полезная нагрузка.

В наши дни силовые ведомства многих стран мира: США, Израиля, Индии, Китая, ведущих европейских государств, Бразилии и Венесуэлы, а также известные авиастроительные и телекоммуникационные компании, все чаще обращают внимание на воздухоплавательную технику. Основными задачами, решаемыми дирижаблями и аэростатами, являются контроль воздушного пространства, обеспечение коммуникации и связи, охрана сухопутных и морских границ, разведывательное обеспечение полицейских и военных операций.

Одним из наиболее перспективных средств, обеспечивающих длительное функционирование полезной нагрузки на высоте, являются современные мобильные привязные аэростатные комплексы (ПАК) /1/.

В Российской Федерации наибольших успехов в создании аэростатов различных конструктивных схем добилось НПО «Авгурь – РосАэроСистемы», которое занимается разработкой, изготовлением и эксплуатацией воздухоплавательной техники уже более десяти лет. За этот период накоплен большой опыт создания дирижаблей и привязных аэростатов различных конструктивных схем /2/.

ЗАО «Воздухоплавательный центр «Авгурь» является головной организацией данного НПО. В последние годы одним из основных направлений деятельности предприятия являются опытно-конструкторские работы по созданию мобильных аэростатных комплексов на основе привязных аэростатов. Данные работы ведутся, в том числе и в рамках Гособоронзаказа.

Анализ рынка показывает, что спрос на подобные комплексы неуклонно растет. При этом вопрос особенностей методологии создания ПАК остается открытым. На данный момент отсутствуют серьезные исследования, которые рассматривают ПАК как единое целое с учетом всех противоречий и нюансов, возникающих при их проектировании. Настоящая статья, написанная на основе опыта, полученного в ЗАО «Воздухоплавательный центр «Авгурь» является попыткой в первом приближении восполнить этот пробел.

Главную задачу подобных исследований можно было бы сформулировать следующим образом: создание подробной методики проектирования типового ряда мобильных ПАК, каждая позиция которого была бы конкурентоспособна в своем массово-габаритном диапазоне и имела бы возможность с максимально возможной легкостью адаптироваться под различные варианты полезных нагрузок, при условии минимизации количества позиций типового ряда.

Настоящая работа посвящена определению отличительных особенностей нового поколения мобильных привязных аэростатных комплексов, описанию их структуры и разработке обобщенного алгоритма проектирования.

К настоящему моменту находятся на стадии испытаний или уже успешно завершены проекты по созданию привязных аэростатов объемом от 75 м^3 до 12000 м^3 , для привязных аэростатных комплексов различного исполнения. Данные привязные аэростаты имеют схожую компоновку и созданы на основе типовых проектных решений /3/.

ПАК обычно включает в себя: привязной аэростат (ПА), комплекс наземного обеспечения, канат-кабель, систему электроснабжения (СЭС), аэро-

статное удерживающее устройство, аэростатную лебедку кабельную и прочее.

Полезная нагрузка (ПН) обычно не является составной частью аэростатного комплекса и проектируется отдельно. Несмотря на ряд сложностей, возникающих на таком пути, именно это направление представляется наиболее перспективным, так как только в этом случае может быть создан многофункциональный ПАК, который может быть легко адаптирован к новой целевой ПН.

Новое поколение ПАК возникло, прежде всего, благодаря бурному научно-техническому прогрессу в области радиоэлектроники, который привел к появлению различных устройств: ретрансляторов, радаров, систем наблюдения и пр., имеющих относительно малую массу и энергопотребление. Вместе с этим появление новых материалов для аэростатных оболочек, а также относительно легких канат-кабелей, обеспечивающих удержание ПА в воздухе, передачу электроэнергии и информации по оптоволокну, сделало возможным создание ПАК для длительного удержания и бесперебойного функционирования полезной нагрузки на рабочей высоте. Появление автоматической системы поддержания избыточного давления в оболочке ПА расширило диапазон рабочих высот, температур и предельных скоростей ветра.

Необходимо заметить, что на сегодняшний день существует два основных варианта исполнения системы поддержания избыточного давления в оболочке: стягивающая (на основе эластичных жгутов) и автоматическая (включающая дифференциальный датчик давления, контроллер и вентиляторы, нагнетающие заборный воздух в баллонет). Соответственно ПА имеют оболочки переменного и постоянного объема.

ПА со стягивающей системой проще: не имеют баллонета, что позволяет использовать весь объем оболочки для несущего газа, нет необходимости в канат-кабеле (синтетические или стальные канаты проще в эксплуатации и не требуют сложной лебедки). При необходимости электропитание ПН осуществляется от источника, размещенного на борту ПА. Однако такие аэ-

ростаты имеют более узкий диапазон условий функционирования, прежде всего по ветрам, меньшую продолжительность непрерывной стоянки на высоте, ограниченный диапазон вариантов полезных нагрузок.

ПА с автоматической системой поддержания избыточного давления более сложны, имеют баллонет, развитую систему энергоснабжения, обеспечиваются электропитанием через канат-кабель, но более подходят со всех точек зрения для выведения на высоту различной радиоэлектронной аппаратуры.

На сегодняшний день можно сказать, что ПА со стягивающей системой имеют обычно объем от минимально возможного до 800 м^3 , а с автоматической - от 400 м^3 и больше. Мобильные ПАК могут создаваться с ПА обоих типов, однако к новому поколению мобильных комплексов, скорее всего, можно отнести только ПАК с ПА постоянного объема.

Исходя из опыта создания ПАК на основе привязных аэростатов различного объема, представляется, что предельное значение объема ПА для мобильного комплекса не должно превышать 5000 м^3 . При дальнейшем увеличении объема становится крайне сложным создать мобильное удерживающее устройство, пригодное для перемещения в транспортном положении по обычным автомобильным дорогам.

На основе вышеизложенного новое поколение мобильных ПАК можно охарактеризовать, прежде всего, следующими отличительными особенностями: 1) ПАК предназначен для длительного удержания на высоте различного радиоэлектронного оборудования, 2) ПА имеет автоматическую систему поддержания избыточного давления; 3) оболочка ПА изготовлена методом сварки из современных тканепленочных материалов; 4) ПА способен сохранять форму и относительно стабильное положение в пространстве при изменении скорости и направления ветра; 5) в состав ПАК входит канат-кабель для передачи на борт ПА электроэнергии; 6) ПАК имеет практически полную автономию в процессе эксплуатации.

Все эти факторы в совокупности значительно расширяют возможности современных ПАК по сравнению с предыдущими аналогами и с одной стороны делают эти комплексы легко перебазированными, а с другой позволяют обеспечить длительную стоянку ПА на рабочей высоте и соответственно бесперебойную работоспособность полезной нагрузки в широком диапазоне погодных условий.

Приведенные ниже структура и алгоритм проектирования ПАК охватывают не только мобильные, но и стационарные комплексы. При проектировании мобильных комплексов дополнительную сложность представляет компоновка аэростатного оборудования на ходовых базах. Особенно это касается наземной части СЭС. Но наибольшую трудность при проектировании представляет требование автономности комплекса, которое приводит к необходимости размещения на ходовых базах не только комплекта привязного аэростата, но и автономных источников электропитания, запаса топлива для них, мест размещения и средств жизнеобеспечения личного состава, грузопозволяющих средств, средств связи, метеообеспечения и пр.

В общем случае структура мобильного ПАК выглядит следующим образом:

1 Привязной аэростат в составе:

- оболочка с баллонетами и оперением (при необходимости на оболочке для защиты ПН устанавливается мягкий воздушнонаполненный обтекатель с системой поддержания избыточного давления);
- воздушно-газовая система (ВГС): воздушные клапаны, газовые клапаны, заправочный клапан, бароклапан, обратные клапаны;
- узел привязи;
- такелаж привязной;
- такелаж механизации;
- рамы крепления оборудования ПА и ПН;
- носовое усиление;

- бортовая часть системы контроля и управления привязным аэростатом (СКУ ПА): бортовая аппаратура управления (в том числе аппаратура преобразования сигналов датчиков системы контроля параметров ПА); аппаратура связи по радиолинии, система определения местоположения и ориентации;

- электрооборудование: система контроля и управления ВГС (СКУ ВГС), бортовая аккумуляторная батарея с термоконтейнером; бортовой преобразователь и распределительное устройство электропитания (которые составляют бортовую часть СЭС); бортовые аэронавигационные огни; аварийный радиомаяк для поиска; агрегаты воздухоподполнения; блоки вторичного электропитания агрегатов воздухоподполнения; комплект электрических соединительных кабелей и жгутов;

- молниезащита;

- противообледенительная система.

Возможна установка системы спасения отсека полезной нагрузки и системы принудительного отцепа канат-кабеля, однако целесообразность установки данных систем и оценка эффективности их работы требуют дополнительного исследования и продолжительной экспериментальной отработки.

2 Комплекс наземного обеспечения (КНО) в составе:

- мобильные средства технического обслуживания с устройством для погрузки/разгрузки оболочки ПА и другого оборудования;

- средства наземного обеспечения (СНО): устройства заземления, стремянки, приспособление для очистки от снега и льда, устройства для подвески ПН, осветительное оборудование, подстилочное полотно, переносные радиостанции, метеокомплект и т.п.;

- мобильное аэростатное удерживающее устройство (АУУ): помимо поворотной платформы с причальной мачтой и лебедками механизации, АУУ может быть оснащено системой наземного воздухоподполнения;

- лебедка кабельная (ЛК) (конструктивно размещается на АУУ);

- канат-кабель (КК);
 - наземная часть СЭС: автономные источники питания, преобразователи, кабели;
 - средства газонаполнения и газообеспечения (для больших объемов ПА - передвижной газовый заправщик (ПГЗ));
 - наземная часть СКУ ПА: наземный пост управления ПА (НПУ) (может быть совмещен с пультом управления полезной нагрузкой), наземные приемо-передающие устройства связи;
 - средства жизнеобеспечения обслуживающего расчета.
- 3 Запасные части, инструмент, принадлежности (ЗИП).

Естественно, что структура мобильных ПАК с аэростатом небольшого объема гораздо менее развита, чем в случае аэростата большого объема. На ПА объемом 400-500 м³ может оказаться целесообразным применение вместо воздушнонаполненного - жесткого парусовидного оперения. Также может отсутствовать СКУ ПА и вместо мобильного АУУ использоваться пневмоопорные конструкции. При увеличении объема ПА, структура ПАК все усложняется и при наличии соответствующих требований может полностью соответствовать вышеприведенной.

Однако, скорее всего, при проектировании структуру ПАК неправильно представлять в виде разветвляющегося дерева, так как можно выделить ряд систем, проходящих «насквозь» весь ПАК, составные элементы которых могут присутствовать или взаимодействовать с каждой из этих частей. Это прежде всего СЭС, СКУ ПА, система защиты от молнии и статического электричества. Структура ПАК приведена на рисунке 1.

Идеологически каждая из таких «сквозных» систем представляет единое целое, но структурно часто разбита на две части: наземную и бортовую. При проектировании необходимо увязывать всю систему в целом и каждую часть отдельно, с учетом требований, характерных для наземного или бортового оборудования.

Особой составной частью является канат-кабель, поскольку через него проходят все электрические и механические связи между ПА и КНО. Иногда в КК добавляется электрический или чаще оптический канал связи ПН.



Рисунок 1. Структурная схема привязного аэростатного комплекса.

При проектировании ПАК часто возникает много противоречий, которые возможно преодолеть, только опираясь на четкую методику проектирования, обширную базу знаний по конструктивным решениям, материалам и технологиям. За основу расчета параметров ПАК берутся данные о полезной

нагрузке и условиях ее функционирования: габаритные размеры, массово-инерционные характеристики, потребляемая мощность, рабочая высота, температурный диапазон и максимальная скорость ветра.

Зачастую данные о ПН на ранних стадиях проектирования ПА носят весьма приблизительный характер. При этом определить объем и другие параметры ПА и ПАК, можно только в первом приближении. На этом этапе существует опасность взять для дальнейших расчетов явно завышенное значение объема.

В силу конструктивных и эксплуатационных особенностей привязных аэростатов, при увеличении объема существуют, так скажем, естественные пределы тех или иных технических решений, которые существенным образом влияют на облик, как самого ПА, так и комплекса в целом.

Нельзя при этом забывать экономический фактор. Так как ПАК, спроектированный на базе ПА, имеющего избыточный объем может проиграть в конкурентной борьбе. В связи с этим необходимо четкое понимание целесообразности тех или иных требований Заказчика, например ограничения по времени развертывания, автономности ПАК, максимально допустимым скоростям ветра на разных этапах функционирования ПА (развертывании, подъеме, стоянке), численности расчета комплекса. Необходимо представление о том, как скажутся на составе и стоимости ПАК различные технические решения: выбор способа базирования ПА; выбор типа АУУ; наличие или отсутствие системы определения местоположения и ориентации, молниезащиты, средств борьбы с обледенением; выбор типа оперения, схемы ВГС; выбор типа и конструкции материала оболочки, типа и конструкции КК.

Из вышеприведенного видно, что формирование рационального облика ПА является многопараметрической, итерационной, комплексной задачей. Причем на ранних стадиях проектирования подобная задача может решаться только с помощью статистических данных, накопленных при создании аналогичных аэростатных комплексов.

Ниже дано краткое пояснение алгоритма проектирования мобильных привязных аэростатных комплексов, приведенного на рисунке 2. При разработке данного алгоритма был использован алгоритм, рассмотренный в /4/.

На основе первоначальных исходных данных, определяется объем оболочки ПА и параметры КК. Алгоритм расчета объема ПА включает в себя: расчет массово-инерционных характеристик, теплофизический расчет, аэростатический расчет, расчет аэродинамических и подъемно-эксплуатационных характеристик.

Основные рекомендации по выбору компоновочной концепции ПА приведены в /5, стр. 148/. Не смотря на то, что с момента написания данной книги прошло уже достаточно много времени, выводы, сформулированные в ней, актуальны и сегодня. Они являются основополагающими при проектировании современных ПА.

Полученное значение объема $V_{ПА}$ должно быть минимальным при условии, что ПА отвечает всем предъявляемым к нему требованиям. Также необходимо стремиться к минимизации параметров КК: диаметра $D_{КК}$ и массы $m_{КК}$.

На этом этапе представляется целесообразным провести анализ возможных альтернативных вариантов ПН, оценить потребности потенциальных заказчиков и взять данные об уже имеющихся ПАК других производителей. Иногда можно, незначительно изменив объем ПА, значительно расширить его функциональные возможности, а, следовательно, востребованность на рынке.

Естественно неизбежен поиск компромисса, так как, с одной стороны, понятно желание создать многофункциональный ПАК для применения с наибольшим количеством вариантов ПН, с другой, ПАК обычно проектируется под конкретную задачу и должен быть максимально эффективен именно для ее решения. На основе такого анализа выбирается некое новое значение объема ПА $V_{ПА\text{ опт}}$, которое и используется в дальнейших расчетах подъемно-эксплуатационных характеристик.

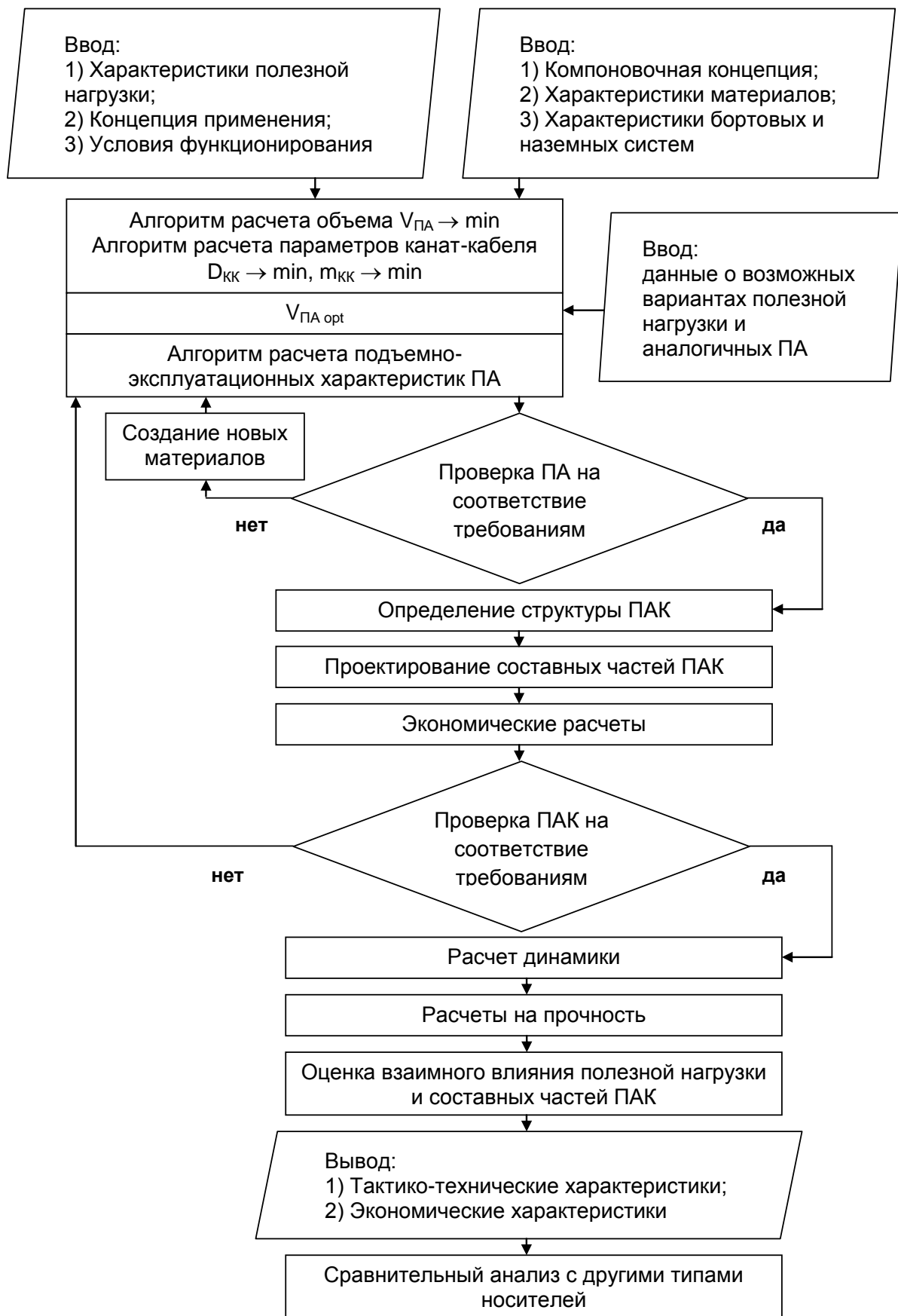


Рисунок 2. Обобщенный алгоритм проектирования привязного аэростатно-го комплекса.

После данных расчетов проводится проверка ПА на соответствие требованиям технического задания. Отрицательный результат может привести к необходимости создания нового материала для оболочки ПА.

В случае положительного результата проверки, из технических требований и условий функционирования определяется рациональная структура ПАК. После чего определяются параметры и облик его составных частей: ПА, КНО, «сквозных» систем, а также ЗИП. Описание подходов к проектированию различных составных частей ПА и ПАК в целом приведено в работах /6 - 9/ и других научных трудах.

На этом этапе окончательно определяется кооперация предприятий, выдаются частные технические задания, происходит взаимная увязка всех составных частей. Например, на основе данных о ПА выдаются исходные данные для расчета АУУ. Осуществляется совместное проектирование следующих цепочек механически или электрически связанных агрегатов и систем: ПА–КК–ЛК–АУУ, электрооборудование ПА–бортовая часть СЭС–КК, СЭС–молниезащита–КК, бортовая часть СЭС–электрооборудование ПА, бортовая часть СКУ ПА–ВГС–электрооборудование ПА, наземная СЭС–ЛК–АУУ и прочих.

Параллельно происходит компоновка всех систем и оборудования на ходовых базах. Проектирование, как правило, осуществляется с учетом жестких требований по номенклатуре и тактико-технических требований ходовых баз, а также ограничений по габаритам автосцепок в транспортном положении.

На текущем этапе становится возможным произвести стоимостный расчет и определить как стоимость изготовления ПАК, так и стоимость его эксплуатации.

После проверки на соответствие предъявляемым к ПАК требованиям проводятся: динамический расчет, расчет на прочность составных частей и агрегатов, оценка взаимного влияния ПАК и ПН (как с точки зрения компоновочных и конструкторских решений, так и с точки зрения динамических

характеристик). При необходимости на данном этапе вносятся корректировки в конструкцию ПН или составных частей ПАК.

В завершении выполнения алгоритма мы получаем законченный проект мобильного ПАК, его тактико-технические и экономические характеристики. Они в свою очередь являются данными для сравнительного анализа с другими типами носителей.

С учетом того, что, как правило, полезная нагрузка проектируется параллельно с ПАК, возможны корректировки исходных данных. Однако и без этого, взаимное влияние различных агрегатов и систем ПАК друг на друга требует нескольких итерационных циклов расчета всех проектных параметров.

Из всего вышеизложенного, а также из накопленного опыта проектирования мобильных ПАК в современных условиях, можно сделать несколько практических выводов и рекомендаций.

1 Отдельные составные части и системы мобильного ПАК необходимо проектировать параллельно, с учетом их взаимного влияния. При этом наиболее важной составной частью комплекса является ПА.

2 Только специалисты по проектированию привязного аэростата могут выдать грамотные технические задания разработчикам канат-кабеля, аэростатной лебедки, системы электроснабжения и наземных мобильных частей, а также обеспечить их правильную конструктивную увязку с целью решения поставленной задачи.

3 За все мобильные части КНО, включая аэростатное удерживающее устройство, должно отвечать одно предприятие-разработчик.

4 СЭС должно проектировать одно предприятие-разработчик, в постоянном взаимодействии с разработчиком ПА, КК и мобильных частей КНО. Разработчик СЭС должен увязать все агрегаты в единую систему и отвечать за энергообеспечение как аэростатного оборудования, так и полезной нагрузки.

5 В настоящей работе определены основные отличительные особенности нового поколения мобильных ПАК, приведены описание их структуры и обобщенный алгоритм проектирования, которые могут стать основой для дальнейших исследований.

6 Основная задача следующего этапа исследований: разработка математической модели и полного набора алгоритмов расчета параметров ПАК.

Библиографический список

1 Пономарев П.А., Фёдоров С.В. Создание перспективных многофункциональных мобильных аэростатных комплексов // Идеи К.Э. Циолковского и проблемы космонавтики. Материалы ХLI научных чтений памяти К.Э. Циолковского. – Калуга, 2006. – С. 131.

2 Верба Г.Е., Пономарев П.А., Фёдоров С.В. Дирижабли и аэростатные комплексы. Современное состояние и перспективы // Общероссийский научно-технический журнал «Полет». - 2008. - № 5. - С. 45 - 50.

3 Пономарев П.А. Типовой ряд привязных аэростатов для средств наблюдения и связи // Материалы конференции 2-го Московского международного форума «Беспилотные многоцелевые комплексы в интересах ТЭК». – Москва, 2008. – С. 139 – 142.

4 Титоренко В.Н. Численные модели стационарных и динамических характеристик атмосферы и приходящей солнечной энергии при формировании облика высотных ЛА большой продолжительности полета // К.Э. Циолковский и современность. Материалы XLV научных чтений памяти К.Э. Циолковского. – Калуга, 2010. – С. 215 - 216.

5 Пятышев Р.В. Современные иностранные аэростаты заграждения. – Издательство бюро новой техники Министерства авиационной промышленности СССР, 1947. - 346 с.

6 Зубкевич В.В., Ивченко Б.А., Тимохин В.А. Выбор схемы удерживающего устройства для привязных аэростатов объемом более 10000 м³ // Материалы XXXVI научных чтений, посвященных разработке научного на-

следования и развитию идей К.Э. Циолковского: тезисы докладов - Калуга: Издательский дом «Эйдос», 2001, с. 97-98.

7 Верба Г.Е., Ивченко Б.А., Фёдоров С.В., Черников С.П. Способ определения степени выполнения баллонета воздухоплавательного аппарата // Материалы XXXVIII научных чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского: тезисы докладов. - Калуга: ИД Эйдос, 2002, с. 108.

8 Ивченко Б.А., Черников С.П. Расчет напряженно-деформированного состояния мягкого стабилизатора привязного аэростата // Материалы XXXVIII научных чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского: тезисы докладов. - Калуга: ИД Эйдос, 2002, с. 108-109.

9 Ивченко Б.А., Черников С.П. Расчет усилий в стропах такелажа привязного аэростата // Материалы XXXVIII научных чтений памяти К.Э. Циолковского: тезисы докладов - Калуга, 2003, с. 120-121.

Сведения об авторе:

Пономарев Павел Ардалионович – директор по государственным программам ЗАО «Воздухоплавательный центр «Авгурь», к.т.н.

тел.: 8-916-625-41-46,

e-mail: ponomarev.p@gmail.com