



Технологический институт
Южного федерального
университета
в г. Таганроге



Координационный
научно-технический
центр систем
управления
ЮФУ при ЮФУ

У П Р А В Л Е Н И Е

- *Мультиагентные системы*
- *Навигация и наведение*
- *Наземная робототехника*
- *Морская робототехника*
- *Беспилотные летательные аппараты*

Сборник материалов Пятой
Всероссийской научно-практической
конференции
"Перспективные системы
и задачи управления"
и второй молодежной школы-семинара
"Управление и обработка информации
в технических системах"

2010

УДК 627.02

Б.А. Гайкович*ЗАО «НПП ПТ «Океанос», г. Санкт-Петербург***ИНТЕГРАЦИЯ КОМПЛЕКСОВ НЕОБИТАЕМЫХ АВТОНОМНЫХ АППАРАТОВ (АНПА) С НЕСПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫМ СУДНОМ-НОСИТЕЛЕМ**

Введение. За последние 10 лет наблюдается стремительный рост объемов применения подводных робототехнических средств. Основную часть таковых составляют два класса подводных аппаратов - привязные телеуправляемые подводные аппараты (ТПА или ROV - Remote Operating Vehicle) и свободно плавающие подводные автономные обитаемые аппараты (АНПА или AUV - Autonomous Underwater Vehicle). Развитие ТПА идет уже на протяжении более 20 лет и в последнее время данное направление развивается последовательно, наращивая мощности аппаратов, приборные и навигационные возможности. Развитие АНПА получило бурный всплеск в связи с прогрессом в вычислительных технологиях и появлением новых, более мощных, легких и экономичных источников питания. Предметом рассмотрения настоящей статьи будут именно современные автономные обитаемые подводные аппараты.

1. Общие положения. Современный АНПА представляет собой мультиинструментальную платформу-носитель исследовательской, поисковой либо другой специальной аппаратуры, способный погружаться в заданный район океана на заданную глубину, двигаться по программной траектории с выполнением автоматической коррекции маршрута, выполнять требуемые работы и по окончании программы возвращаться в требуемые координаты с высокой точностью. Обычно АНПА представляет собой модульную конструкцию с постоянным энергетическим комплексом и модулем управления, и сменными приборными модулями, для обеспечения гибкости в решении различных задач. С конструктивной точки зрения большинство аппаратов выполнено по «торпедообразной» схеме, с корпусом обтекаемой формы и кормовым расположением движителей. Также используется катамаранная схема с двумя прочными корпусами, например в отечественном аппарате «СКАТ-Гео», созданного в Дальневосточном отделении АН СССР в 80-х годах. В данном случае в одном корпусе располагалась приборная аппаратура, в другом - источник питания и массивы накопителя данных. Некоторые новые аппараты, например BAE TALISMAN или ATLAS SEA OTTER, также используют катамаранную схему.

На сегодняшний день произошло достаточно четкое разделение АНПА на две группы по их размеру. В одной группе - относительно небольшие аппараты (см. Таблицу 1), несущие 1-2 основной приборный комплекс и необходимый минимум вспомогательных и навигационных средств. Во второй группе - аппараты большого размера, обладающие большей универсальностью и способные проводить более длительные и глубоководные исследования (Таблица 2). Также необходимо отметить что в военных целях применяются аппараты обеих групп, как специально разработанные и изготовленные, так и конвертированные из коммерческих (гражданских) образцов.

Таблица 1

Краткие характеристики некоторых малых АНПА

№	Наименование	Размеры (Длина x диаметр), мм	Вес в воздухе, кг	Максимальная рабочая глубина, м	Скорость хода, уз	Автономность, ч
1	HYDROID REMUS 100	1600 x 190	39	100	3-5	10-8
2	HYDROID REMUS 600	3250 x 325	240	600	3.5	60
3	ATLAS SEAFOX IQ	1300 x 400	40	300	3	2
4	BLUEFIN 12	3350 x 1060	250	200	4	Не указано
5	BLUEFIN 9	1650 x 240	50	200	3	12
6	FAU MORPHEUS	1500 x 250	35	200	3	12
7	GAVIA MILITARY	1800 x 200	50	1000	5	7
8	SIAS FETCH 2	1960 x 290	75	150	6	10
9	SIAS FETCH 3	2100 x 350	98	150	6	Не указано
10	OS IVER2	1260 x 340	20	200	3	16
11	OS LAUV	1120 x 150	16	50	3	8

Таблица 2

Краткие характеристики некоторых универсальных АНПА

№	Наименование	Размеры (Длина x диаметр), мм	Вес в воздухе, кг	Максимальная рабочая глубина, м	Скорость хода, уз	Автономность, ч
1	HYDROID REMUS 6000	3840 x 710	870	6000	4	22
2	ECA ALISTAR 3000	5000 x 1600	2300	3000	0-4	24
3	ECA ALISTER	5000 x 1200	960	300	8	20
4	ATLAS MARIDAN 600	4500 x 2000	1500	600	3	24
5	ATLAS SEA OTTER MKII	3450 x 960	1000	600	4-8	24-10
6	BAE TALISMAN	4500 x 2500	500	100	4	12
7	BLUEFIN 21 BPAU	1830 x 530	370	6000	4	16
8	MANTA	10400 x 2400	7000	300	10	Не указана
9	OCEAN EXPLORER OEX	2130 x 580	800	300	3	12
10	BOEING ECHO RANGER OSIRIS	5500 x 1270	5400	3000	4	28
11	ISE ARCS	6400 x 690	1400	300	3	Не указана
12	ISE EXPLORER	5500 x 740	1250	5000	3	22
13	SNWSC AUSS	5180 x 790	1300	6000	4	15
14	SAAB 62	3000 x 530	1500	500	6	Не указана
15	SAAB DOUBLE EAGLE	2700 x 1300	540	500	0-3	Не указана
16	ARL SEA HORSE	8660 x 1000	4760	1000	6	72
17	NAVSEA MARV	5030 x 320	300	450	6	26
18	SUBSEA 7 AUTOSUB	6820 x 900	2400	3000	3	60
19	MBARI DORADO	5240 x 530	636	1500	3	9

2. Основные системы и подсистемы. Для выполнения своих функций АНПА используют постоянные и сменные функциональные подсистемы. К числу основных подсистем относится энергетическая. Современные АНПА используют в качестве основных двигателей как правило используют безщеточные электродвигатели с различными типами аккумуляторных батарей: литий-ионные, литий-ионные-полимерные, серебрянно-цинковые, марганцево-щелочные, свинцово-кислотные. Также интерес представляют идущие в настоящее время эксперименты с топливными элементами (fuel cells) различного вида.

В качестве движителей используются толкающие гребные винты. Большинство АНПА обладают приемлемой управляемостью только на расчетных скоростях, так как управление выполняется с применением гидродинамических рулей. Это лишает АНПА возможности проведения более подробного исследования какого-либо обнаруженного объекта, так как при остановке АНПА практически теряет управление. В связи с этим представляется интересным и перспективным подход французской компании ECA, аппарат ALISTAR 3000 которой обладает балластно-дифференциальной системой и поперечным движителем, что дает ему возможность «зависать» в требуемом положении над объектом и производить его исследование с различных ракурсов, не теряя управления.

Для большинства АНПА основными приборными средствами и системами, обеспечивающими выполнение поставленной задачи, являются: гидролокатор кругового обзора, гидролокатор бокового обзора (ГБО), многолучевой эхолот, однолучевой навигационный эхолот-альтиметр, видеокамера, фотокамера, датчики для океанографических исследований (STD-зонды, датчики прозрачности воды, флюорометры и т.д.), дозиметрические системы, металлоискатели и магнитометры и т.д.

Для связи с оператором, сообщений об обнаруженных аномалиях и получения инструкций используются низко- и высокоскоростные гидроакустические модемы (в подводном положении), радиоканал (в надводном положении). Также существует несколько моделей АНПА (преимущественно военного назначения), имеющих на борту катушку с оптоволоконным кабелем, по которому передается вся необходимая информация, при том что аппарат не управляется непосредственно по кабелю, а действует в программном режиме. Например, такая схема применяется в противоминных аппаратах типа PAP или K-STER компании ECA или аппарате SEA FOX, находящемся на вооружении ВМС Германии.

Критической для успеха миссии, и для сохранения и благополучного возвращения самого АНПА системой является установленная на АНПА система навигации. Навигация АНПА всегда осуществляется комплексно и может быть упрощенно представлена в виде следующей последовательности:

1. *Установка базовой точки старта.* Используются показания системы навигации судна-носителя (GPS/GLONASS/NAVSTAR и т.д.), система GPS/GLONASS АНПА. Иницируется инерциальная навигационная система навигации (INS) АНПА.
2. *Отход от судна носителя.* АНПА управляется по радиоканалу. Работает система GPS/GLONASS АНПА, инерциальная система навигации (INS) АНПА. Активируется система гидроакустической навигации. Вычисляется навигационная ошибка системы INS.
3. *Погружение.* АНПА совершает погружение по заданному программно профилю под управлением системы INS и системы гидроакустической навигации с постоянным вычислением навигационной ошибки.

4. *Достижение рабочей глубины.* На рабочей глубине и заданном расстоянии от дна (определяемом комплексно по данным глубиномера, альтиметра, гидроакустической и инерциальной навигационной системами) включается доплеровский лаг (DVL - Doppler Velocity Log), навигационная система, позволяющая с высокой точностью отслеживать перемещения АНПА относительно дна.
5. *Движение по маршруту.* Управляется комплексно, по данным DVL, INS и (если дальность действия системы и условия скрытности позволяют) гидроакустической навигационной системы.
6. *Окончание маршрута или обнаружение аномалии.* В зависимости от программы АНПА может продолжить погружение, совершить всплытие или передать данные по обнаруженной аномалии (например, гидроакустическое изображение или фотографию) по гидроакустическому цифровому каналу оператору, ожидая на месте получения по тому же каналу дальнейших инструкций.
7. *Всплытие аппарата.* Аналогично погружению.
8. *Аппарат на поверхности.* Производится определение местоположения по данным систем спутниковой навигации (GPS/GLONASS), сравнение с данными систем INS и DVL. Информация о положении АНПА сообщается оператору по радио- и гидроакустическому каналу. Активируются (если они не были активированы при движении по маршруту) гидроакустические и радио-маяки, а также проблесковые огни.

3. **Методы спуско-подъемных операций и интеграция с судноносителем.** Как было указано ранее, АНПА подразделяются на 2 основных класса по своим габаритам и массе. Казалось бы, проблема размещения и использования АНПА малого класса даже на непригодных плавсредствах не должна вызывать особых затруднений. Например, в ходе выполнения работ с АНПА TSL производства Института проблем морских технологий (Дальневосточное отделение РАН) была на практике отработана возможность использования АНПА весом порядка 300 кг и длиной 3 м с судна типа БГК (большой гидрографический катер) имеющий лебедку грузоподъемностью 500 кг с вылетом за борт 1 м. Однако при использовании аппарата вскрылись и недостатки - отсутствовали нормальные условия для проведения ТО, экипаж аппарата занимал малочисленные помещения команды БГК, аппарат на палубе не был полностью защищен от действия внешней среды. Очевидно, что подобное использование АНПА в более суровых климатических условиях, например в северных морях РФ, будет крайне затруднительно, неэффективно или вообще невозможно. Вследствие вышеуказанного, имеется необходимость рассмотрения вопросов размещения и использования АНПА как на специально приспособленных к использованию подобного оборудования судах-носителях (научно-исследовательские суда, суда гидрографического флота), так и на непригодных судах (в англоязычной литературе для обозначения таких судов используется термин VOP - Vessel of Opportunity).

Системная задача обеспечения аппарата со стороны судна подразделяется на несколько:

- ◆ обеспечение размещения АНПА, поверхностных систем управления и обслуживания;
- ◆ обеспечение размещения экипажа АНПА (операторов, техников, аналитиков);
- ◆ навигационное обеспечение АНПА;

- ♦ обеспечение спуско-подъемных операций;
- ♦ информационная интеграция поста управления АНПА с системами управления судном;
- ♦ интеграция с судовыми системами для нормальной жизнедеятельности.

С нашей точки зрения, оптимальным решением стоящих задач является создание мобильной контейнеризованной системы с высокой степенью автономности. В состав системы должны входить следующие модули: пост программирования и управления АНПА, зона технического обслуживания, зона хранения запасных частей и принадлежностей, спуско-подъемное устройство.

Опыт ЗАО «НПП ПТ «Океанос» в создании водолазных и робототехнических комплексов позволяет уверенно оценить требования к подобным системам. Комплекс АНПА должен быть выполнен в виде стандартных контейнеров ISO OFFSHORE CONTAINER, оборудованных соответственно климатическим условиям предполагаемой зоны использования. Возможно ужесточение требований к контейнерам системы под необходимые классы пожарной устойчивости и взрывобезопасности. В контейнерах предусматриваются дополнительные двери и окна (в том числе эвакуационные выходы), теплоизоляция, электрическая система с розеточной сетью под требуемое количество потребителей, система вентиляции, обогрева и кондиционирования воздуха, пожарная сигнализация и т.д. Пост технического обслуживания подключается к корабельным системам водоснабжения и канализации. Возможно как энергетически автономное исполнение комплекса, так и подключение к электрической системе судна-носителя. Необходимо отметить, что системы управления являются весьма требовательными к параметрам электропитания, в связи с этим при использовании судовой электросистемы необходимо вводить в состав комплекса фильтры и источники бесперебойного питания необходимой мощности.

Экипаж АНПА размещается в помещениях судна. Численность экипажа определяется методикой работы оператора (постоянное наблюдение за АНПА или работа по контрольным точкам), которая, в свою очередь, зависит от характера выполняемой миссии.

Как уже было отмечено, навигационная информация является критической для функционирования АНПА. Судно должно быть оборудовано навигационными системами требуемой точности для задания первоначальной точки запуска АНПА и для гарантированного выхода в требуемую точку подбора. Для использования гидроакустической навигационной системы в качестве референтной, судно также должно быть оборудовано подводной гидроакустической системой, с длинной, короткой или ультракороткой базой (соответственно LBL, SBL, USBL - Long Baseline, Short Baseline, Ultra Short Baseline). Системы с длинной и короткой базой требуют установки дополнительных (как минимум 3) базовых станций, но имеют большую точность и дальность действия чем системы с ультракороткой базой. Однако необходимо признать, что в последнее время развитие систем USBL минимизирует данный недостаток, и мы вправе ожидать появления нового поколения данных систем.

Дополнительные функции навигационных систем также используются в режимах автоматического докования. В качестве средства автоматического докования используются пассивные и активные (снабженные собственным двигателем) ловители. Общая схема ловителя представлена на рис. 1.

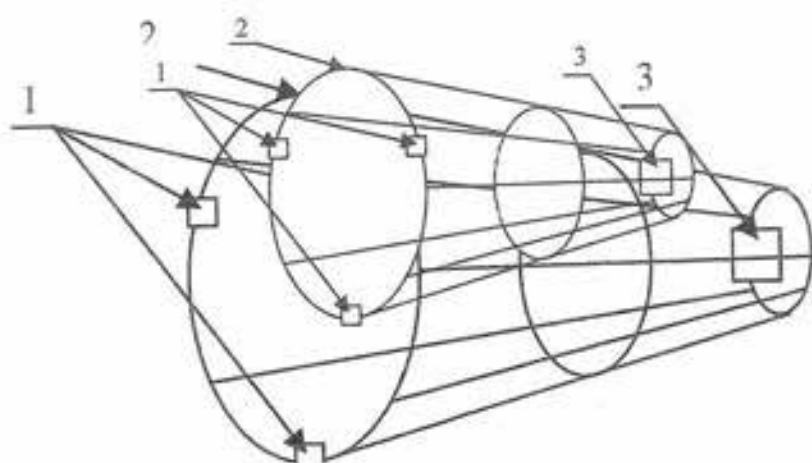


Рис. 1. Общая схема уловителя: 1 - антенны гидроакустической навигационной системы с ультра-короткой базой; 2 - приемное кольцо уловителя; 3 - захватное устройство

Также возможно использование надводных уловителей, например аналогичных используемой компанией ECA для использования совместно с АНПА Alistar 3000 (рис. 2.)

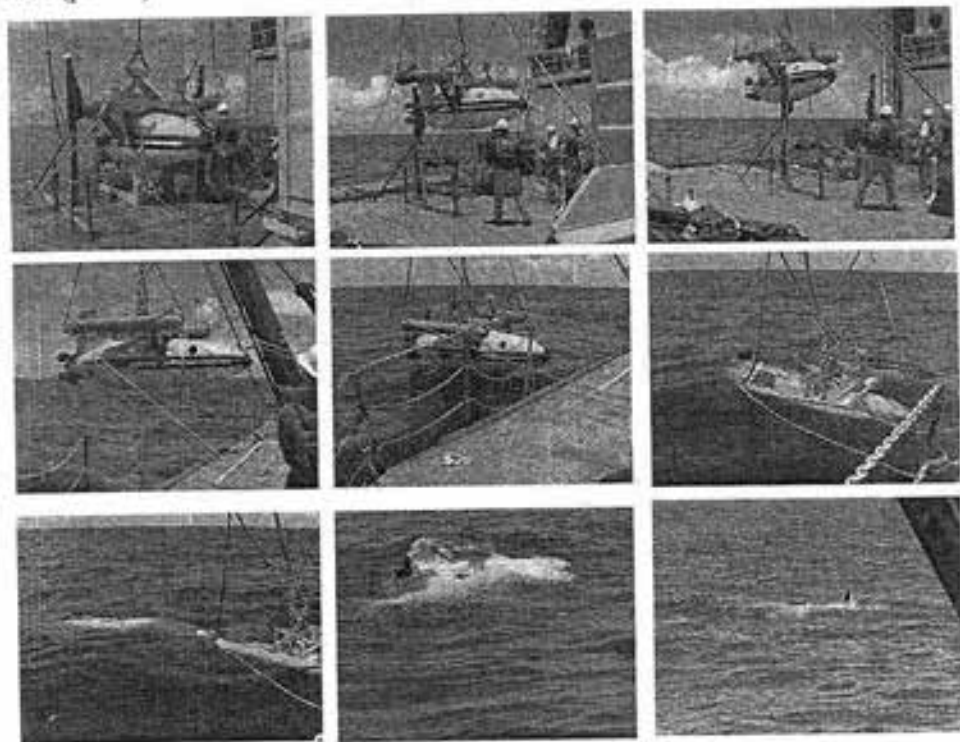


Рис. 2. АНПА «ECA ALISTAR 3000» в захватном устройстве при проведении спуска

После наведения АНПА по данным гидроакустической навигационной системы срабатывает автоматическое захватное устройство (3), фиксирующее носовую оконечность АНПА. После этого уловитель вместе с АНПА может быть извлечен из воды. ВМС США провело ряд испытаний с АНПА моделей Bluefin и Remus, при этом испытания показали возможность автоматического докования с уловителями различных типов, в том числе возможность, после некоторой доработки, использования торпедного аппарата ПЛ в качестве доковой станции для АНПА соответствующего размера.

Для успешной работы и сохранности АНПА и его подсистем, в особенности приборных комплексов, которые имеют открытые антенные массивы (например, гидролокаторы) особенно важна безопасность в процессе спуско-подъемных операций. Использование описанного выше уловителя позволяет проводить первую фазу подъема АНПА не на поверхности, где аппарат подвергается агрессивным воздействиям волн и ветра, а на глубине от 2 до 20 м. В случае использования АНПА под ледяным покровом подобный способ, очевидно, будет единственным. Для обеспечения дальнейшей безопасной спуско-подъемной операции необходимо применение специализированных СПУ. Использование штатных судовых СПУ возможно только в спокойном состоянии моря, при наличии на воде водолазов или легкого плавсредства, силами которых будет произведена остропка аппарата на судовом СПУ. Даже в этом случае сохраняется значительный риск удара и повреждения АНПА о конструкции судна. Также необходимо отметить что судовые СПУ могут не обеспечивать требуемый по условиям безопасности вылет от борта при заданной грузоподъемности, при работе с тяжелыми (более 2-3 т.) аппаратами. Поэтому более перспективным и безопасным представляется использование специализированных СПУ. Условно их можно разделить на:

- ◆ СПУ типа П-образной балки
- ◆ СПУ кранового типа
- ◆ СПУ слипового типа
- ◆ СПУ вертикального типа

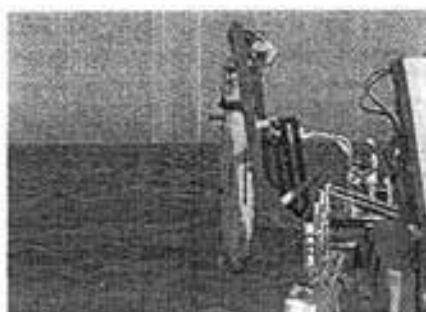
Во всех типах СПУ используются специальные захватные устройства, исключющие свободное движение аппарата после активации стыковочного устройства на корпусе АНПА. Варианты СПУ представлены на Рис. 3.



АНПА «ECS ALISTER» на СПУ кранового типа



АНПА «HUGIN» на СПУ слипового типа



*АНПА «REMUS» на СПУ
вертикального типа*



*Использование неспециализированного
крана*

Рис. 3. Различные варианты СПУ, применяемые с АНПА

Необходимо отметить, что наилучшим вариантом с точки зрения выполнения работ на неспециализированном судне являются СПУ кранового или вертикального типа, которое занимает относительно небольшую площадь рабочей палубы и может быть выполнено в габаритах стандартного контейнера, что обеспечивает легкость в транспортировке и установке.

Заключение. В заключение необходимо отметить, что успех использования АНПА зависит не только от исправности и функциональных возможностей самого АНПА, но, и возможно, в большей степени, от качества интеграции системы АНПА с системой обеспечения и через нее с судном.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. The World AUV Market Report 2010-2019. Douglas-Westwood, 2009.
2. G. Griffins. AUVs: designing and operating next generation vehicles. Southampton Oceanography Center, 2005.
3. J. Romero. Navigation is Key. Sea Technology Magazine, #3, 2008.
4. J. Walton. Robust open water AUV L&R systems. Sea technology Magazine, #6, 2003.
5. www.eca.fr - ECA Corporation.
6. <http://www.imtp.febras.ru/> - ДВО РАН.

Б.А. Гайкович ИНТЕГРАЦИЯ КОМПЛЕКСОВ НЕОБИТАЕМЫХ АВТОНОМНЫХ АППАРАТОВ (АНПА) С НЕСПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫМ СУДНОМ-НОСИТЕЛЕМ.....	117
И.И. Маркович ЦИФРОВАЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ В ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СРЕДСТВАХ ИССЛЕДОВАНИЯ ОКЕАНА	125
Секция беспилотных летательных аппаратов	
М.Н. Деменков РАЗМЕР ОБЛАСТИ КАК ОДИН ИЗ КРИТЕРИЕВ КАЧЕСТВА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ БОЕВЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.....	130
Г.М. Сергневский КОНЦЕПЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ИНДУКТИВНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОБРАЗЦАМИ АВТОНОМНОЙ БЕСПИЛОТНОЙ ТЕХНИКИ	130
А.В. Корнушенко, А.Н. Зубарев, С.В. Серохвостов, О.В. Кудрявцев О ВЫБОРЕ ПАРАМЕТРОВ МИНИ БЛА С ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ И БОЛЬШОЙ ДАЛЬНОСТЬЮ ПОЛЕТА	134
А.Е. Кульченко, Р.В. Федоренко СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БПЛА НА БАЗЕ МИНИ-ВЕРТОЛЕТА.....	135
К.К. Веремеенко, Д.А. Антонов, М.В. Жарков, Р.Ю. Зимин, А.Ю. Чернодубов ИНТЕГРИРОВАННЫЙ МАЛОГАБАРИТНЫЙ НАВИГАЦИОННЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА	139
Ю.В. Прищеп, К.А. Злотников ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ УНИФИЦИРОВАННОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ОПЕРАТОРОВ НАЗЕМНЫХ ПУНКТОВ УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСОВ С БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ.....	139
В.С. Захарченко А.Ю. Слесарев СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ ПОТОКОВ ИНФОРМАЦИИ, ПОЛУЧАЕМОЙ ОТ КОМПЛЕКСОВ С БЛА, НА МНОГОМАШИННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСАХ.....	145
Д.В. Сухомлинов, В.А. Андросов, Д.Е. Ефанов КОМПЛЕКС ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ В ИНТЕРЕСАХ БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИИ	150
С.В. Дмитриев, А.С. Бондарев, В.П. Казанцев ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗУЕМОСТЬ СИСТЕМ «ЭНЕРГОТРАНС».....	153