КОНТЕНАНТ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN: 2307-5767

Том 18, № 2, 2019

Журнал включен в Российский Индекс Научного Цитирования
Зарегистрирован в Научной Электронной Библиотеке
Лицензионный договор № 727-11/2014

Учредитель и издатель – Общественная научно-техническая академия «Контенант»
Издается с 2002 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Фатхудинов Р.Х.
25 лет научно-технической академии «Контенант». Очерк по истории академии «Контенант» 3

Остроумов И.С.
Результаты деятельности научной роты Космических войск Воздушно-космических сил за 2018-2019 годы 14

Сеник Б.Н.
Проведение выездного совещания главных оптиков предприятий холдинга «Швабе» в Минске 24

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОПТИКЕ

Сидоров А.Ю., Ермаков Д.С.
Одновременная генерация рентгеновского и терагерцового излучения при взаимодействии фемтосекундного лазерного излучения с газокластерными струями 27

Николаев Д.В.
Развитие альтернативной энергетики 35

Пашаев С.Ю.
Волноводный поляризатор, объединенный с поляризационным селектором, работающий в широком диапазоне частот 41

РАСЧЕТ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Илюхин И.М., Белокуров Е.А.,. Чапурин И.Н.
Эффективность поиска и обнаружения перемещающегося объекта оптическим пеленгатором 47

Волков В.Г., Гиндин П.Д., Карпов В.В., Митрофанова Ю.С., Сеник Б.Н.
Бинокулярные приборы ночного видения на основе одного электронно-оптического преобразователя 52

Волков В.Г., Гиндин П.Д., Карпов В.В., Сеник Б.Н.
Панорамный многоканальный прибор визуализации изображения 57

Бобков Н.А.
Разработка методики выбора типа привода для перспективного тяжелого БПЛА 63

Орешечкин С.С.
Методы контроля линейных и угловых перемещений оптических элементов крупногабаритных космических телескопов в процессе их орбитальной эксплуатации 71

КОНТЕНАНТ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
ISSN: 2307-5767
Том 18, № 2, 2019

Журнал включен в Российский Индекс Научного Цитирования
Зарегистрирован в Научной Электронной Библиотеке
Лицензионный договор № 727-11/2014

Учредитель и издатель – Общественная научно-техническая академия «Контенант»
Издается с 2002 г.

СОДЕРЖАНИЕ
(продолжение)

Орешечкин С.С.
Контроль формы оптических волновых фронтов методом Гартмана и Шака-Гартмана 79

Донченко Д.В.
Разработка гибридной системы электроснабжения возвращаемого космического аппарата 87

ОПТИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ

Беляев Е.С., Ковальский А.И., Минеев В.В., Ломакин Ю.В., Хотеенко В.М., Троняк Б.Д.
Деятельность производственного предприятия ООО «Оптивак» в современных экономических условиях ... 97

Малышева Т.А., Саурина И.А., Селиванов Д.Ю.
Автоматизация средств разработки конструкторско-технологической документации, оснастки и транспортировочной тары 104

Галенин Д.В.
Автоматизация котельной с применением каскадного управления водогрейными котлами 108

14 СЕНТЯБРЯ 2019 ГОДА ИСПОЛНЯЕТСЯ 25 ЛЕТ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ АКАДЕМИИ «КОНТЕНАНТ»

ОЧЕРК ПО ИСТОРИИ АКАДЕМИИ «КОНТЕНАНТ»

Академия «Контенант» создавалась с самого начала как Международная академия по интересам науки, технологии, производства, образования и культуры.

Главными идеологами создания академии являлись будущий президент МАК (РОМАК), доктор технических наук, профессор Цеснек Л.С. и генеральный директор производственного объединения «Красногорский завод им. С.А.Зверева» Гоев А.И.

Научные и организаторские способности этих людей позволили объединить идеями большое количество ученых, предприятий, организаций для решения общих задач.

С самого начала Международная академия «Контенант» основывается на «вертикальном» принципе построения, отражая в своей организации структуру социума, то есть охватывает слои: науки, образования, технологии, производства, экономики, социокультуры и т. д.

Такой охват дает большие преимущества:

- дополнительные степени свободы;
- связи;
- новые возможности вне и внутри самой академии.

Увлеченный идеей создания Международной академии «Контенант» и её Российским отделением Цеснек Л.С. вовлек в него всех, кто мог быть полезен делу.

Своим рождением академия обязана его проникновенному уму и непреклонной воле в достижении цели.

Естественно, он один не мог претворить в жизнь свои помыслы без способствующих этому организаций, особенно коллектива Красногорского механического завода, внесшего решающий вклад в становление Российского отделения.

Регистрация МАК, как международной организации, была осуществлена в Беларуси из-за упрощенного законодательства.

В России было создано и зарегистрировано в Минюсте Российское отделение МАК.

В последствии были созданы подобные отделения:

– Белорусское международное региональное бюро МАК (г. Минск);

– Научное отделение «Интеграция науки и производства» МАК - как основа организации академии (г. Сморгонь);

– Украинское временное региональное бюро (УкрМАК) (г. Днепропетровск);

– Киевское временное региональное бюро МАК (г. Киев);

– I научное отделение «Основания (математики, физики, химии, генетики) науки, в том числе оптической, г. Москва;

– II научное отделение «Интеграция науки (в том числе оптической) и производства», (г. Москва);

– III в том числе, оптической «Интеграция бизнеса (в том числе оптического) и производства», (г. Москва);

– IV научное отделение «Высокие технологии (в том числе оптические)», (г. Лыткарино);

– V научное отделение «Экологии», (г. Москва);

– VI научное отделение «Образование» (в том числе последипломное),(г. Москва);

– VII научное отделение «Социокультура» (в том числе медицина, искусство), (г. Москва);

– VIII научное отделение «Оптико-электронные системы», (г. Красногорск);

– IX научное отделение «Специальное машиностроение и металлургия», (г. Москва);

– X научное отделение «Прецизионные технологии», (г. Москва);

– XI научное отделение «Молодежное спортивно-образовательное», (г. Москва);

– Верхневолжское региональное научное отделение, (г. Ростов, Ярославской обл.);

– Международное бюро по финансово-экономическим и промышленным связям в направлении специального машиностроения и металлургии, (г. Минск);

– Международное бюро по финансово-экономическим и промышленным связям в направлении оптико-электронного приборостроения МАК, (г. Москва);

– Международное юридическое бюро, (г. Москва);

– Бюро интеллектуальной собственности, (г. Москва);

– Бюро социальной экологии, (г. Москва);

– Чухломское экологическое региональное бюро, (г. Чухлома Костромской области);

– Ростовское региональное бюро, (г. Ростов Ярославской области);

– Великоустюгское региональное бюро, (г. Великий Устюг Вологодской области);

– Азовское региональное бюро, (г. Азов Ростовской области);

– Уральское региональное бюро по оптическому приборостроению, (г. Екатеринбург);

– Региональное бюро по космическому приборостроению, (г. Ростов-на-Дону).

В этот период численность академии достигла около 300 человек.

МАК создавалась по типу западно-европейских организаций и Материнской академии «Контенант» и преследовала цели:

– создание интеллектуальной организации в России, Белоруссии, Украине с целью объединения усилий интеллигенции различных направлений для повышения интеллектуального уровня специалистов различного профиля с общим направлением развития оптической науки, как основной для этого уровня

– большое количество участников организаций различного профиля:

- Россия, Белоруссия, Украина служили как развитие связей с зарубежными странами, и новое направление взаимодействия;

- основные научные направления академии - математика, физика, генетика, оптика и другие;

- интеграция науки и производства;

- объединение высоких технологий и особенно в оптических науках;

- объединение усилий бизнеса, как основы дальнейшего развития;

- экология;
- образование;
- социокультура;
- оптико-электронные системы;
- прецизионные технологии;
- финансово-экономические; взгляды
- космическое приборостроение;
- юридические науки.

Это почти невыполнимая задача, способная решать только отдельные проблемы и недающая конкретных результатов.

Не решена главная задача коллектива столь различных людей – обеспечение печатными источниками информации столько разных сотрудников. Это требовало издания до десяти и более специальных источников информации, иначе труд людей потеряет смысл.

Получается, что это клуб частично заинтересованных людей со своими взглядами и объединение усилий в издаваемых трудах к решающим усилиям в направлениях наук не привело.

Для этого нужна академия наук России, но и она не даст необходимых результатов.

Российское отделение, как объединяющая организация, основных результатов не достигла.

Все разделы издаваемого источника Международной академии – печатное издание «Контенант» даже по своему содержанию (текущие результаты и перспектива, доклады, резюме, информация, творческий раздел, официальная хроника, информация интеллектуальной собственности, персоналии) не отвечали необходимым требованиям.

Более широкая информация представлена в трудах:

- «Крупногабаритная асферика», ред. Гоева А.И. и другие авторы;
- «Формобразование оптических поверхностей», том 1 и том 2, 500 экз., 2005 г.;
- Омар Хайям «Рубаи» в переводах и иллюстрациях Л.Цеснека, 15 000 экз., 1994 год;
- «Пушкин в творчестве» Л.С.Цеснека.

Международная академия «Контенант», как объединяющая организация, основных целей не достигла.

С 1994 года и до его кончины проводились в основном организационные усилия под руководством Цеснека Л.С., имеющего талант организатора, ученого, интеллектуала высокой пробы.

В составе академии «Контенант» состояли крупные Российские концерны, выдающиеся деятели передовых технологий, поэты, писатели, художники и другие специалисты различных направлений, но их труды в составе академии не использовались.

Значительно окрепло международное значение академии:

- международное признание в различных организациях;
- вхождение в мировые регистры интеллектуальных организаций, в том числе, в Регистры интеллектуальных организаций ЮНЕСКО;
- заключались соглашения с родственными организациями.

В работе академии широко использовались различные призы для награждения организаций и членов академии:

- приз Одиссей» - за достижения в области высоких технологий;
- приз «Прометей» - за достижения в области специального машиностроения и металлургии;
- приз «Бабр» - за достижения в области экологии;
- приз «Гермес-Трисмегистр» - за достижения в области бизнеса, образования и социокультуры.

В этот период Всемирным союзом интеллектуальной элиты высшего интеллектуального института «Грант науки» удостоены президент МАК Леонид Сергеевич Цеснек**.**

Российский ученый удостоен этого титула впервые.

Академия «Контенант» объединяет усилия совместно с другими международными организациями:

- Международной Платоновской академий науки и искусства;

- Международной организации труда;
- Организацией Объединенных Наций по вопросам образования, науки, культуры (ЮНЕСКО).

Почетными членами МАК-РОМАК избраны:
- король Испании его Величеств Хуан-Карлос I;
- генеральный директор Международной организации труда Ганс Хансен;
- генеральный директор ЮНЕСКО Федерико Майор Сарагоса.

В Великобритании зарегистрировано юридическое лицо – Contenant Ltd.

Уже в 1999 году отмечалось первое пятилетие РОМАК:

- 257 индивидуальных членов (в том числе генерал-полковник Анохин А. – председатель Центрального Совета РОСТО, Булаев Ю. – генеральный директор «Мотовилихинского завода», Дудчак В. – генеральный директор ПО АОМЗ (Азов), Зотов М. – генеральный директор АНБ «Капитал-Экспресс»; Яламов Э. - генеральный директор ПО УОМЗ и многие другие крупные специалисты.

В 1999 году более 40 крупных предприятий стали коллективными членами РОМАК.

Российское территориальное отделение включает 12 научных отделений.

В составе РОМАК семь международных бюро:
- два экологических;
- два финансово-экономических и промышленных;
- два региональных;
- международное научно-правовое бюро;
- бюро интеллектуальной собственности;
- бюро социальной экономики.

Пропаганда идей академии уже дала свои плоды.

В 1999 году, из-за невозможности собрать Расширенный президиум, создали при президиуме Координационный Совет в составе:
- Цеснек Л.С. – президент;
- Гоев А.И. – первый вице-президент;
- Афлитунов А.М. – главный ученый секретарь МАК (РОМАК);
- Крысин О.Г. – вице-президент МАК;
- Чернов С.П. – академик-секретарь;
- Корницкий И.П. – академик-секретарь.

В этом же году принято решение о выпуске печатного сборника «Контенант» два раза в год.

Ранее выпускались только Справочники МАК (РОМАК).

В составе Сборников планировалось:
- материалы юридических и физических лиц МАК (РОМАК);
- реклама разработок и изделий членов МАК (РОМАК) и предприятий;
- официальный раздел с наиболее важными решениями президиума и координационного совета;
- «персоналии»;
- творческий раздел с мемуарными воспоминаниями членов академии.

В академии проводилась большая работа по продвижению идей академии во многие сферы: промышленность, экономика, бизнес и т.д.

В декабре 1997 года было подписано Соглашение о взаимоотношениях между Минэкономики и РОМАК, однако план совместной работы на 1998 год не был утвержден. В 1999 году утверждение состоялось, однако план реализован не был.

Руководство МАК придавало большое значение информированию членов академии о ее деятельности и выпускало по четыре номера Сборника в год по указанным разделам.

До 2009 года выпущено 43 номера Сборника «Контенант», зарегистрированного в Минпечати.

Велика роль и значение в деятельности академии «Контенант» президента с 1996 по 2002 год, доктора физико-математических наук, профессора Цеснека Леонида Сергеевича.

Он обладал широтой своих взглядов на развитие творческой, инженерной деятельности человека и принес это в работу МАК (РОМАК). Именно поэтому в составе академии были экономисты, писатели, священники, инженеры-математики, оптики, физики, охотоведы, специалисты оптической промышленности, поэты, исследователи литературы.

Об этом писал и академик МАК, президент АО «Оптико-электронное приборостроение» И.П.Корницкий:

«Организатор академии «Контенант», внесший большой вклад в развитие отечественной оптической промышленности, отдавший на посту научно-исследовательского технологического института оптического приборостроения – головной организации в области разработки и оснащения наших предприятий комплексами высокопроизводительного оптического и вакуумного производства алмазного инструмента, создания комплексных технологий изготовления крупногабаритной оптики, нормирования и экономии материальных ресурсов»…

«В организацию и становление Российского отделения Международной академии «Контенант» созданной в целях поиска новых путей развития цивилизации, отбора и поддержки интеллектуальной, стратегически мыслящей элиты для управления обществом».

Решающая роль в создании и развитии академии «Контенант» принадлежит именно Цеснеку Л.С. В январе 1996года он был избран Президентом РОМАК, а в апреле 1996 года Президентом Международной академии «Контенант».

Цеснеком Л.С. разработано новое научное направление – логостоника, математический аппарат которой позволяет осуществить системный анализ в различных предметных областях.

В 1995-1998 годах они опубликованы как 1 и 2 части логостоники.

Леонид Сергеевич Цеснек удостоен ордена Трудового Красного Знамени, премии Совета Министров СССР, Международной премии «Одиссей».

Он носит звание Почетного президента МАК(РОМАК) и является почетным членом Общественной научно-технической академии «Контенант» вместе с Пелихом Сергеем Александровичем и генеральным директором Красногорского завода им. С.А.Зверева Гоевым Александром Ивановичем.

В соответствии с изменениями Российского законодательства и необходимостью перерегистрации отделения РОМАК было принято решение о перерегистрации академии в Российской Федерации и её учете в системе общественных организаций России с созданием отделений в Беларуси, Украине.

Вследствие этого произошло изменение структуры деятельности академии в соответствии с новыми задачами.

Почетные члены академии «Контенант»

доктор экономических наук
Пелих
Сергей Александрович

доктор физико-математических наук
Цеснек
Леонид Сергеевич

доктор технических наук
Гоев
Александр Иванович

Задачи, стоящие перед академией «Контенант» оказались невыполнимыми из-за слишком широкого охвата знаний интеллектуального потенциала (это задачи высшей школы и академии наук, да и им она практически недоступна), неохваченные области громадны и по составу и по назначению.

Академия для этого должна обладать мощными финансовыми ресурсами, целенаправленными вкладами со стороны юридических лиц. Практически все задачи для академии МАК (РОМАК)пока еще в зародыше и реально невыполнимы в сложившихся условиях.

Президиумом академии при перерегистрации были поставлены другие задачи, целями которых являются:

- содействие развитию оптической науки и техники, технологии оптического производства;
- проведение комплексных исследований проблем оптической науки, производства;
- поддержка внедрения образовательных научных программ, отдельных исследований организаций, подразделений и творческих групп в интересах оптико-электронной промышленности и смежных направлений;
- повышение профессионального уровня и престижа специалистов, работающих в области оптики.

Для осуществления новых задач академия «Контенант» вправе:

- организовывать и проводить исследовательскую, просветительскую, информационную и издательскую деятельность;
- организовывать и проводить научно-технические конференции, семинары, дискуссии и другие мероприятия, в том числе и международные;
- принимать участие в подготовке решений органов управления предприятий и организаций;
- свободно распространять информацию о своей деятельности;
- учреждать средства массовой информации (журналы, электронные журналы, сайты, материалы по конференциям и т.д.);
- вести рекламную деятельность;
- осуществлять сотрудничество с российскими и иностранными юридическими лицами;
- участвовать в работе сторонних организаций по указанным направлениям.

Академия «Контенант» осуществляет свою деятельность в соответствии с Уставом и называется «Московской областной общественной научно-технической организации «Общественная академия «Контенант» в области оптических наук».

Это связано с тем, что для организации в масштабе страны международной академии необходимо иметь организации в половине регионов России, а оптические предприятия и ВУЗы есть только в ограниченных регионах, а целью организации является развитие оптики, поэтому краткое название «Общественная научно- техническая академия «Контенант». Организации в Беларуси являются подразделениями академии.

Президенты научно-технической академии академии «Контенант»

Цеснек
Леонид Сергеевич

Гоев
Александр Иванович

Потелов
Владимир Васильевич

Сеник
Богдан Николаевич
с мая 2012 года

С мая 2012 года президентом академии «Контенант» является доктор технических наук Сеник Богдан Николаевич.

Именно под его руководством была проведена оценка работы академии, определены недостатки в организации этой работы и поставлены новые задачи в области оптических наук.

Работа членов академии теперь направлена на решение задач, стоящих перед предприятиями оптической промышленности, научных и учебных организаций.

Основные задачи, решаемые академией «Контенант»:

- анализ деятельности российских и зарубежных научно-технических организаций и на этой основе выбор оптимальной формы деятельности;
- активизация деятельности максимального числа членов академии в научных исследованиях, оформление результатов этих работ, написание научных статей в изданиях академии и в других источниках;
- участие в научно-технических конференциях, проводимых академией и в других оптических организациях;
- проведение научно-технических конференций, семинаров;
- регулярный выпуск собственных научно-технических изданий;
- расширение научных и деловых связей;
- рост численности членов академии и особенно за счет молодых кадров;
- обмен научно-технической информацией по современным тенденциям в области разработки, изготовления и контроля оптико-электронных приборов и комплексов;
- использование современных технических средств в распространении знаний.

С этой целью по решению Президиума и президента академии решены следующие задачи:

- зарегистрирована академия в Московском управлении Минюста;
- разработан и утвержден на общем собрании Устав академии;
- избраны Президиум и Бюро президиума;
- проведена ревизия всех членов академии и оставлены специалисты в оптико-электронного приборостроения. Из общего числа специалистов 288 человек в академии осталось около 150 человек;
- проведен ремонт всех помещений академии при участии ОАО «Красногорский завод им. С.А.Зверева»;
- Устав, планы работы, делопроизводство, отчеты во все органы власти работают без серьезных замечаний со стороны всех проверяющих органов.

Академия «Контенант» издает следующие электронные и печатные издания:

- научно-технический журнал «Контенант», выходящий четыре раза в год, где печатаются научно-технические статьи и организационные документы, по проводимым научно-техническим конференциям.

Журнал с 2012 года зарегистрирован в Роскомнадзоре Минпечати РФ и рассылается в 16 библиотек страны (библиотеки, ВУЗы), во все научно-производственные организации оптико-электронной промышленности России и Беларуси, всем членам академии и во все ВУЗы оптического профиля. Кроме того журнал публикуется на сайте академии для всеобщего обозрения.

На сайте академии также публикуется:

- электронный научно-технический «Контенант» в области оптических наук для всеобщего обозрения;
- все статьи в журналах, соответствующие требованиям по договору, публикуются в Научной Электронной Библиотеке для Российского Индекса Научного Цитирования.

Вторым направлением деятельности членов академии является проведение научно-технических конференций на предприятиях и в ВУЗАх оптико-электронной направленности и участие в аналогичных конференциях других организаций.

Практика показала правильно выбранную стратегию деятельности академии «Контенант»:

- научная работа членов академии по выбранным ими направлениям в индивидуальном и коллективном плане;
- участие в проведении научно-технических конференций.

Это резко повысило привлекательность и эффективность всей организации и повысилась информационная насыщенность полезным материалом для исследований.

Тематика проводимых конференций тщательно подбирается путем заблаговременного мониторинга предложений и пожеланий корпоративных членов, в том числе и в Беларуси.

Конференции проводятся с участием академии, как правило 2-3 раза в год.

К каждой конференции публикуются Тезисы докладов, привлекающие внимание участников и сторонних организаций.

Одновременно академия «Контенант» участвует в работе других организаций, проводящих научно-технические конференции по оптической тематике, направляя своих докладчиков.

В их числе научно-технические конференции:

- участие в конференциях «Optics-Expo 2014, 2015 годов»;
- участие в XIV и XV Международных конференциях по голографии и прикладным оптическим технологиям 2017 и 2018 гг. с изданием тезисов докладов и участием в конференциях;
- участие на Всероссийской научно-технической конференции «Инновационные приборы в оптикоэлектронном приборостроении»;
- конференции в Беларуси (г. Минск).

Всего проведено конференций силами академии 10 научно-технических конференций:

– Гиперспектральные приборы и технологии (г. Красногорск);

– Размерная стабильность материалов и конструкций оптических и оптико-электронных приборов (г. Красногорск);

– Технологии обработки оптических элементов и нанесения вакуумных покрытий (г.Минск);

– Технологии алмазной прецизионной обработки (г. Красаногорск);

– Оптико-электронные приборы и системы. Прием, обработка и получение оптической информации. Аппаратура, режимы, алгоритмы;

– Международная конференция «оптико-электронные комплексы наземного и космического базирования» (г. Лыткарино);

– XIV международная конференция HoloExpo 2017 (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Звенигород);

– XV международная конференция HoloExpo 2017 (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Нижний Новгород);

– Всероссийская научно-техническая конференция «Инновационные проекты в оптико-электронном приборостроении, (г. Москва);

– Оптико-электронные приборы и комплексы, (г. Красногорск).

Участие в двух конференциях друхих организаций:

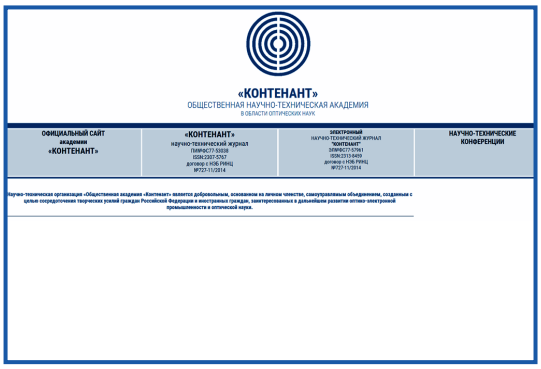
– участие академии в VIII Международном форуме «Оптические приборы и технологии - Optics-expo 2012» с докладами;

– участие академии в X Международном форуме «Оптические приборы и технологии - Optics-expo 2014» с докладами.

Основными контактами членов академии «Контенант» являются отчетно-выборные собрания, планируемые научно-технические конференции, статьи в научно-техническом журнале «Контенант», в электронном журнале «Контенант», личная исследовательска работа, сайт академии «Контенант», личная переписка специалистов. По этим вопросам Президиума уделяют большое внимание способам общения и поощряют эти контакты.

Средства информации:

научно-технический журнал «Контенант»



сайт академии в Интернет www.contenant.ru

электронный журнал «Контенант»

тезисы докладов на конференциях

- научно-технический журнал «Контенант». Публикует научно-технические статьи по разделам:
  - научные исследования в оптике;
  - расчет, проектирование и производство оптических систем;
  - оптическое приборостроение и технология;
  - оптическое материаловедение и технология;
  - информация, в том числе по проводимым конференциям,

а также рекламную информацию в журналах по заказам оптических организаций, уплачивающих взносы в академию.

С момента издания периодического журнала с 2012 года выпущено 28 номеров то есть более 500 научно-технических статей.

Сайт научно-технической академии «Контенант» существует с 2013 года.

Общая часть сайта содержит полную информацию о работе академии, новости, Устав, руководящие органы, порядок вступления в академию с образцами документов, членскими билетами, образцы договоров с организациями, реквизиты, схемы проезда, виды связи. Сайт содержит все статьи журнала «Контенант» начиная с 2013 года, что дает возможность любым читателям знакомиться с этими материалами.

На сайте в отдельном разделе публикуются специально подготовленные статьи, оформленные в соответствии с требованиями Российского Индекса Научного Цитирования, которые также публикуются в Научной Электронной Библиотеке.

Отдельным разделом на сайте публикуются научно-технические статьи для общего ознакомления и они же публикуются в РИНЦ НЭБ для учета в перечне научных статьей для защиты диссертаций.

Тезисы докладов для проведения научно-технических конференций всегда публикуются силами средствами академии в отдельных томах по предполагаемому числу участников конференции и раздаются при регистрации участников.

Наличие сайта академии «Контенант» позволяют правильно организовать работу всех членов академии и обеспечивает широкий обмен информацией.

Организационная работа

Вся перспективная и текущая работа строилась на основании решений Президиума, заседания которых проводились в установленное время в соответствие с планами работы.

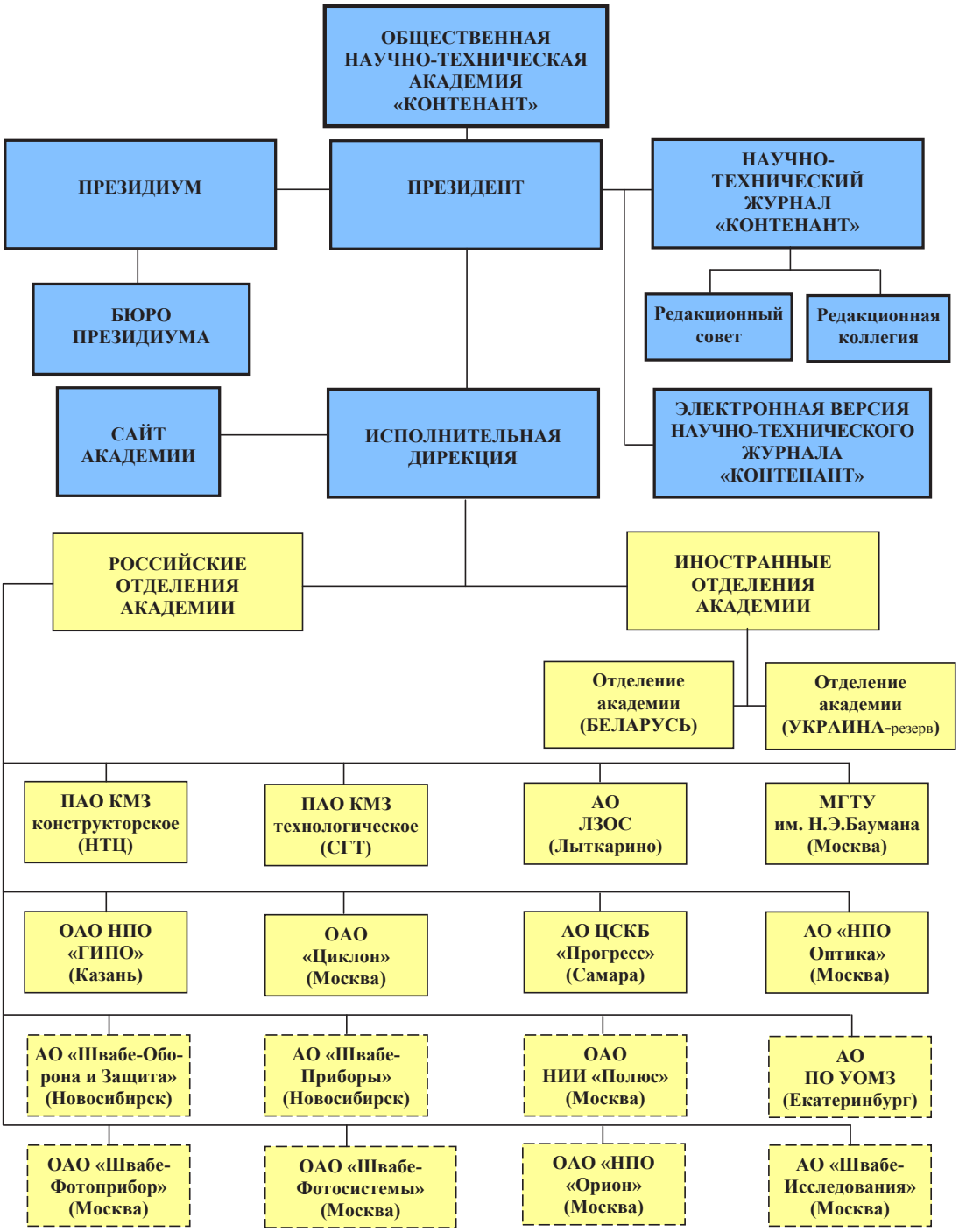
В начале отчетно-выборного периода проведена большая работа по переоформлению всех юридических и финансовых документов.

Ранее МАК была зарегистрирована в Республике Беларусь в г. Сморгонь, что создавало массу неудобств и в России, и в Беларуси.

К тому же новое законодательство в Российской Федерации требовало регистрации в России.

В соответствии с этим была проведена перерегистрация членов академии на основе принадлежности к оптической промышленности. Современная структура академии «Контенант» представлена на прилагаемом рисунке.

ОРГАНИЗАЦИОННАЯ СТРУКТУРА



Академия взаимодействует с предприятиями, входящими в АО «Швабе», университетами, Министерства образования: МГТУ им. Н.Э.Баумана, МИИГАиК, ИТМО и другими организациями, участвующими в научно-технических конференциях, в том числе предприятиями Республики Беларусь, участвующими в научно-технических конференциях в г. Минске и в Российских конференциях.

ЗАДАЧИ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ АКАДЕМИИ «КОНТЕНАНТ»,
ПОСТАВЛЕННЫЕ ПРЕЗИДЕНТОМ,

доктором технических наук

СЕНИКОМ Б.Н.

до отчетно-выборного собрания в 2020 году

ЗАДАЧИ ОБЩЕСТВЕННОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ АКАДЕМИИ «КОНТЕНАНТ» на последующий период

Общественная академия «Контенант»

является добровольной, основанной на членстве, самоуправляемой организацией, созданной с целью объединения творческих усилий граждан РФ и иностранных граждан, заинтересованных в дальнейшем развитии оптико-электронной отрасли науки и промышленности. Организация создана в соответствие с Конституцией РФ на основании закона РФ «Об общественных организациях» и действующего законодательства РФ.

Цели академии «Контенант»:

– содействие развитию оптической науки и техники;
– проведение комплексных исследований проблем оптической науки и производства;
– повышение профессионального уровня и престижа специалистов, работающих в области оптики.

Задачи академии «Контенант»:

– организация и проведение научно-технических конференций, семинаров по различным проблемам современной науки;
– принимать участие в подготовке и решении органов управления предприятий и организаций оптической отрасли;
– осуществление издательской и рекламной деятельности;
– издавать научно-технический журнал по проблемам оптики
– продолжать издания электронного журнала «Контенант» для ВАК с изданием в РИНЦ и на сайте академии

Научно-технический журнал «Контенант»

(с размещением статей в Научной Электронной Библиотеке в РИНЦ)
издается один раз в квартал

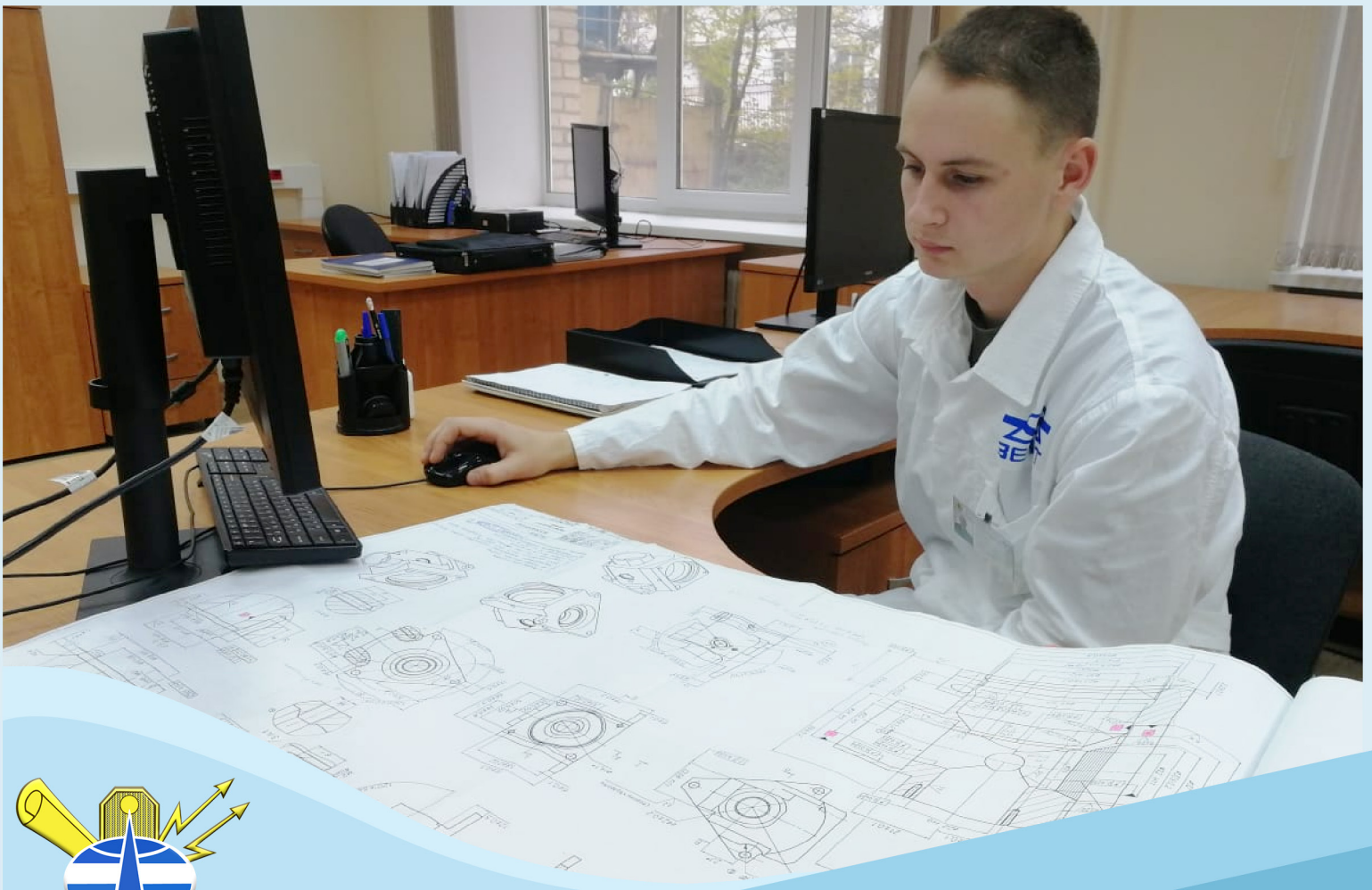
Электронный научно-технический журнал «Контенант»

(с размещением статей для ВАК в Научной Электронной Библиотеке РИНЦ)
издается один раз в квартал с размещением на сайте академии

Научно-технические конференции

(ежегодно проводится по две научно-технические или научно-практические конференции)
издается один раз в квартал

Исполнительный директор Фатхудинов Р.Х.



НАУЧНАЯ РОТА КОСМИЧЕСКИХ ВОЙСК ВОЗДУШНО-КОСМИЧЕСКИХ СИЛ

Результаты деятельности научной роты Космических войск Воздушно-космических сил за 2018-2019 годы

В обзоре речь пойдет, конечно, о подведении итогов деятельности подразделения за указанный период, ведь без него сложно начать менять жизнь в лучшую сторону. Грамотный «разбор полетов» помогает увидеть сильные и слабые стороны, выявить ошибки, которые иногда повторяются и, конечно же, найти решения тех или иных проблем. Все это возможно благодаря тому, что есть общая картина происходящего, а значит мы будет готовы получить преимущества в новом периоде.

За упомянутый период личный состав научной роты Космических войск Воздушно-космических сил успешно решил и продолжает решать научно-исследовательские задачи в интересах Космических войск Воздушно-космических сил, поучаствовал во многих научно-популярных мероприятий, форумах, выставках, олимпиадах и конференциях.

Операторы научной роты КВ ВКС на конференции в ОАО РТИ

31 мая минувшего года в ОАО РТИ им. А.Л. Минца прошла VI Всероссийская научно-техническая конференция «Проблемы и перспективы развития информационно-управляющих систем, РЛС ВЗГ дальнего обнаружения, интегрированных систем и комплексов информационного обеспечения Воздушно-космической обороны».

Операторы научной роты Космических войск Воздушно-космических сил (далее КВ ВКС) рядовые Мурзин П.Е., Васин А.О., Сидоров А.Ю. и Ермаков Д.С. представили четыре работы. Труды операторов с интересом выслушали и высоко оценили, как организаторы конференции, так и ее посетители. С каждым из операторов научной роты после его выступления аудитория активно вступала в дискуссию по теме доклада и с интересом обсуждала проблематику и новизну научного исследования. По итогам данного мероприятия наши операторы получили памятные дипломы и предложения по дальнейшему трудоустройству в РТИ, что, конечно же, достойно внимания.

24 и 27 июня операторы, занимающиеся научной деятельностью на АО «Корпорация «Комета»» и ПАО «КМЗ» успешно представили результаты научной деятельности.

В период проведения форума задачи волонтерского движения выполняли 23 военнослужащих научной роты космических войск Воздушно-космических сил (1 офицер, 2 сержанта, 20 солдат). Волонтеры образцово исполняли свои прямые обязанности представителя организатора Форума, обеспечивая участие предприятий и организаций российской и иностранной промышленности, помогая людям находить дорогу (в т. ч. представителям иностранных государств, благодаря тому, что многие операторы владеют английским языком), пожилым гражданам, помощь потерявшимся детям и возврату утерянных вещей. По итогам работы форума: научная рота Космических войск Воздушно-космических сил награждена дипломом и памятной медалью за активное участие в мероприятиях научно-деловой программы на Международном военно-техническом форуме «АРМИЯ-2018». Командир роты – старший научный сотрудник капитан Парамонов А.А., командир взвода – младший научный сотрудник лейтенант Остроумов И.С. и операторы научной роты: рядовой Барченков А.С., рядовой Шаранов Е.П., рядовой Мурзин П.Е. награждены дипломами за активное участие в мероприятиях научно-деловой программы Форума.

Участие операторов научной роты КВ ВКС на Международном военно-техническом форуме «Армия-2018»

Рядовой Мурзин А.Е. докладывает о своей работе генерал-лейтенанту Макушеву И.Ю.

Церемония награждения участников научно-деловой программы форума

Памятная фотография докладчиков научной роты КВ ВКС во главе с командиром роты капитаном Парамоновым А.А.

Докладчики рядовой Мурзин П.Е., Рядовой Шаранов Е.П. и Барченков А.С. на экспозиции «Роскосмос»

Проведение аттестации операторов призыва 1-2018 на ПАО «КМЗ»

С 20 по 24 ноября прошла XIII Всероссийская инновационная молодежная научно-инженерная выставка «ПОЛИТЕХНИКА» в рамках Всероссийского форума научной молодежи «Богатство России» в МГТУ им. Н.Э. Баумана, где ефрейтор Сидоров А.Ю., ефрейтор Ермаков Д.С. (с экспозицией: «Схема радио фотонного приемного канала входного СВЧ излучения, основанная на методе электрооптического стробирования») и ефрейтор Шаранов Е.П., (с экспозицией: «Макет стенда для проверки источника оптического излучения с повышенной энергетической эффективностью и сроком службы») представляли разработки научной роты.

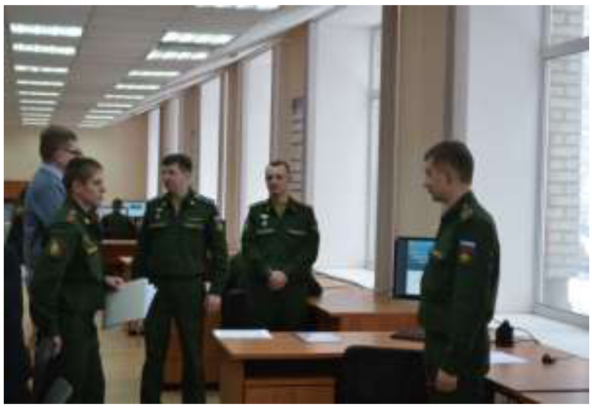
По итогам выставки старшие операторы были награждены дипломами 2-ой степени в номинациях «Техническая физика», «Лазерные и оптико-электронные системы» и конечно же сосредоточенным внимание со стороны участников и экспертов.

Ефрейтор Сидоров А.Ю. рассказывает о проделанной работе эксперту

Старшие операторы ефрейтор Сидоров А.Ю., Ермаков Д.С. и Шаранов Е.П. под руководством командира взвода - младшего научного сотрудника лейтенанта Литвинова С.А.

6 декабря состоялась XVI Всероссийская молодежная научно-техническая конференция «Радиолокация и связь — перспективные технологии» в НПО «Алмаз», где участвовали операторы рядовые Пашаев С.Ю. и Струков С.И. Работы операторов были признаны лучшими в секции, в доказательство чего, военнослужащие получили памятные дипломы и возможность быть опубликованными в сборнике докладов.

Награждение рядового Струкова С.И. памятной грамотой за участие в конкурсе на лучшую научную работу



Заслушивание докладов операторов научной роты КВ ВКС военно-научным комитетом ВС РФ

5 марта операторы научной роты рядовой Половьян М.В., рядовой Саркисян Н.А. и рядовой Емельянов А.С. приняли участие в 14-й Международной специализированной выставке лазерной, оптической и оптоэлектронной техники «Фотоника-2019», где получили богатый опыт по данным направлениям, а также рассмотрели перспективы дальнейшего сотрудничества и трудоустройства на предприятия оборонно-промышленного комплекса.

Как известно, весна — период олимпиад, в которых научная рота Космических войск Воздушно-космических сил традиционно и ежегодно принимает участие. Так с 17 по 22 марта операторы научной роты ефрейтор Поспелов А.А., ефрейтор Щетинин Г.А. и рядовой Говоров А.С. под руководством командира взвода – младшего научного сотрудника лейтенанта Остроумова И.С. приняли участие в V-й Международной Всеармейской олимпиаде курсантов по информатике (г. Тверь), где наша команда заняла 1 место среди команд, участвующих вне конкурса с профильной подготовкой. Участники были награждены дипломом «Лучшая научная рота», а также памятными подарками.

Рядовой Вечерин Я.А. производит доклад по своей работе на XLV Международной молодежной научной конференции «Гагаринские чтения»

Памятная фотография команды научной роты КВ ВКС на V-й Международной Всеармейской олимпиаде курсантов по математике (г. Смоленск)

Благодаря таким событиям, операторы научной роты Космических войск Воздушно-космических сил получают огромный опыт по востребованным направлениям, который впоследствии используется при решении основных задач в научной деятельности, пробуют свои силы ну и, конечно же, представляют подразделение на событиях Международного уровня.

Не будем забывать также и о том, что операторы научной роты ведут активную рационализаторскую деятельность, занимаются написанием научных статей и самое главное — проведением перспективных исследований и разработок в области автоматизированных систем управления в интересах Космических войск Воздушно-космических сил.

Подводя итоги, хочется отметить ритм жизни операторов и нагрузку из задач по предназначению, которые говорят о том, что подразделение движется в правильном направлении по своему развитию, что очень немаловажно для военной службы по призыву. Возможность не терять квалификацию за период прохождения службы в научной роте Космических войск Воздушно-космических сил, решать актуальные прикладные задачи, помогающие повысить обороноспособность нашей страны, иметь возможность дальнейшего перспективного трудоустройства в рядах ВС РФ и ведущих предприятий оборонно-промышленного комплекса – вот составляющие, что присущи нашему подразделению.

В результате аттестации произведена оценка эффективности научно-исследовательской работы. Членами аттестационной комиссии были оценены планы научной деятельности операторов и проконтролированы сроки их выполнения.

В соответствии с указаниями Министра обороны Российской Федерации в период с 21 по 26 августа 2018 года проводился Международный Военно-технический форум «Армия-2018», на котором была представлена экспозиция научной роты Космических войск Воздушно-космических сил, а также военнослужащие научной роты выполняли задачи волонтерского движения в период проведения Форума. Данное событие занимает особое место в жизни подразделения, которое заслуживает отдельного внимания.

***Оператор научной роты КВ ВКС рядовой Мурзин П.Е. за разработкой программно-аппаратного комплекса цифровой обработки изображений, представленного на МВТФ «Армия**-2018»*

На стенде научной роты научной роты Космических войск Воздушно-космических сил были представлены: макет стенда для проверки источника оптического излучения с повышенной энергетической эффективностью и сроком службы, а также программно-аппаратный комплекс цифровой обработки видеоинформации перспективной оптико-электронной аппаратуры дистанционного зондирования Земли. Экспозицию представляли военнослужащие: рядовой Барченков А.С., рядовой Шаранов Е.П., рядовой Мурзин П.Е.

Посетители экспозиции ознакомились с условиями прохождения службы операторами научной роты Космических войск Воздушно-космических сил, с направлениями научных исследований, площадками, где организована научная деятельность военнослужащих, достижениями в научной работе.

В день открытия форума экспозицию научной роты космических войск Воздушно-космических сил посетил председатель Военно-научного комитета — заместитель начальника Генерального штаба Вооруженных Сил Российской Федерации генерал-лейтенант Макушев Игорь Юрьевич, ВрИО начальника Главного управления научно-исследовательской деятельности Министерства обороны Российской Федерации генерал-майор Кордюков Р.Ю., председатель Военно-научного комитета Воздушно-космических сил полковник Вараксин И.В., а также ряд других должностных лиц. В дни работы специалистов с разработками операторов научной роты космических войск Воздушно-Космических сил ознакомились главные конструкторы ведущих предприятий оборонно-промышленного комплекса, председатель национального комитета по стандартизации Российской Федерации Кудельник В.А., сотрудники ведущих научно-исследовательских организаций и предприятий оборонно- промышленного комплекса. В целом, в период проведения Форума с экспозицией научной роты Космических войск Воздушно-космических сил ознакомились более 200 специалистов научно-исследовательских организаций и оборонно-промышленного комплекса.

В конце сентября рядовым Илларионовым А.А. была подготовлена и направлена в Военную академию Генерального штаба ВС РФ работа рядового Илларионова А.А. для участия в конкурсе идей (индивидуальных работ) по актуальным вопросам военного искусства, проводимом Министерством обороны Российской Федерации совместно с Фондом перспективных исследований. Тема работы: «Автономный роботизированный комплекс поиска роботизированных комплексов противника с использованием искусственных нейронных сетей».

11 октября в НИИЦ (г. Москва) ЦНИИ Войск ВКО Минобороны России проводилась Научно-техническая конференция на тему: «Проблемы создания и испытаний вооружения ракетно-космической обороны», посвященная «100-летию основателя противоракетной обороны страны Григория Васильевича Кисунько». В конференции приняли участие старшие операторы ефрейтор Ермаков Д.С. и ефрейтор Сидоров А.Ю., которые представили две научные работы и продемонстрировали глубокие знания в проведенных ими исследованиях. Доклады операторов вызвали всестороннюю заинтересованность организаторов конференции, а также ее участников. После завершения конференции операторы 3-й научной роты были награждены памятными медалями «К 100-летию основателя ПРО страны Г.В. Кисунько».

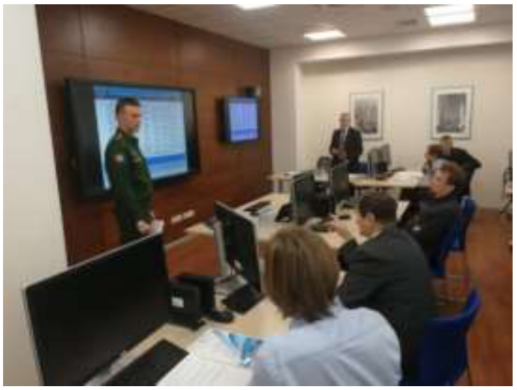
19 октября прошла конференция «Физико-химия и технология неорганических материалов» в Институте металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, в котором принял участие в качестве докладчика оператор научной роты КВ ВКС рядовой Тищенко А.Г. Тема доклада: «Влияние термической обработки на твердость и структуру стали 45Х2ГН3КВФД». Работа рядового Тищенко А.Г. была высоко оценена и вызвала неподдельный интерес, кроме того оператор получил предложение о дальнейшем трудоустройстве в Институте металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН.

Выступление оператора научной роты КВ ВКС рядового Тищенко А.Г. на конференции «Физико-химия и технология неорганических материалов»

15 ноября была проведена аттестация операторов призыва 1-2018, занимающихся научной деятельностью на ПАО «КМЗ». В ходе аттестации члены аттестационной комиссии, совместно с операторами активно вели обсуждение докладов.

Операторы успешно прошли аттестацию, а также получили опыт в представлении своих результатов научно-исследовательской деятельности. По окончании заслушивания отчетных работ, члены аттестационной комиссии высоко оценили уровень подготовки операторов научной роты.

10 декабря на Всероссийском форуме научной молодежи «Богатство России» в МГТУ им. Н.Э. Баумана принял участие рядовой Ажганов Д.Ж., чей доклад стал победителем в секции «Авиационно-космические и машиностроительные технологии». Наш оператор был награжден соответствующим дипломов, серьезной похвалой и конечно же опубликован.



Выступление оператора научной роты КВ ВКС рядового Струкова С.И. на Всероссийской молодежной научно-технической конференции «Радиолокация и связь — перспективные технологии» в НПО «Алмаз»

Приятным итогом 2018 года стало участие рядового Струкова С.И., принявшего участие в конкурсе на лучшую научную работу по тематике ГИКЦ среди курсантов, операторов научных рот, адъюнктов, аспирантов, молодых ученых и специалистов.

Его труд был высоко оценена экспертами жюри и занял почетное третье место в номинации «Лучшие научные работы курсантов и операторов научных рот».

Оператор научной роты КВ ВКС рядовой Ажганов Д.Ж. – автор лучшего доклада в секции

6 февраля 2019 года уже старшие операторы научной роты Космических войск Воздушно-космических сил ефрейтор Струков С.И. и ефрейтор Пашаев С.Ю. приняли участие в IX Научно-технической конференции молодых ученых и специалистов «Научные чтения, посвященные 110-летию со дня рождения академика А.А. Расплетина». Работа ефрейтора Пашаева С.Ю. получила высокую оценку научной аудитории, а ефрейтор Струков С.И. занял третье место и был награжден грамотой и также денежным сертификатом на 10000 руб. за доклад в секции «Антенная техника и СВЧ электроника».

13 февраля 2019 года результаты научной деятельности роты за 2018 год были проверены военно-научным комитетом (ВНК) ВС РФ. По итогам министерской проверки ВНК отметил в лучшую сторону высокую подготовку военнослужащих научной роты Космических войск Воздушно-космических сил, высокие показатели в научной деятельности, а также высокую значимость поставленных перед ними задач.

Операторы научной роты КВ ВКС на выставке «Фотоника-2019»

Победители олимпиады по информатике среди команд, участвующих вне конкурса в профильной подготовке

12 апреля операторы научной роты в количестве 12 человек стали участниками мероприятия под названием «Лекция ведущих ученых в космической области», которое прошло в КВЦ «Патриот», где военнослужащие смогли получить богатый опыт и знания в отрасли, напрямую связанную с «боевой» задачей роты.

Операторы научной роты КВ ВКС на лекции ведущих ученых в космической области

17 апреля в ВИТ «ЭРА» прошла конференция «Информационная безопасность», в которой приняли участие старшие операторы ефрейтор Струков С.И. и ефрейтор Поспелов А.А. под руководством командира роты – старшего научного сотрудника Парамонова А.А. Материалы докладов операторов были охарактеризованы экспертами, присутствующими на конференции как заметные и перспективные. По итогам данного мероприятия наши военнослужащие были награждены памятными подарками, а их доклады будут опубликованы в сборнике научных трудов ВИТ «ЭРА».

18 апреля операторы научной роты рядовой Пахомов Т.К., рядовой Целищев К.Н. и рядовой Вечерин Я.А. приняли участие в XLV Международной молодежной научной конференции «Гагаринские чтения», после которой, труды операторов будут опубликованы в сборнике РИНЦ.

С 20 по 25 апреля прошла V-я Международная Всеармейская олимпиада курсантов по математике (г. Смоленск), где наша команда (состав: ефрейтор Бухтин Р.Н., рядовой Говоров А.А., рядовой Саркисян Н.А. и рядовой Донченко Д.В.) под руководством командира взвода — младшего научного сотрудника старшего лейтенанта Литвинова С.А. была отмечена в лучшую сторону дипломами об активном участии и высокие

Командир взвода,
младший научный сотрудник
Остроумов И.С.

ПРАЗДНОВАНИЕ 25-ЛЕТНЕГО ЮБИЛЕЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ АКАДЕМИИ «КОНТЕНАНТ».

ПРОВЕДЕНИЕ ВЫЕЗДНОГО СОВЕЩАНИЯ ГЛАВНЫХ ОПТИКОВ ПРЕДПРИЯТИЙ ХОЛДИНГА «ШВАБЕ»

В МИНСКЕ

В мае текущего года международная академия «Контенант» начала отмечать свой 25-летний юбилей.

Официально эта уважаемая общественная организация родилась и юридически зарегистрирована в Республике Беларусь, г. Сморгонь. Учредителями организации были все ведущие оптические организации и предприятия Республики Беларусь и Российской Федерации. Активное участие в организации и развитии академии принимали сотрудники Министерства оборонной промышленности СССР, лично Первый заместитель министра И.П. Корницкий.

За годы деятельности организации особое внимание уделялось укреплению деловых и дружеских связей между предприятиями и организациями Республики Беларусь и Российской Федерации в части обмена опытом по производству оптико-электронных приборов и комплексов, оптических технологий, координации работ по созданию современного технологического и метрологического оборудования, необходимого для всех оптических предприятий.

В течение вышеуказанного периода на регулярной основе организовывались и проводились научно-практические конференции и выездные совещания главных специалистов предприятий Холдинга в области оптических технологий по обмену опытом, определению основных тенденций в развитии оптических технологий и оптического станкостроения.

Несомненно, вышеуказанные мероприятия приносили и приносят ощутимый результат.

23-24 мая 2019 года, в гостинице «Беларусь», г. Минск, состоялось знаменательное событие – празднование 25-летнего юбилея академии «Контенант» и очередное совещание главных оптиков Холдинга «Швабе».

Были приглашены и присутствовали генеральные директора, главные инженеры, главные технологи, главные оптики, руководители оптических производств предприятий Холдинга «Швабе»: АО «ЛЗОС», ПАО «КМЗ», АО «ВОМЗ», АО «ЗОМЗ», АО «НПО «ГИПО», АО «КОМЗ», и предприятий Российской Федерации: АО «НПО «Квант», АО «НПО «Радуга», АО «НПО «Сатурн» и других предприятий.

От Белорусской стороны присутствовали руководители и главные специалисты ведущих предприятий: ООО «Изовак», ООО «Эссент Оптикс», ООО «Солар», ОАО «Оптическое станкостроение и вакуумная техника», ООО «Оптивак», АО «БелОМО», АО «Диапроектор», АО «завод Оптик», АО «Аэромаш» и других предприятий.

Заседание участников научно-практической конференции в г. Минске

Первый президент Международной академии «Контенант», член Президиума научно-технической академии «Контенант» Пелих Сергей Александрович

Президент научно-технической академии «Контенант» Сеник Богдан Николаевич

Директор ООО «Изовак» Ширипов Владимир Яковлевич

Член Президиума академии «Контенант», начальник кафедры МГТУ им. Н.Э.Баумана Барышников Николай Васильевич

Член Президиума академии «Контенант» Абдулкадыров Магомед Абдуразакович

В процессе проведения вышеуказанных мероприятий, были заслушаны презентационные материалы о потенциальных возможностях оптических подразделений организаций и предприятий, как Беларуси, так и России, обсуждались проблемные вопросы в области материаловедения, оснащённости технологическим и метрологическим оборудованием, о создании инновационных технологий и принципиально новых оптических элементов и покрытий, а также были представлены последние модели оборудования, производимые фирмами ООО «Изовак», ООО «Эссент Оптикс», АО РУП «ОС и ВТ», АО «Оптивак».

По итогам проведённого совещания будет подготовлен специальный документ с утверждением у руководителей Холдинга «Швабе».

Заключительная часть мероприятий была посвящена итогам работы академии «Контенант» за весь период существования, определены недостатки в её работе и намечены пути решения возникающих проблем.

Специальными юбилейными медалями
«100 лет со дня рождения Финогенова П.В.»,

за большой вклад в развитие
оборонной промышленности СССР
и деятельность международной академии «Контенант»
награждены:

- **первый президент академии – Пелих С.А.,**
- **председатель совета директоров ООО «Изовак» - Ширипов В.Я.,**
- **директор предприятия ООО «Эссент Оптикс» - Лисовский Т.С.,**
- **директор предприятия АО РУП «ОС и ВТ» - Касинский Н.К.,**
- **заведующий кафедрой МГТУ им. Н.Э. Баумана – Барышников Н.В.,**
- **главный оптик предприятия АО «ЛЗОС» - Абдулкадыров М.А.**

Президент
академии «Контенант»
Б.Н. Сеник

УДК 535-14

ОДНОВРЕМЕННАЯ ГЕНЕРАЦИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО И ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ФЕМТОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ГАЗОКЛАСТЕРНЫМИ СТРУЯМИ

СИДОРОВ А.Ю., ЕРМАКОВ Д.С.

Публичное акционерное общество «Красногорский завод им. С.А. Зверева», г. Красногорск
3-я научная рота Космических войск Воздушно-космических сил РФ

E-mail: aj.sidorov@physics.msu.ru

Аннотация: *В данной работе исследована одновременная генерация излучения рентгеновского и терагерцового диапазонов в газокластерных струях при возбуждении мощными фемтосекундными лазерными импульсами с энергией до 30 мДж.*

Ключевые слова: фемтосекудные лазерные импульсы, взаимодействие, атомно-молеклярные кластеры, газокластерная струя, наноплазма, оптический пробой, генерация, терагерцовые импульсы, характеристическое рентгеновское излучение, рентгено-терагерцовый источник.

SIMULTANEOUS GENERATION OF X-RAY AND TERAHERTZ RADIATION DURING THE INTERACTION OF FEMTOSECOND LASER RADIATION WITH GAS-CLUSTER JETS

SIDOROV A.U., ERMAKOV D.S.

PJSC «Krasnogorsky plant him S.A. Zvereva», Krasnogorsk

E-mail: aj.sidorov@physics.msu.ru

Abstract: *In this paper, we investigated the simultaneous generation of X-ray and terahertz radiation in gas-cluster jets excited by high-power femtosecond laser pulses with an energy of up to 30 mJ.*

Keywords: femtosecond laser pulses, interaction, atomic-molecular clusters, gas-cluster jet, nanoplasma, optical breakdown, generation, terahertz pulses, characteristic X-ray radiation, X-ray terahertz source.

ВВЕДЕНИЕ

Взаимодействие импульсного лазерного излучения с кластерными мишенями представляет значительный интерес как с фундаментальной, так и с прикладной точек зрения. Исследованию такого взаимодействия посвящено множество экспериментальных и теоретических работ (1) – (18). Кластерами принято называть агрегации частиц, содержащие от нескольких единиц до 10^7 атомов или молекул, которые могут удерживаться вместе различными типами связей с энергией от десятых долей эВ до нескольких ЭВ(2).

Существуют различные методы кластеризации вещества: конденсация при адиабатическом расширении газа, лазерная абляция, эрозия поверхности, импульсные дуговые разряды, островковые пленки и др.

Первый из перечисленных способов является одним из наиболее удобных и широко распространенных. Он заключается в том, что газ под высоким давлением напускается в вакуумную камеру через сопло специальной конфигурации. В результате адиабатического охлаждения газ становится перенасыщенным, что приводит к его конденсации и образованию агрегаций частиц. Взаимодействие лазерного излучения с газокластерной струей происходит с высокой эффективностью, так как плотность кластеров близка к плотности конденсированной фазы используемого вещества. Поглощение излучения может достигать 95% (3), образующаяся плазма нагревается до высоких температур.

Газокластерная струя как мишень для лазерного излучения объединяет преимущества твердой и газовой среды. Высокая нелинейность взаимодействия обусловлена высокой плотностью кластера, при этом не представляет проблемы абляция и разлет осколков, среда возобновляет свои свойства к каждому акту взаимодействия.

При генерации кластерного пучка по методу адиабатической конденсации его свойства являются легко управляемыми путем изменения избыточного давления газа и соотношения буферного и кластеризующегося газов при использовании смесей. Взаимодействие интенсивного лазерного излучения с кластерными струями сопровождается различными нелинейными процессами: генерация третьей и высших гармоник (1) (4), генерация рентгеновского излучения (5), самофокусировка (6), ВКР (7).

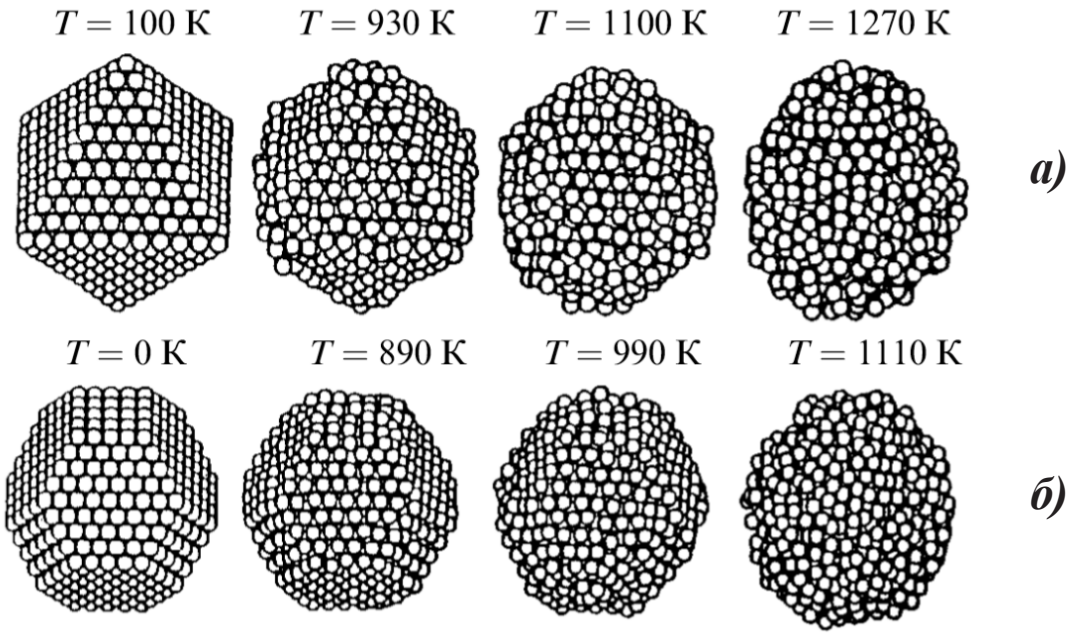


Рисунок 1.
Степень аморфности кластера в зависимости от температуры:
а) число частиц n~900; б) число частиц n~1300

Лазерная наноплазма является источником высокоэнергетичных электронов, ионов и нейтронов (8) (9).

Использование кластерной мишени позволяет создать интенсивный спектрально яркий источник рентгеновского излучения. Максимальная эффективность преобразования лазерной энергии в энергию рентгеновского излучения может достигать 10% (10).

Как было показано в работах (11) (12), увеличение размеров кластеров приводит к повышению интенсивности характеристического рентгеновского излучения. Это связано с тем, что крупные кластеры в меньшей степени, чем мелкие, успевают разрушиться предымпульсом. Другой подход к увеличению выхода рентгена – использование смеси из легко кластеризующегося молекулярного и буферного газов – например $(Ar + CF_2Cl_2), (Ar + SF_6)$ (13). Важно отметить, что рентгеновское излучение может служить источником информации о параметрах плазмы (10). В ряде работ (15) – (18), проведенных в недавнее время, была показана возможность генерации терагерцового излучения при взаимодействии интенсивных лазерных импульсов с газокластерными струями.

Полученные результаты свидетельствует о высокой эффективности такого метода и перспективности дальнейших исследований. Так, в работе (14) получена генерация ТГИ в плазме, создаваемой одночастотным импульсным лазерным излучением в аргоновой газокластерной струе.

Авторами было показано, что энергетический выход низкочастотного излучения увеличивается на два порядка по сравнению с обычной плазмой оптического пробоя того же газа. Генерации терагерцового излучения в лазерно-индуцированной плазме посвящено большое число экспериментальных и теоретических исследований (19) – (24). Преимуществом плазмы как источника ТГИ является большая спектральная ширина генерируемого субпикосекундного импульса - до 75 ТГц (15), большая амплитуда поля - до 400 кВ/см (16). Не представляет проблемы разрушение рабочей среды, нет ограничений на максимальную энергию импульса накачки. Впервые генерация слабого низкочастотного излучения в лазерной плазме была продемонстрирована в работе (17). В дальнейшем были найдены способы повышения эффективности оптико-терагерцовой конверсии в лазерно-плазменном методе генерации. Так, было продемонстрировано, что интенсивность ТГИ значительно возрастает при приложении постоянного электрического поля к плазме (18).

Наиболее эффективной оказалась «двухцветная» схема генерации, предложенная в работе (19). Ее идея заключается в совмещении излучения основной частоты лазера и ее второй гармоники, генерируемой в нелинейном кристалле. Применение бигармонической накачки при газово-плазменной генерации ТГц излучения позволяет повысить энергетический выход на 2-3 порядка. В настоящее время данный метод находит различные лабораторные и иные применения.

В работе (20) описан эксперимент по генерации ТГИ в газокластерной струе с применением двухчастотного возбуждающего импульса. Струя формировалась с помощью щелевого сопла, лазерное излучение образовывало филамент длиной около 2 см. Мощность ТГц излучения была несколько меньшей, чем при генерации в статическом газе, наблюдалось насыщение интенсивности ТГИ при энергии возбуждающих импульсов больше 100 мДж. Это могло быть связанно с высоким поглощением низкочастотного излучения в плазме высокой плотности, а также плазменной дефокусировкой.

Детального исследования процесса генерации ТГц излучения авторами работы (20) проведено не было, эксперимент носил тестовый характер.

Повышение эффективности оптико-терагерцовой конверсии в методе лазерно-плазменной генерации является актуальной задачей, так как при использовании обычных газов коэффициент преобразования составляет в лучшем случае 10^{-4} (15). В связи с этим представляется целесообразным систематически исследовать процесс генерации ТГИ в кластеризованной плазме с применением двухчастотной накачки.

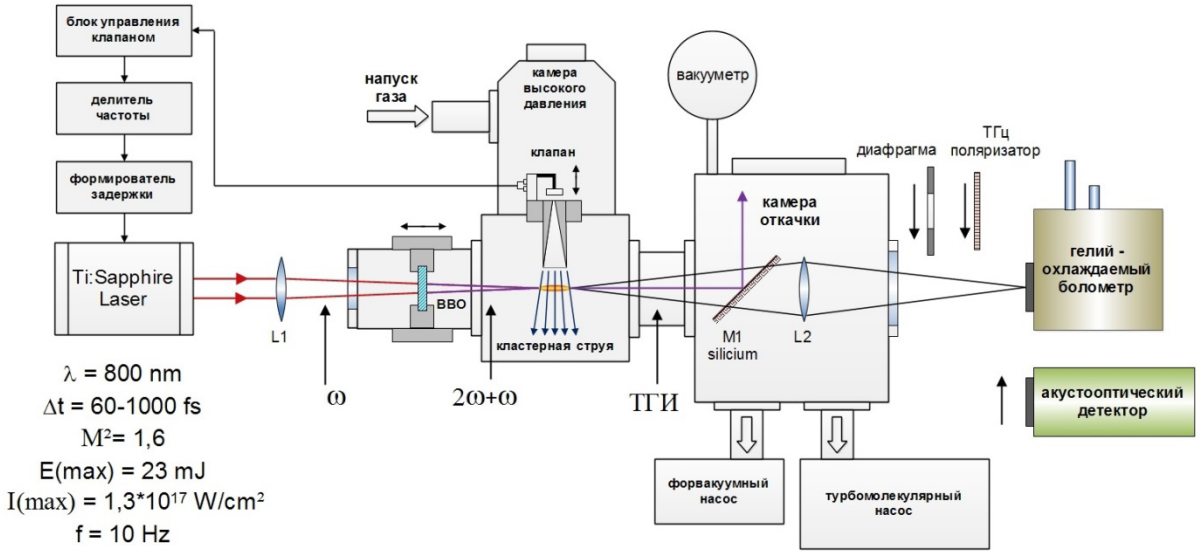


Рисунок 2.
Схема экспериментальной установки для исследования генерации терагерцового и рентгеновского излучения в газокластерных струях

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИИ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННОЙ АНОПЛАЗМЕ. СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Схема установки приведена на рис. 2. Источником излучения является импульсный титан-сапфировый лазер с центральной длиной волны 810 нм, частотой повторения 10 Гц, максимальной энергией импульса до 30 мДж, диаметном пучка 1 см. Фактор качества пучка $M^2 \approx 1.6$.

В компрессоре лазерной системы возможно изменение параметра чирпирования лазерного импульса путем смещения дифракционных решеток. Это позволяет изменять длительность импульса в пределах 60-1000 фс. Лазерное излучение фокусируется линзой L_1 с фокусным расстоянием 20 см и направляется внутрь вакуумной камеры через входное кварцевое окно.

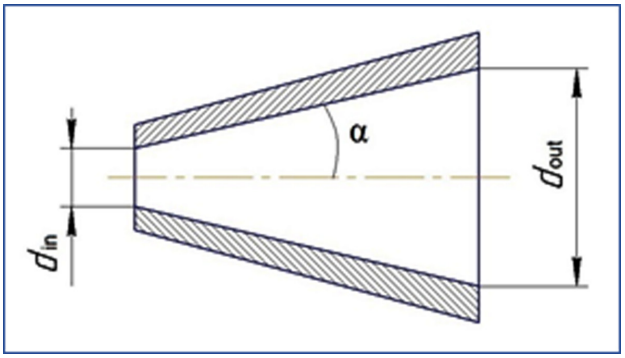


Рисунок 3.
Сопло для создания газокластерной струи

Для создания газокластерной струи в нашей системе используется сопло конической формы (производитель – General Valve), которое имеет следующие параметры (рис. 3):

- диаметр входного (критического) сечения $d_{in} = 750\ мкм$
- диаметр выходного сечения $d_{out} = 4\ мм$
- угол полураскрыва $\alpha = 5°$

Вид вакуумной камеры сверху и расположение системы детекторов схематически изображены на рис. 4. Характеристическое рентгеновское выводится из камеры через боковое бериллиевое окно, расположенное напротив плазменной перетяжки под углом $90°$ к лазерному пучку. В качестве детектора рентгеновского излучения используется фотоэлектронный умножитель. Сигналы с болометра и ФЭУ подаются на двухканальный АЦП, сопряженный с компьютером. Данная система обеспечивает одновременное измерение амплитуды обоих сигналов и позволяет записывать выборку для возможности усреднения и определения погрешности.

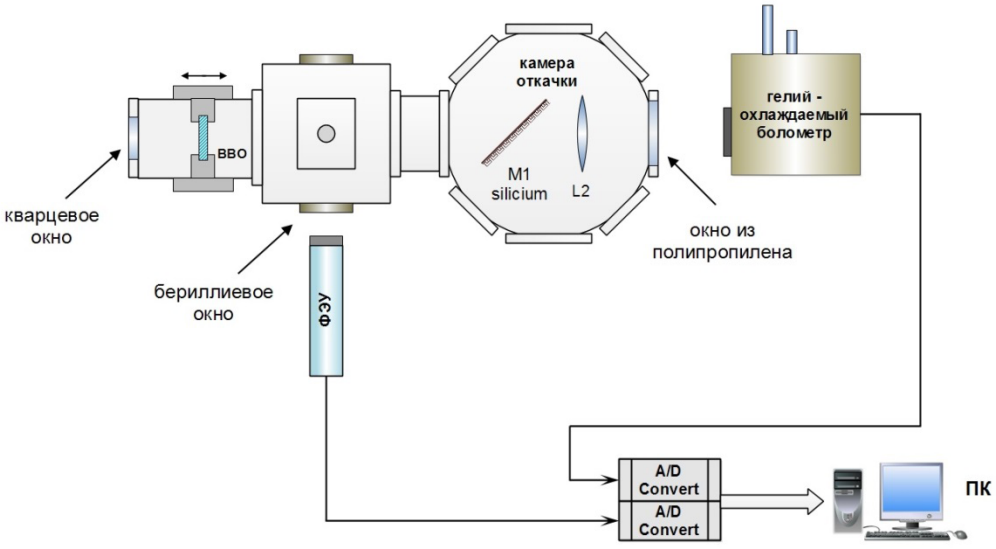


Рисунок 4.
Вакуумная камера и детекторы

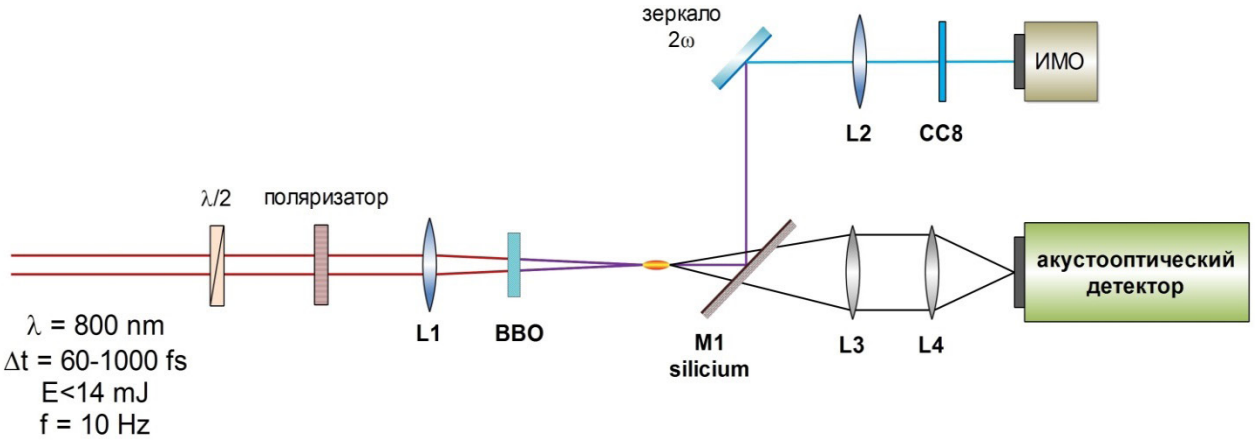


Рисунок 5.
Схема тестовой установки при генерации ТГИ в воздушной плазме

ГЕНЕРАЦИЯ ТГИ В СТАТИЧЕСКОМ ГАЗЕ. МЕТОДИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Первоначально был проведен методический эксперимент по генерации терагерцового излучения в воздушной плазме с двухчастотным пучком накачки.

Вакуумная камера при этом не задействовалась, схема была размещена на открытой оптической скамье (рис. 5).

Генерация была успешно реализована, акустооптический детектор зарегистрировал появление ТГИ от плазмы.

Нами была измерена зависимость мощности низкочастотного излучения от энергии импульса основной частоты (рис. 6).

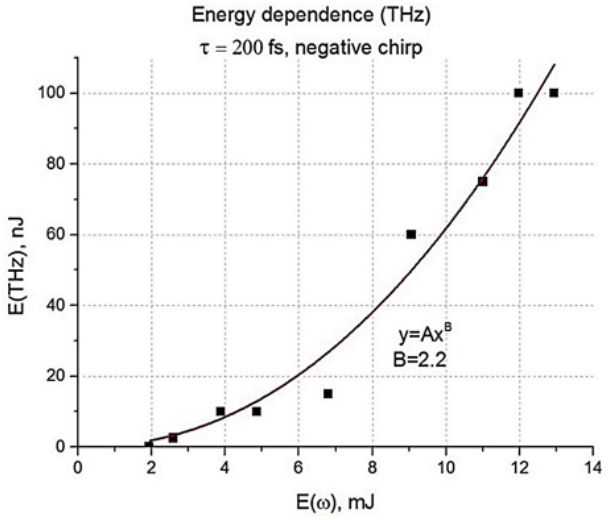


Рисунок 6.
Генерация ТГИ в воздушной плазме. Энергетическая зависимость

Параллельно с определением энергии ТГИ нами проводилось измерение мощности второй гармоники. Для этого излучение ВГ, отраженное кремниевым фильтром, отделялось от основного пучка зеркалом 2ω, затем пропускалось через светофильтр типа СС8, фокусировалось линзой L2 и направлялось на ИМО. Найденная зависимость приведена на графике (рис. 7):

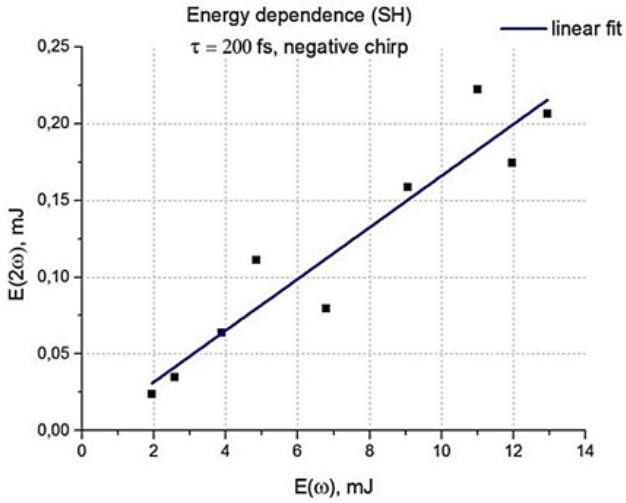


Рисунок 7.
Генерация второй гармоники в BBO.
Энергетическая зависимость

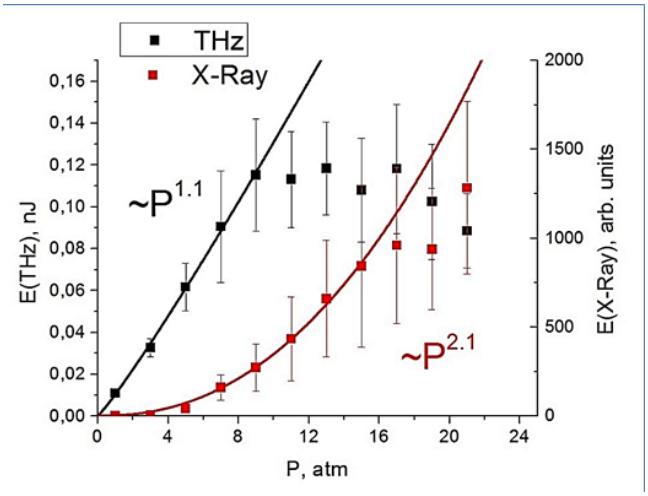


Рисунок 8.
Аргоновая струя.
Зависимость мощности терагерцового и рентгеновского излучения от давления

Линейный характер зависимости $E_{2\omega}(E_{\omega})$ может быть объяснен явлением самовоздействия в кристалле BBO.

ГЕНЕРАЦИЯ ТГИ В ГАЗОКЛАСТЕРНЫХ СТРУЯХ

Зависимость E_{THz} от избыточного давления.

После проверки работоспособности установки и генерации ТГИ в статическом аргоне была запущена система формирования кластерной струи. Сначала в качестве рабочего газа использовался чистый аргон. Была измерена зависимость E_{THz} от избыточного давления газа, создающего струю с параллельным контролем выхода характеристического рентгеновского излучения (рис. 8)

Зависимости аппроксимированы степенными функциями. Насыщение интенсивности ТГИ наблюдается при давлении около 8 атм, рентгеновского излучения – при $P \approx 17$ атм.

После эксперимента с аргоновой струей в качестве рабочего газа использовались смеси $(Ar + He)$ в соотношениях 1:3, 1:10, 1:38,. Гелий выбран в качестве буферного газа с целью уменьшения вклада некластеризованной среды в генерацию ТГИ.

Атом этого вещества имеет высокий потенциал ионизации, вследствие чего генерация терагерцового излучения по фототоковому механизму происходит с низкой эффективностью.

На рисунках 9-12 приведены результаты экспериментов.

Для зависимостей $E_{THz}(P)$ при использовании смесей характерен степенной рост мощности $E_{THz} \sim P^{a}$. При давлениях выше 8...10 атм наблюдается тенденция к насыщению. Генерация ТГИ происходит с наибольшей эффективностью при использовании смеси $(Ar + He)$ в соотношении 1:10 и составляет 1,4 нДж на импульс. В струе из чистого гелия кластеры не образуются.

Изменение времени задержки τ_{delay}.

Рабочий газ струи - аргон, избыточное давление было равным 9,6 атм. Зависимости интенсивности рентгеновского и терагерцового излучения от времени задержки между лазерным импульсом и сигналом открывания клапана приведены на рис. 13.

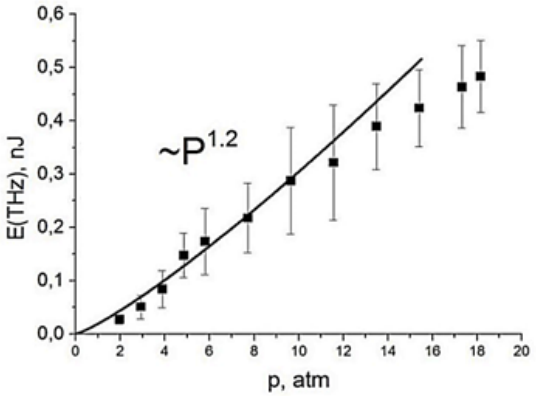


Рисунок 9.
Аргон+гелий, 1:38

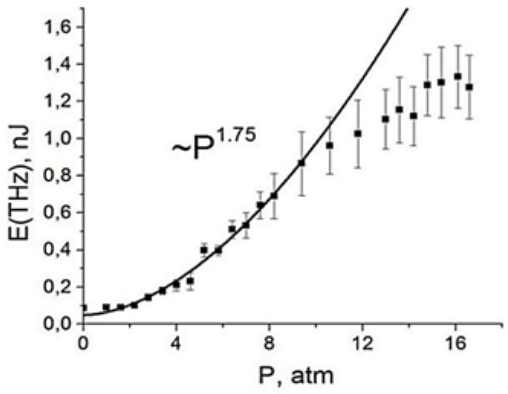


Рисунок 10.
Аргон+гелий, 1:10

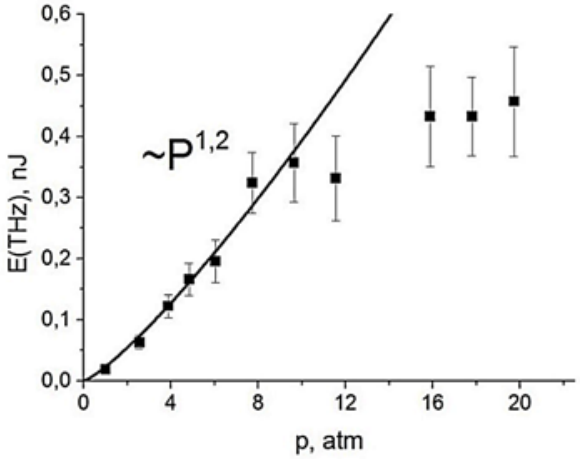


Рисунок 11.
Аргон+гелий 1:3

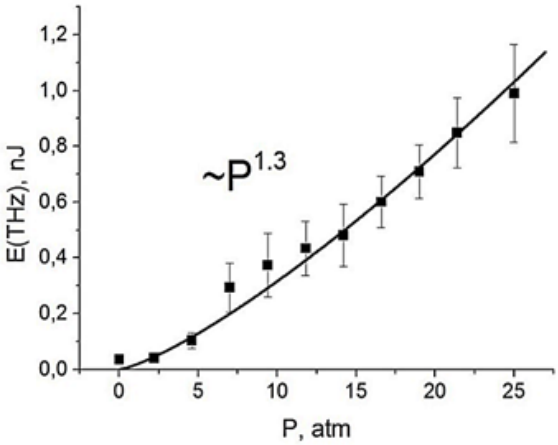


Рисунок 12.
Чистый гелий

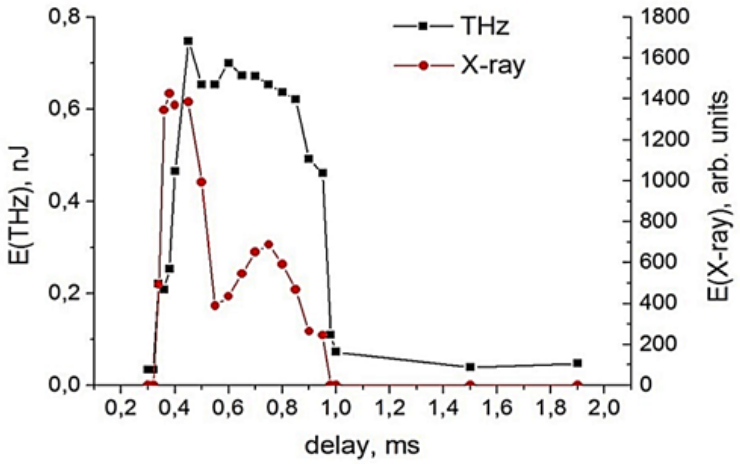


Рисунок 13.
Зависимость мощности терагерцового и рентгеновского излучения от времени задержки между лазерным импульсом и сигналом открытия клапана

Время задержки для обеспечения максимальной величины реттгеновского сигнала с ФЭУ составляет 0.38…0.45 мс. По амплитуде рентгеновского излучения можно судить о концентрации и размере кластеров в струе. Интенсивность ТГИ в диапазоне $\tau_{delay} = 0.43...0.85$ мс изменяется незначительно. При больших временах задержки падает средняя концентрация атомов, струя рассасывается системой откачки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана и создана экспериментальная установка для одновременной генерации рентгеновского и терагерцового излучения в газокластерной струе.

С помощью созданной экспериментальной установки зарегистрировано излучение в указанных диапазонах спектра.

Исследованы свойства терагерцового и рентгеновского излучения, генерируемого в атомных и молекулярных кластерных пучках:

Измерены зависимости величины терагерцового и рентгеновского сигналов от избыточного давления газа, создающего кластерную струю.

Установлено, что амплитуда терагерцового и рентгеновского сигналов по-разному зависит от вышеуказаных параметров. Тем самым показана возможность создания управляемого двухчастого источника в рентгеновском и терагерцовом спектральных диапазонах при возбуждении атомно-молекулярных кластеров мощными фемтосекундными импульсами.

Список литературы:

1. High-order harmonic heneration in atom clusters. *T. D. Donelly, T. Dimitre, K. Neuman, M. D. Perry, R. W. Falcone.* б.м. : Phys. Rev. Lett., 1996 г., Т. 76. №14, 2472-2475.

2. *H, Pauly.* Atom, Molecule and Cluster Beams. Vol. 2 Cluster Beams, Fast and Slow Beams, Accessory Equipment, and Applications. New York : Springer, 2000.

3. Interaction of intense laser pulses with atomic clusters. *T. Ditmire, T. Donnelly, A. M. Rubenchik, R. W. Falcone, M. D. Perry.* б.м. : Phys. Rev. A, 1996 г., Т. 53. № 5, p. 3379–3402.

4. Laser third-harmonic generation in clustered plasmas. *P. K. Tiwari, V. K. Tripathi.* б.м. : Phys. Scr., 2006 г., Т. 74. p. 682-685.

5. X-ray generation by laser-cluster interaction. *C. Deiss, N. Rohringer, J. Burgdörfer, E. Lamouz, C. Prigent, J.P. Rozet, D. Vernhet.* б.м. : J. Phys. IV France, 2005 г., Т. 138. 55-62.

6. О самофокусировке лазерного излучения в кластерной плазме. *Н.А. Жарова, А.Г. Литвак, В.А. Миронов.* б.м. : письма в ЖЭТФ, 2003 г., Т. 78, с. 1112-1117.

7. Stimulated Raman scattering of a laser in a plasma with clusters. *P. K. Tiwari, V. K. Tripathi*. 2004 г., Т. 11. p. 1674.

8. Cluster beams in the super-intense femtosecond laser pulse. *V.P. Krainov, M.B. Smirnov*. б.м. : Phys. Rep., 2002 г., Т. 370. p. 237-331.

9. Laser-driven acceleration in clustered plasmas. *X. Gao, X. Wang, B. Shim, M.C. Downer.* б.м. : AIP Proc. Conf, 2009 г., Т. 1086. 142-146.

10. Рентгеноспектральная диагностика ультракороткого лазерно-кластерного взаимодействия на этапе неадиабатического разлета кластеров. *А. Я. Фаенов, А. И. Магуновс, Т. А. Пикуз, И. Ю. Скобелев, Д. Джульети и др*. б.м.: письма в ЖЭТФ, 2007 г., Т. 86, p. 204-210.

11. X-ray production in short laser pulse interaction with rare gas clusters. *E. Lamour, C. Prigent, J.P. Rozet, D. Vernhet.* 2007 г., Т. 88, p. 012035.

УДК 621.311

РАЗВИТИЕ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

НИКОЛАЕВ Д.В.

3-я научная рота Космических войск Воздушно-космических сил РФ

ОАО «Корпорация Комета», г. Москва

E-mail: ramonv355@mail.ru

Аннотация: *Данная работа посвящена поиску путей к переходу на широкое использование альтернативных возобновляемых источников энергии: солнца, ветра, водоемов и т.д.*
В данной статье рассмотрены общие понятия альтернативных способов получения электрической энергии, разновидности их получения, приоритеты использования.

Ключевые слова: альтернативные источники энергии, возобновляемые, развитие солнечной энергетики.

THE DEVELOPMENT OF ALTERNATIVE ENERGY

NIKOLAEV D.V.

JSC Corporation «Kometa», Moscow

E-mail: ramonv355@mail.ru

Abstract: *This work is devoted to the search for ways to transition to the widespread use of alternative renewable energy sources: the sun, wind, soil, water, etc.*
This article describes the General concepts of alternative methods of obtaining electric energy, the types of their production, the priorities of use.

Keywords: defense-industrial complex, personnel training, development, production, education system.

ВВЕДЕНИЕ

На пути широкого внедрения альтернативных источников энергии стоят трудно разрешимые экономические и социальные проблемы. Прежде всего, это высокая капиталоемкость, вызванная необходимостью создания новой техники и технологии. Во-вторых, высокая материалоемкость: создание мощных ПЭС требует, к примеру, огромных количеств металла, бетона и т.д., В-третьих, под некоторые станции требуется значительное отчуждение земли или морской акватории. Кроме того, развитие использования альтернативных источников энергии сдерживается также нехваткой специалистов. Решение этих проблем требует комплексного подхода на национальном и международном уровне, что позволит ускорить их реализацию.

Рост цен на традиционные энергоносители (нефть и газ), несмотря на произошедшее в середине 1980-х годов резкое их понижение, возобновится и будет продолжаться по мере исчерпания ресурсов традиционных энергоносителей (относительно нефти последнее может случиться, по некоторым данным, уже через 50-70 лет, т.е. еще до истечения расчетного срока эксплуатации огромного числа уже существующих и строящихся капитальных зданий). Учитывая рост потребностей в нефти и газе многих производственных технологий (прежде всего, быстро развивающейся химической промышленности), использование нефти, нефтепродуктов, а в скором будущем и газа в качестве топлива следует признать бесперспективным. Развитие энергетики на базе угля сопряжено с неизбежным ухудшением экологической обстановки, т.к. безвредные технологии в данной области требуют чрезмерно больших капиталовложений. Развитие гидроэнергетики будет иметь крайне ограниченные масштабы в силу сложности экологических проблем, возникающих при устройстве ГЭС.

Необходим и неизбежен форсированный переход на широкое использование альтернативных возобновляемых источников энергии: солнца, ветра, грунта, водоемов, биомассы и др. Жизненно необходимы усиленные научные и инженерно-технические разработки в области альтернативной энергетики, наращивание масштабов их внедрения во все сферы жизнедеятельности, т.к. сегодня переориентация энергетики на преобладающее использование возобновляемых источников невозможна в силу низкой экономической эффективности имеющихся технологий: высокой стоимости при небольшом к.п.д.

ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ ОБ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Альтернативная энергетика — совокупность перспективных способов получения энергии, которые распространены не так широко, как традиционные, однако представляют интерес из-за выгодности их использования при низком риске причинения вреда экологии района.

Направления альтернативной энергетики:

– ветроэнергетика (автономные ветрогенераторы, ветрогенераторы работающие параллельно с сетью);

– альтернативная гидроэнергетика (приливные электростанции, волновые

– электростанции, мини и микро ГЭС (устанавливаются в основном на малых реках), водопадные электростанции);

– геотермальная энергетика (тепловые электростанции (принцип отбора высокотемпературных грунтовых вод и использования их в цикле), грунтовые

– теплообменники (принцип отбора тепла от грунта посредством теплообмена); биотопливо (получение биодизеля, получение метана и синтез-газа, получение биогаза).

Новая тенденция в энергетике, связанная с производством тепловой и электрической энергии.

Альтернативный источник энергии — способ, устройство или сооружение, позволяющее получать электрическую энергию (или другой требуемый вид энергии) и заменяющий собой традиционные источники энергии, функционирующие на нефти, добываемом природном газе и угле. Цель поиска альтернативных источников энергии — потребность получать её из энергии возобновляемых или практически неисчерпаемых природных ресурсов и явлений. Во внимание может браться также экологичность и экономичность. Классификация источников энергии по способу ее получения представлена в таблице 1.

Таблица 1.
Классификация источников альтернативной энергии

Тип источников	Преобразуют в энергию
Ветряные	Движение воздушных масс
Геотермальные	Тепло планеты
Солнечные	Электромагнитное излучение солнца
Гидроэнергетические	Движение воды в реках или морях

На возобновляемые (альтернативные) источники энергии приходится всего около 1 % мировой выработки электроэнергии. Речь идет, прежде всего, о геотермальных электростанциях (ГеоТЭС), которые вырабатывают немалую часть электроэнергии в странах Центральной Америки, на Филиппинах, в Исландии; Исландия также являет собой пример страны, где термальные воды широко используются для обогрева, отопления.

Приливные электростанции (ПЭС) пока имеются лишь в нескольких странах — Франции, Великобритании, Канаде, России, Индии, Китае. Солнечные электростанции (СЭС) работают более чем в 30 странах.

В последнее время многие страны расширяют использование ветроэнергетических установок (ВЭУ). Больше всего их в странах Западной Европы (Дания, ФРГ, Великобритания, Нидерланды), в США, в Индии, Китае. Дания получает 25% энергии из ветра. В качестве топлива в Бразилии и других странах все чаще используют этиловый спирт.

Перспективы использования возобновляемых источников энергии связаны с их экологической чистотой, низкой стоимостью эксплуатации и ожидаемым топливным дефицитом в традиционной энергетике. По оценкам Европейской комиссии к 2020 году в странах Евросоюза в индустрии возобновляемой энергетики будет создано 2,8 миллионов рабочих мест. Индустрия возобновляемой энергетики будет создавать 1,1 % ВВП. Россия может получать 10% энергии из ветра.

Основными **способами получения альтернативной энергии** в мире являются:

солнечные электростанции

ветряные электростанции

геотермальные электростанции

СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Существуют две основные разновидности солнечных электростанций. На станциях первого типа (гелиоконцентраторы) вода нагревается светом, который концентрируется с помощью системы управляемых зеркал. Эти станции достаточно сложны в конструкции.

Станции второго типа представляют батарею фотоэлементов. Стоимость фотоэлементов достаточно высока, а КПД не превышает 20 %.[1] Однако такая станция не только проста в конструкции, но в чистой атмосфере, например в горах, практически не требует обслуживания.

Сегодня стоимость энергии фотоэлектрических станций существенно ниже, чем гелиоконцентраторов, и продолжает снижаться. Поэтому фотоэлектрические станции занимают доминирующее положение по количеству произведённой энергии и на рынке. Они широко используются и для промышленного производства, и в домохозяйствах.

Недостатками солнечной энергетики по сравнению с ветроэнергетикой являются:

– жёсткая зависимость вырабатываемой мощности от времени суток;

– жесткая сезонность в не тропической зоне;

– нерентабельность в высоких широтах;

– значительная площадь электростанции;

– необходимость периодической очистки фотоэлементов.

В связи с этими недостатками, существенными для развития отрасли в отдельно взятой европейской стране, установленные мощности солнечной энергетики сегодня уступают установленным мощностям ветроэнергетики.

Стабильность выработки солнечной энергии в качестве основной во все сезоны теоретически могут обеспечить Саудовская Аравия или Египет, но не европейские страны. И даже африканским странам придётся решать проблему ночного энергоснабжения с помощью энергонакопителей.

Тем не менее, солнечная энергетика сегодня также развивается по экспоненте, а её потенциал глобально практически неисчерпаем уже на уровне современных технологий.

Рисунок 1.
Рост мощности солнечной энергетики в мире с солнечными энергоресурсами России

ГИПОТЕТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ

Теоретически покрытие относительно совсем небольшой площади пустынь северной и южной Африки, Америки, Австралии и Азии современными фотоэлементами и объединение этих электростанций в мировую сеть может в избытке обеспечить человечество чистой и, в силу глобальности, стабильной энергией. Для реализации проекта необходимо решение всего двух проблем, одной технической и одной политической. Во-первых, надо обеспечить доставку этой энергии ко всем местам её потребления. Во-вторых, необходимо одно мировое правительство для всего человечества.

ВЕТРЯНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Существуют ветрогенераторы с вертикальной и горизонтальной осью вращения ротора. Конструкция первых проще, но вторые имеют больший КПД, достигающий 30-40 %. Поэтому для промышленной ветроэнергетики используются генераторы с горизонтально осью ротора в основном с мощностями от 1 до 2.5 МВт и диаметром ротора от 50 до 80 м. Существуют и ветрогенераторы мощностью 8 МВт.

Затраты на ветроэнергетику сводятся почти исключительно к строительству, а стоимость энергии постепенно приближается к стоимости «традиционной» энергии. В силу шума и вибрации ветрогенераторы ставят на удалении от жилых домов 300 и более метров, но непосредственно под ветрогенераторами можно продолжать сельскохозяйственное производство. Пока существует множество перспективных площадок для размещения мощностей на берегу и в море. В 2014—2015 годах в Дании с помощью ветрогенераторов производилось 42 % всего электричества, в Португалии 27 %; в Никарагуа 21 %, в Испании 20 %, в Ирландии 19 %, в Германии 8 %, а в Европейском союзе 7,5 %[2]. К началу 2016 года общая установленная мощность всех ветрогенераторов составила 432 гигаватта[3] и превзошла суммарную установленную мощность атомной энергетики. Однако, существует так называемый capacity factor (Коэффициент использования установленной мощности - КИУМ), который определяет эффективность работы электрогенератора. По данным US Energy Information Administration (EIA), на 2015 год[4] этот коэффициент для атомных электростанций составлял 92.3% от установленной мощности, для ветрогенераторов - 32,2% от установленной мощности. Применять эти значения для генерирующих мощностей во всем мире не совсем правильно, но отношение вряд ли будет сильно отличаться.

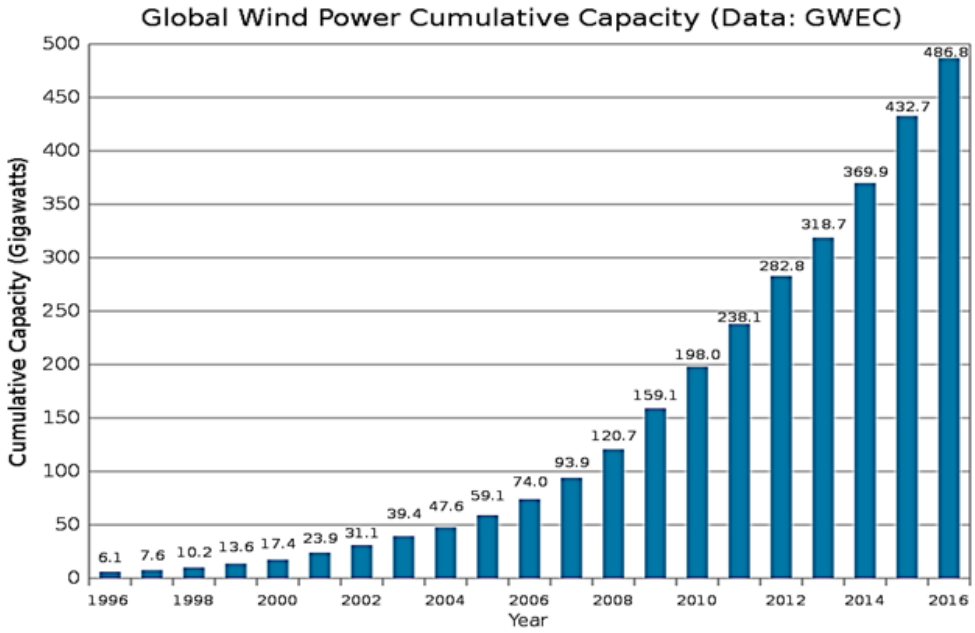


Рисунок 2.
Глобальный рост установленной мощности ветрогенераторов в мире

На сегодняшний день ветроэнергетика - это экономически наиболее перспективный вид ВИЭ и развивается по экспоненте. Её потенциал весьма велик. Ветреная береговая линия континентов протяжённа. Станции можно строить не только на берегу, но и в море. К тому же сегодня промышленная ветроэнергетика использует ветер только на высотах до 200 м от поверхности земли.

ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Электростанции такого типа преобразуют внутреннее тепло Земли (энергию горячих пароводяных источников) в электричество.

Существует несколько схем получения электроэнергии на геотермальной электростанции. Прямая схема: природный пар направляется по трубам в турбины, соединенные с электрогенераторами. Непрямая схема: пар предварительно (до того, как попадает в турбины геотермальной электростанции) очищают от газов, вызывающих разрушение труб.

Смешанная схема: неочищенный пар поступает в турбины, а затем из воды, образовавшийся в результате конденсации, удаляют не растворившиеся в ней газы. К недостаткам геотермальной электростанции относится возможность локального оседания грунтов и пробуждения сейсмической активности. А выходящие из-под земли газы создают в окрестностях немалый шум и могут, к тому же, содержать отравляющие вещества. Кроме того, геотермальную электростанцию построить можно не везде, потому что для ее постройки необходимы определенные геологические условия.

ПЕРЕХОД НА АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Переход на альтернативные источники энергии в настоящий момент имеет ряд серьезных недостатков:

– капитальные затраты на строительство солнечные электростанции (СЭС) без аккумуляторов составляют на настоящий момент не ниже $1’000/кВт установленной мощности;

– капитальные затраты на строительство СЭС с аккумуляторами составляют на настоящий момент не ниже $1’800/кВт со свинцово-кислотными аккумуляторами и не ниже $3’400/кВт – с литиевыми;

– проблема утилизации аккумуляторов в том масштабе, который потребуется, если они всё же найдут широкое применение в мощных СЭС, далека от решения;

– капитальные затраты на строительство ветроэлектростанций (ВЭС) на территории РФ составляют на настоящий момент не ниже $2’000/кВт;

– эксплуатационные затраты ветроэлектростанций сравнимы с такими же у ТЭС и значительно выше, чем у ГЭС и АЭС;

– проблема воздействия ветроэлектростанций на людей и животных, а также проблема утилизации отдельных частей ВЭС пока далеки от решения;

– оба типа станций требуют масштабного отчуждения земель;

– оба типа станций генерируют электроэнергию когда могут, а не когда нужно.

В связи с этим крайне необходимо:

1. Создание новых техники и технологий для развития наиболее перспективных способов добычи альтернативной энергии: ветроэнергетики и солнечной энергетики;

2. Усиленные научные и инженерно-технические разработки в области альтернативной энергетики, наращивание масштабов их внедрения во все сферы жизнедеятельности;

3. Подготовка квалифицированных специалистов;

4. Комплексного подхода на национальном и международном уровне, что позволит ускорить их реализацию;

5. Создание новых, гораздо более емких энергосберегающих устройств.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дальнейшее развитие энергетики в мире будет смещаться в сторону развития альтернативных источников энергии и так называемой малой энергетики. И вызвано это, в первую очередь, дефицитом энергии и ограниченностью топливных ресурсов. Альтернативные источники энергии экологичны, возобновляемы, к тому же они распределены относительно равномерно, поэтому лидерство в их использовании завоюют регионы с квалифицированной рабочей силой, восприимчивостью к нововведениям и стратегическим предвидением.

Список литературы:

1. *Киселева Я. В.* Энергоресурсы: альтернативные источники и энергосберегающие технологии. проблемы и решения

2. REN21: Renewables Global Status Report 2015

3. American Wind Energy Association. The Economics of Wind Energy

4. U.S. Energy Information Administration (EIA)

УДК 608.4

ВОЛНОВОДНЫЙ ПОЛЯРИЗАТОР, ОБЪЕДИНЕННЫЙ С ПОЛЯРИЗАЦИОННЫМ СЕЛЕКТОРОМ, РАБОТАЮЩИЙ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ

ПАШАЕВ С.Ю.

Публичное акционерное общество «Красногорский завод им. С.А. Зверева», г. Красногорск
3-я научная рота Космических войск Воздушно-космических сил РФ

E-mail: soltanbek.pashaev@mail.ru

Аннотация: *В работе представлена модель нового прибора на основе ранее разработанного зарубежными инженерами объединенного поляризатора и селектора поляризации. Устройство представляет собой Т-образное разветвление прямоугольных волноводов в плоскости Е или Н, к которому присоединен круглый волновод с пластиной-септумом. Новый прибор предназначен для использования в антеннах спутниковой связи в X-диапазоне частот 7,5–8,5 ГГц. Расчет устройства произведен с помощью пакета программ Ansys HFSS.*

Ключевые слова: поляризатор, поляризация волн, поляризационные селекторы (ПС), септум, коэффициент кросс-поляризации, коэффициент эллиптичности, паразитная волна, электромагнитные волны (ЭМВ).

WAVEGUIDE POLARIZER COMBINED WITH A POLARIZATION SELECTOR OPERATING IN A WIDE FREQUENCY RANGE

PASHAEV S.YU.

PJSC «Krasnogorsky plant him S.A. Zvereva», Krasnogorsk

E-mail: soltanbek.pashaev@mail.ru

Abstract: *The paper presents a model of a new device based on a combined polarizer and polarization selector previously developed by foreign engineers. The device is a rectangular waveguide with a septum plane. Satellite communications in the X-band frequency 7.5-8.5 GHz. Calculation of the device using the software package Ansys HFSS.*

Keywords: polarizer, wave polarization, polarization selectors (PS), septum, cross-polarization coefficient, ellipticity coefficient, parasitic wave, electromagnetic waves (EMW).

ВВЕДЕНИЕ

Цель работы – моделирование и тестирование волноводного устройства, являющегося объединением волноводного поляризатора и селектора поляризаций. Устройство должно преобразовывать электромагнитные сигналы круговой поляризации, поступающие в антенну и далее в круглый волновод, в сигналы линейной поляризации на выходах устройства, образованных двумя прямоугольными волноводами. При этом сигналы правой и левой круговых поляризаций должны приходить на разные выходы. Устройство представляет собой Т-образное разветвление прямоугольных волноводов в плоскости Е или Н, к которому присоединен круглый волновод с пластиной-септумом. Проектирование основано на результатах статьи [1].

Планируется максимизировать рабочую полосу частот устройства, в которой уровни кросс-поляризации и возбуждения паразитной волны меньше заданного уровня. В качестве заданных уровней используются значения –20 дБ (в широкой полосе) и –30 дБ (в узкой полосе).

Электродинамическое (ЭД) моделирование и оптимизация волноводного устройства выполняются посредством пакета программы HFSS. ЭД-моделирование в HFSS использует метод моментов.

В работе применяется программа HFSS версии 13, разработанная американской фирмой Ansoft [2]. В научно-исследовательских учреждениях и учебных заведениях России для аналогичных целей используются и другие подобные HFSS программы.

Следовательно, задачи, рассмотренные в рамках настоящего доклада, можно решать и посредством других комплексов программ.

Поляризационные селекторы – пассивные микроволновые устройства волноводных трактов антенных систем, имеющие три порта: входной, соединенный с антенной, и два одномодовых выходных. Основная функция позволяет считать указанные устройства поляризационными дискриминаторами. В составе приемников ПС служат для разделения сигналов с различной поляризацией; в передатчиках с помощью поляризационных селекторов производится сложение одномодовых сигналов для дальнейшей одновременной передачи сигналов с различной поляризацией. Таким образом, сигналы с различной поляризацией независимы друг от друга, поэтому и информация, заключенная в каждом из них, различна.

Поляризация волн – характеристика поперечных волн, описывающая поведение вектора колеблющейся величины в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны.

Поляризатор – элемент, устанавливаемый между облучателем и конвертором, предназначенный для выбора вида поляризации принимаемой радиоволны (рис. 1).

Для расчета поляризационных характеристик обычно используют матричный метод, основанный на разложении вектора Е электрического поля плоской ЭМВ на две ортогональные компоненты:

$$E^x \text{ и } E^y\text{: } E_x = E_{0x}e^{i(\varphi_{\text{x}}-\omega t)},$$

$$E_{\text{y}} = E_{0\text{y}}e^{i(\varphi_{\text{y}}-\omega t)},$$

где E_{0x} и E_{0y} – амплитуды двух ортогональных компонент, φ_x и φ_y – их фазы, ω – частота ЭМВ.

Множитель $e^{-i\omega t}$ несет информацию об абсолютной фазе колебания. В контексте рассматриваемой темы интерес представляет изменение фазовых соотношений при прохождении анизотропных элементов между компонентами E^x и E^y, поэтому $e^{-i\omega t}$ в дальнейшем опускается. Данного представления достаточно, чтобы описать любую по-

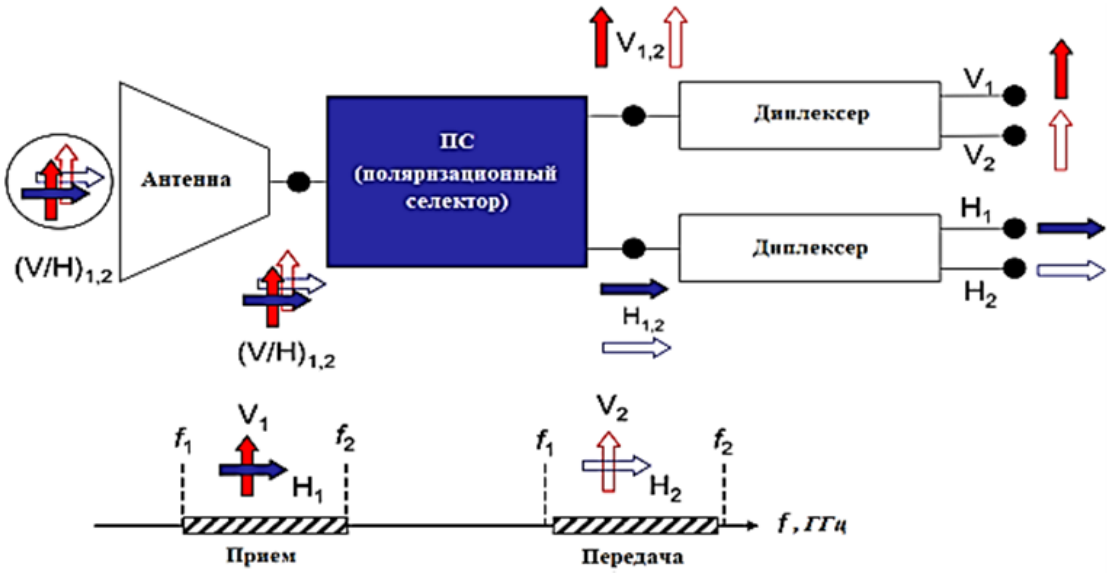


Рисунок 1.
Расположение поляризатора и поляризационного селектора в антенне

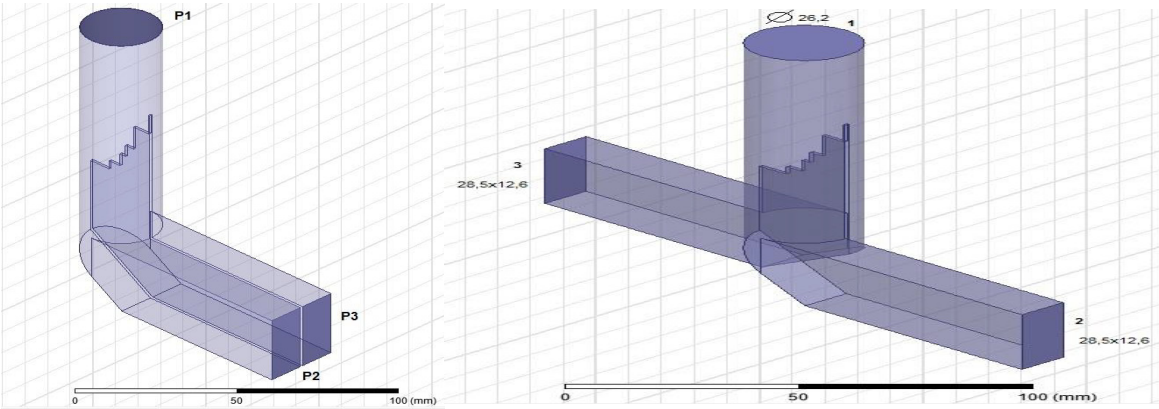


Рисунок 2.
Модели волноводного поляризатора с разветвлением в плоскости H

ляризацию, в частности круговую. Комплексные амплитуды векторов поляризации получаются из векторов линейной поляризации по формулам

$$\begin{cases} \acute{E}_{\text{пр}} = \acute{E}_x + i\acute{E}_y \\ \acute{E}_{\text{пр}} = \acute{E}_x - i\acute{E}_y \end{cases} \quad (1)$$

Коэффициент эллиптичности – отношение малой полуоси к большой. Данный коэффициент рассчитывается следующим образом:

$$K_{el} = \frac{|E_{\text{пр}}| - |E_{\text{л}}|}{|E_{\text{пр}}| + |E_{\text{л}}|} \quad (2)$$

На рис. 3 графически представлена модель волноводного поляризатора с разветвлением в плоскости E.

В ходе работы спроектировано устройство, объединяющее свойства поляризатора и селектора поляризации в X-диапазоне. Устройство с одной стороны соединяется с круглым рупором, с другой стороны – с двумя прямоугольными волноводами. Спроектированы два варианта устройства, предназначенные для работы в различных полосах частот, – широкой (28 %) и узкой (13,8 %). Разработаны три типа конструкции выходов на прямоугольные волноводы.

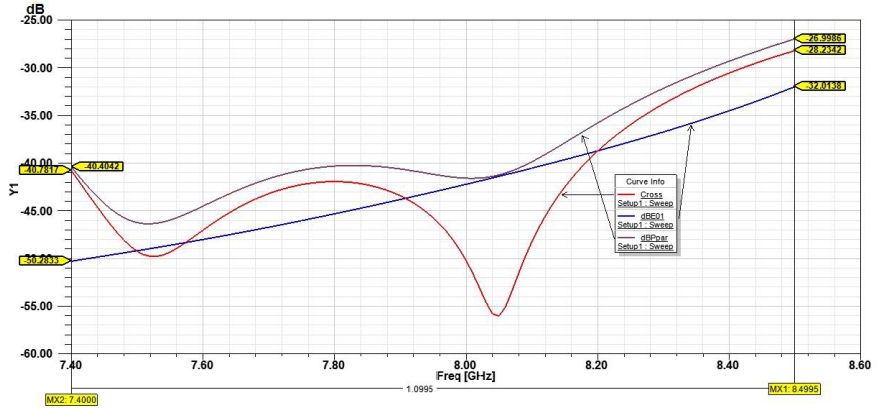


Рисунок 2.1.
Частотная характеристика уровня паразитных волн

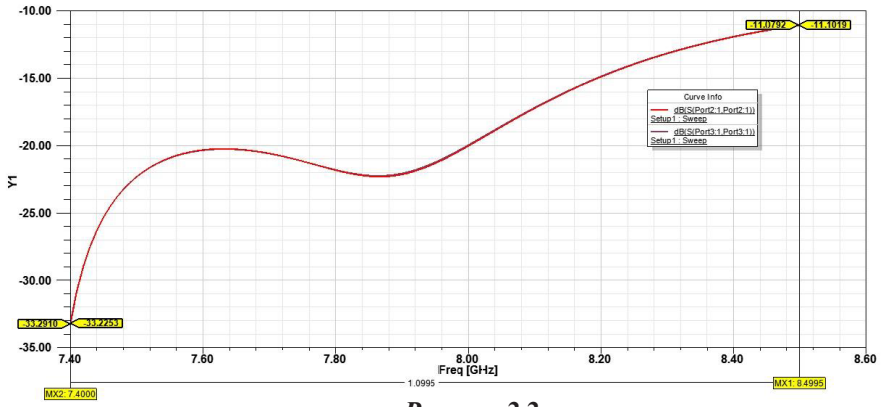


Рисунок 2.2.
Уровень отраженного сигнала со входов 2 и 3

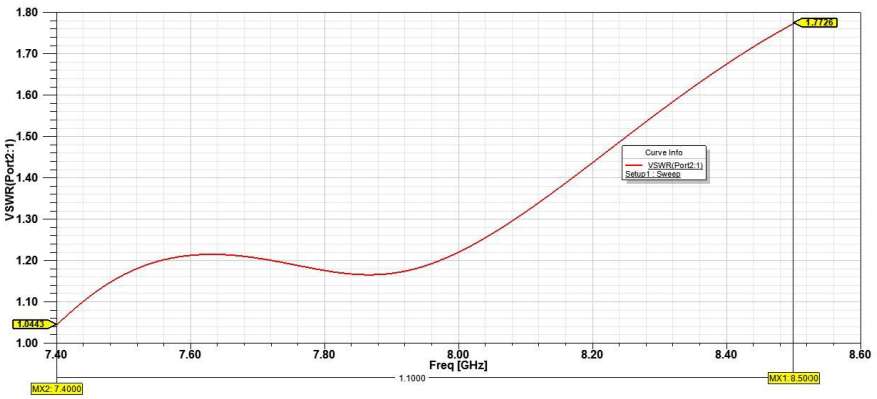


Рисунок 2.3.
Уровень КСВ

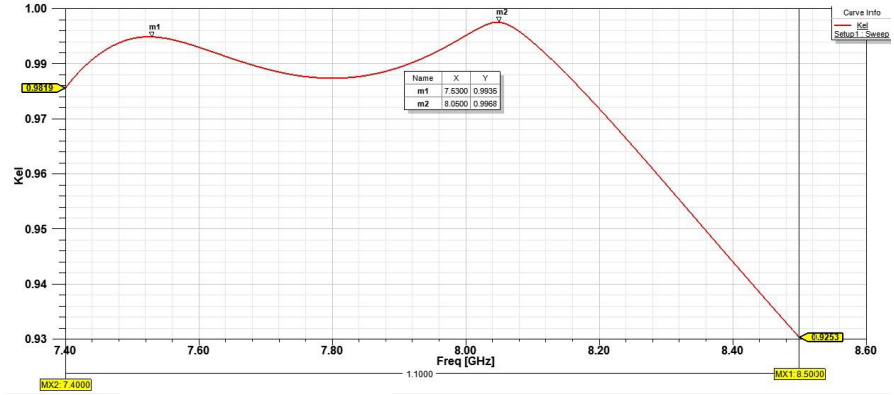


Рисунок 2.4.
Уровень коэффициента эллиптичности

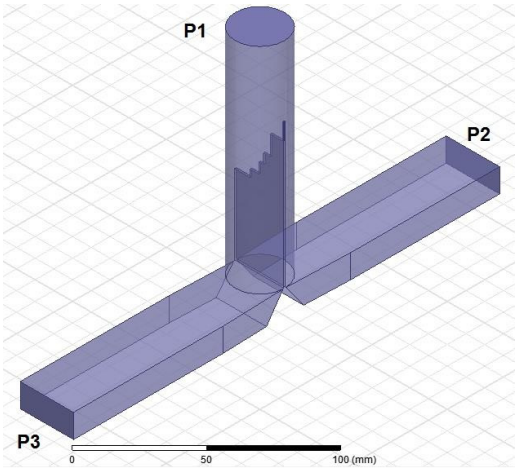


Рисунок 3.
Модель волноводного поляризатора с разветвлением в плоскости E

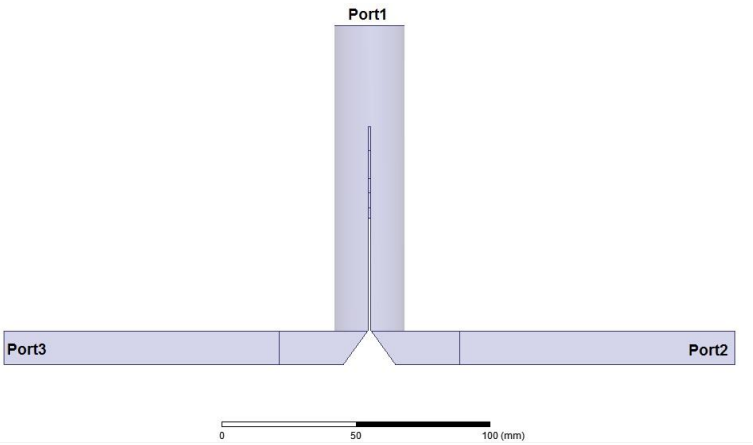


Рисунок 3.1.
Модель волноводного поляризатора с разветвлением в плоскости E (фронтальный вид)

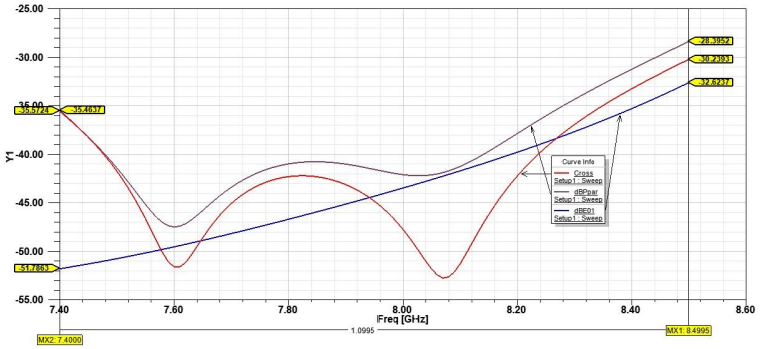


Рисунок 3.2.
Частотная характеристика уровня паразитных волн в полосе частот 7,4–8,5 ГГц

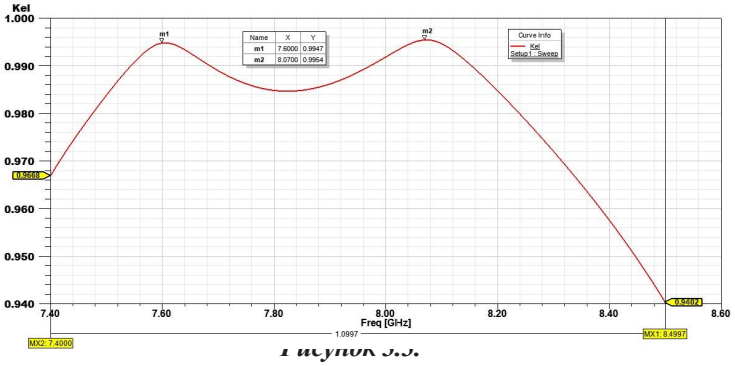


Рисунок 3.3.
Уровень коэффициента эллиптичности

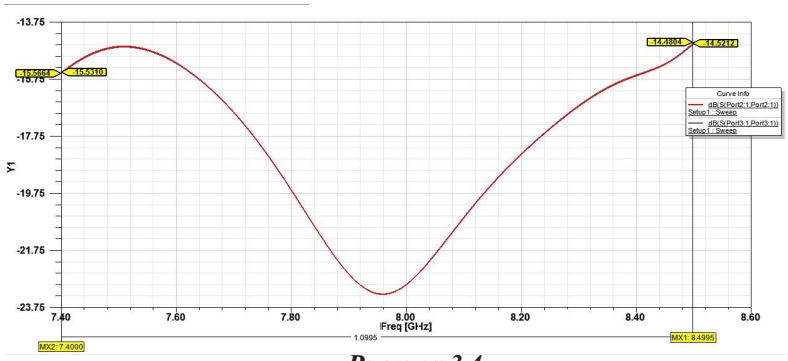


Рисунок 3.4.
Уровень отраженной волны со входа 2

Список литературы:

1. *Kim I., Kovitz J.M., Rahmat-Samii Y*. Enhancing the Power Capabilities softhe Stepped Septum Using An Optimized Smooth Sigmoid Profile // IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 56, № 5, October 2014.

2. *Курушин А.А., Банков С.Е.* Расчет антенн и СВЧ структур с помощью HFSS Ansoft. – М.: ЗАО «НПП «РОДНИК», 2009. – 256 с.

3. Устройство СВЧ: учебное пособие / под ред. Д.М. Сазонова. – М.: Высшая школа, 1981.

4. *Фельдштейн А.Л., Явич Л.Р., Смирнов В.П.* Справочник по элементам волноводной техники. – М.: Советское радио, 1966.

5. *Курушин А.А.* Проектирование СВЧ устройств с использованием электронной диаграммы Смита / под ред. д. т. н., проф. Б.Л. Когана. – М.: МЭИ, 2008. – 120 с.

6. . HFSS – High Frequency Structure Simulation. Manuals, Agilent, 2000.

7. *Фуско В*. СВЧ цепи (анализ и автоматизированное проектирование) / под редакцией Вольмана В.И. – М.: Радио и связь, 1990.

8. *Коган Б.Л*. Курс лекций «Техника зеркальных антенн» кафедра АУиРРВ «МЭИ». – М.: МЭИ.

УДК 681.78.01 (075)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОИСКА И ОБНАРУЖЕНИЯ ПЕРЕМЕЩАЮЩЕГОСЯ ОБЪЕКТА ОПТИЧЕСКИМ ПЕЛЕНГАТОРОМ

ИЛЮХИН И.М., БЕЛОКУРОВ Е.А., ЧАПУРИН И.Н.*

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва,

ПАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева», г. Красногорск

E-mail: evgen65200@yandex.ru

Аннотация: *Предложены алгоритм и программа, которые позволяют выполнить исследования эффективности системы поиска и обнаружения перемещающегося объекта оптическим пеленгатором поисково-следящего типа на основе статистического определения вероятности и времени её надёжного захвата для шести наиболее распространённых законов развёртки поля обзора прибора. Программа может быть полезна специалистам систем автоматического управления и студентам приборостроительных вузов как инструмент для проведения виртуальных исследований.*

Ключевые слова: система поиска и обнаружения, вероятность и время надёжного обнаружения объекта пеленгации, показатель эффективности системы обнаружения, закон развёртки поля обзора, модель эталонной трассы перемещения объекта.

EFFICIENCY OF TARGET SEARCH AND DETECTION WITH AN OPTICAL DIRECTION FINDER

ILYUKHIN I.M., BELOKUROV E.A., CHAPURIN I.N.*

Moscow State Technical University named after N.E. Bauman, Moscow,

PJSC «Krasnogorsk Plant named after S.A. Zverev», Krasnogorsk

E-mail: evgen65200@yandex.ru

Abstract: *An algorithm and a program are proposed that make it possible to investigate the effectiveness of a search and detecting target for a search-and-tracking optical direction finder based on a statistical determination of the probability and time of its reliable capture for the five most common laws of scanning the instrument field of view. The program may be useful to specialists of automatic control systems and students of instrument-making universities as a tool for conducting virtual research.*

Keywords: search and detection system, probability and time of reliable target detection, detection system performance indicator, law of unfolding of the field of view, model of the reference path of moving the target.

Наиболее совершенными оптико-электронными приборами пеленгационного класса являются устройства, которые сочетают в себе возможности автоматического поиска перемещающихся объектов, а после их обнаружения и захвата последующее слежение за ними. В режиме поиска объекта такие приборы обеспечивают сначала регулярный просмотр заданного поля обзора - $2\omega_{ОБЗ}$ угловым полем - $2\omega_{ОК}$ оптического координатора с периодом - T_O повторения процесса поиска. Затем при попадании объекта в пределы поля - $2\omega_{ОК}$ система обнаружения прибора принимает решение о наличии или отсутствии в сформированном им сигнале необходимой информации. Эффективность работы такого прибора в первую очередь определяется вероятностью надёжного захвата объекта-цели - p_Z и временем - t_Z, затрачиваемым на его обнаружение [1,2,3]. Так как желательно, чтобы $p_Z \to 1$, а $t_Z < T_O$, то в качестве интегрального показателя эффективности системы поиска и обнаружения прибора можно принять численное значение отношения

$m_S = p_Z / (t_Z / T_O)$ - чем оно больше, тем эффективнее система.

Условие $p_Z \to 1$ обеспечивается в приборе выбором соответствующих значений порога срабатывания устройства принятия решения и отношения сигнал-помеха на его входе. Значение же отношения $(t_Z / T_O) < 1$ при произвольном положении объекта-цели в пределах поля обзора определяется законом его развёртки полем - $2\omega_{ОК}$ в течение периода - T_O, а также вектором скорости перемещения объекта из своего начального положения.

Для проведения исследований с оценкой эффективности системы поиска и обнаружения объекта-цели оптическим пеленгатором поисково-следящего типа была разработана программа «POISK-BI». Она позволяет продемонстрировать процесс поиска объекта и численно определить статистически усреднённые значения p_Z, t_Z, m_S для шести наиболее распространённых законов развёртки поля обзора. При необходимости программа может быть дополнена и другими законами развёртки. Объективность оценки эффективности системы поиска и обнаружения программа обеспечивает едиными для всех законов развёртки условиями испытаний:

1) едиными параметрами электронной системы поиска, обеспечивающей в масштабе ЭВМ поле обзора - $2\omega_{ОБЗ} = (550 \times 550)$ пикселей, угловое поле - $2\omega_{ОК} = (50 \times 50)$ пикселей и период обзора $T_O = 1$ секунды;

2) единым набором скоростей перемещения цели в пределах поля обзора в диапазоне 0-8 пикселей за время одного шага развёртки, равного 50 пикселей;

3) перемещением объекта-цели в пределах поля обзора по единой эталонной трассе в виде серии из n последовательных циклов его просмотра.

В программу заложена эталонная модель перемещения объекта-цели, в которой он последовательно перемещается с заданной скоростью по трассе виде n лучей, исходящих из одной точки поля обзора, координаты которой предварительно задаются.

В качестве анализируемых законов развёртки были выбраны:

1) **строчный** с быстрым возвращением в исходную точку поля обзора (вариант - 1а) и попеременной сменой точек начала и конца обзора (вариант - 1б),

2) **спирально-прямоугольный** с быстрым возвращением в исходную точку поля обзора (вариат - 2а) и попеременной сменой точек начала и конца обзора (вариант - 3),

3) **центрально-секущий** с быстрым возвращением в исходную точку поля обзора (вариант 3) и попеременной сменой точек начала и конца развёртки (вариант 3, 4).

Вид траектории развёртки анализируемых законов и эталонной трассы перемещения объекта пеленгации в пределах поля обзора представлены на рис. 1. Программа составлена на алгоритмическом языке **PascalABC.NET** и требует **74 кБ** оперативной памяти.

Работа программы начинается с представления на экране ЭВМ функциональной схемы оптического пеленгатора поисково-следящего типа. Далее демонстрируется процесс просмотра поля обзора последовательно всеми анализируемыми законами развёртки.

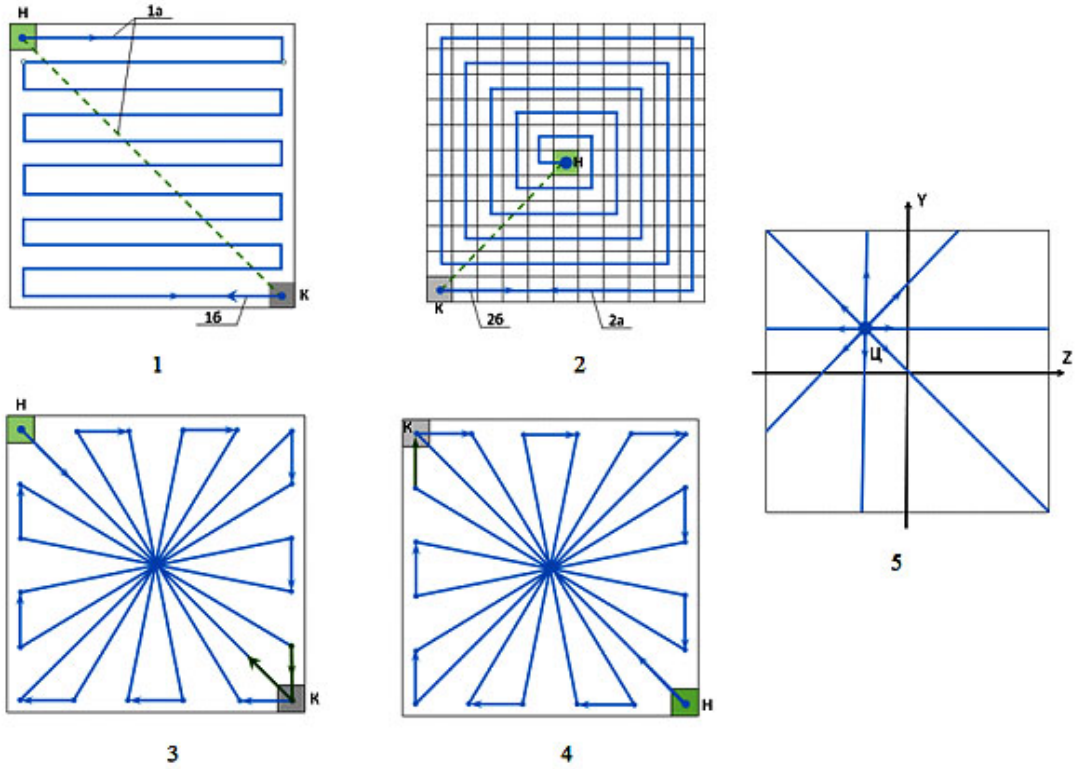


Рисунок 1.

Вид строчной - 1 (1а, 1б), спиральной - 2 (2а, 2б), секущей - 3, 4 развёртки и эталонной трассы - 5 перемещения объекта в пределах поля обзора

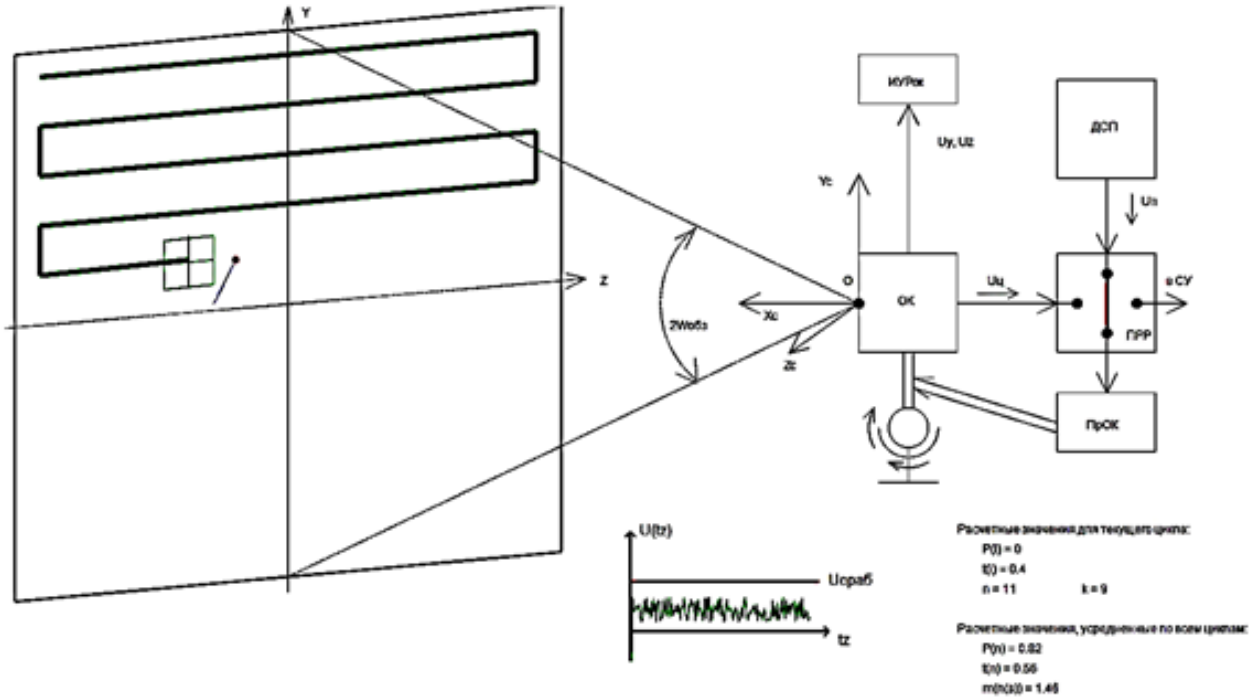


Рисунок 2.

Вариант картины на экране ЭВМ в момент поиска объекта пеленгации

Таблица 1.

Статистически усреднённые результаты исследований эффективности системы поиска и обнаружения при перемещении объекта по n - лучевой эталонной трассе из начальной точки, расположенной в центральной зоне поля обзора

Закон развёртки поля обзора	Скорость объекта относительно скорости развёртки											
	0.02			0.04			0.08			0.16		
	Показатели эффективности закона развёртки											
	P_n	t_n	ms_n	P_n	t_n	ms_n	P_n	t_n	ms_n	P_n	t_n	ms_n
Строчный с возвращением в начальную точку поля обзора	1	0.59	1.69	1	0.63	1.59	0.5	0.7	0.71	0.33	0.74	0.45
Строчный с последовательной сменой точек начала и конца обзора	1	0.51	1.96	1	0.55	1.82	0.51	0.67	0.75	0.33	073	0.46
Спиральный с возвращением в начальную точку поля обзора	1	0.07	14.3	1	0.07	14.3	0.75	0.46	1.63	0.5	0.55	0.91
Спиральный с последовательной сменой точек начала и конца обзора	1	0.45	2.22	0.92	0.42	2.31	0.83	0.38	2.19	0.5	0.59	0.85
Центрально-секущий с возвращением в начальную точку поля обзора	1	0.22	4.55	0.92	0.33	275	0.58	0.49	1.19	0.58	0.45	1.3
Центрально-секущий с последовательной сменой точек начала и конца обзора	1	0.25	4	1	0.3	3.33	0.58	0.52	1.12	0.58	0.45	1.3

Таблица 2.

Статистически усреднённые результаты исследований эффективности системы поиска и обнаружения при перемещении объекта по n - лучевой эталонной трассе из начальной точки, расположенной в периферийной зоне поля обзора

Закон развёртки поля обзора	Скорость объекта относительно скорости развёртки											
	0.02			0.04			0.08			0.16		
	Показатели эффективности закона развёртки											
	P_n	t_n	ms_n	P_n	t_n	ms_n	P_n	t_n	ms_n	P_n	t_n	ms_n
Строчный с возвращением в начальную точку поля обзора	0.67	0.89	0.75	0.67	0.85	0.78	0.33	0.83	0.41	0	1	0
Строчный с последовательной сменой точек начала и конца обзора	0.83	0.47	1.77	0.83	0.46	1.81	0.67	0.47	1.42	0.33	0.68	0.49
Спиральный с возвращением в начальную точку поля обзора	0.5	0.87	0.58	0.5	0.79	0.63	0.17	0.89	0.19	0	1	0
Спиральный с последовательной сменой точек начала и конца обзора	0.67	0.52	1.28	0.67	0.46	1.45	0.33	069	0.48	0.17	0.91	0.18
Центрально-секущий с возвращением в начальную точку поля обзора	0.67	0.64	1.05	0.67	0.58	1.15	0.67	0.66	1.01	0	1	0
Центрально-секущий с последовательной сменой точек начала и конца обзора	0.67	0.5	1.3	0.67	0.46	1.45	0.67	0.49	1.36	0	1	0

Затем после ввода параметров перемещения объекта в пределах поля обзора - его начальных координат и скорости воспроизводится процесс поиска объекта и его захвата в серии из n заданных циклов просмотра.

В ходе каждого цикла просмотра на экране ЭВМ формируются текущие значения p_i, t_i и $m_{s,i} = p_i / t_i$. При этом, если захват объекта состоялся, то $p_i = 1$, а $t_i / T_o < 1$, иначе - $p_i = 0$, а $t_i = 1$. После выполнения всей серии просмотров на экране отображаются среднестатистические значения

$$p_n = \frac{1}{n}\sum_1^n p_i, \quad t_n = \frac{1}{n}\sum_1^n t_i \text{ и } \quad m_s = p_n / t_n.$$

Согласно распределению Стьюдента для получения достоверности результатов исследований порядка 95% достаточно серии из $n \geq 12$ циклов просмотра поля обзора.

Вариант картины, демонстрирующий конечный этап поиска объекта пеленгации, представлен на рис. 2.

Статистически усреднённые результаты исследований эффективности системы поиска и обнаружения при перемещении объекта по n - лучевой эталонной трассе из начальной точки, расположенной в центральной зоне поля обзора (в масштабе проводимых исследований это примерно 275×325 пикселей), для $n = 12$ приведены в таблице 1, а при начальном положения объекта в периферийной зоне поля обзора (это 350×500 пикселей) в таблице 2.

Анализ представленных в таблицах результатов, а также серии других исследований позволяет сделать следующие основные выводы:

1) с увеличением скорости перемещения объекта пеленгации вероятность его надёжного захвата - p_n и эффективность системы поиска - ms_n существенно снижаются для всех анализируемых законов развертки поля обзора;

2) так как эффективно работающая система поиска должна иметь показатель $ms > 1$, то скорость развёртки поля обзора должна не менее чем в 30 раз превышать возможную скорость перемещения объекта пеленгации;

3) заметный разброс значений показателей эффективности p_n, t_n, m_s, реализуемых анализируемыми законами развёртки, в первую очередь определяется начальным положением объекта в пределах поля обзора; при этом несколько лучшие показатели обеспечивает спиральный и секущий, а худший – строчный закон развёртки;

4) так как при использовании в пеленгаторе современной электронной системы поиска технические возможности всех анализируемых законов развёртки достаточно близки (только для 8-ми лучевого центрально-секущего закона реальная скорость развёртки примерно на 6% меньше, а 100% «накрытие» краевой зоны поля обзора обеспечивается лишь в ходе 2-х последовательных циклов его просмотра), то выбор оптимального закона в конечном счёте определяется статистическими особенностями просматриваемого поля сигналов - распределением яркости излучения фона в пределах поля обзора и ожидаемым положением в нём объекта пеленгации. Поэтому при наличии априорной информации о положении объекта в центральной зоне поля обзора лучше выбрать спиральный или центрально-секущий законы развёртки. Если же такая информация отсутствует (нет предварительного указания о наиболее вероятном положении объекта), то лучше использовать строчный и спиральный законы с попеременной сменой точек начала и конца развёртки, так как они обеспечивают равномерный по времени и 100% просмотр всего поля обзора.

Список литературы:

1. *Якушенков Ю.Г.* Теория и расчёт оптико-электронных приборов. – М.: Машиностроение, 1989. 360 с.

2. *Катыс Г.П.* Восприятие и анализ оптической информации автоматической системой. – М.: Машиностроение, 1986. 416 с.

3. *Мирошников М.М.* Теоретические основы оптико-электронных приборов. – Л.: Машиностроение, 1983. 696 с.

УДК 622.232:8.621.

БИНОКУЛЯРНЫЕ ПРИБОРЫ НОЧНОГО ВИДЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОДНОГО ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

ВОЛКОВ В.Г., ГИНДИН П.Д., КАРПОВ В.В., МИТРОФАНОВА Ю.С.*, СЕНИК Б.Н.*

Акционерное общество «Московский завод «Сапфир», г. Москва

Публичное акционерное общество «Красногорский завод им. С.А. Зверева», г. Красногорск

E-mail: volkvik2009@yandex.ru, bogdan_senik@mail.ru

Аннотация: *Рассматриваются различные схемы построения новых бинокулярных приборов ночного видения с использованием одного электронно-оптического преобразователя с диаметром фотокатода 40 мм: очков ночного видения, бинокля ночного видения, дневно-ночного бинокля, дневно-ночного бинокля с лазерно-дальномерным каналом.*

Ключевые слова: прибор ночного видения, объектив, телескопическая система Галилея, электронно-оптический преобразователь, окулярная ветвь, окуляр, дневной канал, лазерно-дальномерный канал, угол поля зрения, дальность распознавания, масса.

BINOCULAR NIGHT VISION DEVICES ON THE BASIS OF ONE ELECTRO-OPTICAL CONVERTER

VOLKOV V.G., GINDIN P.D., KARPOV V.V, MITROFANOVA J.S.*, SENIK B.N.*

Joint Stock Company "Moskovskij Zavod "Sapphir"

Public Joint Stock Company "Krasnogorskij Zavod named S.A. Zverev"

E-mail: volkvik2009@yandex.ru, bogdan_senik@mail.ru

Abstract: *Various schemes of construction of new binocular night vision devices using a single electron-optical Converter with a photocathode diameter of 40 mm are considered: night vision glasses, night vision binoculars, day-night binoculars, day-night binoculars with laser-rangefinder channel.*

Keywords: night vision device, lens, Galileo telescopic system, image intensifier, ocular branch, eyepiece, day channel, laser-rangefinder channel, angle of view, recognition range.

В настоящее время приборы ночного видения (ПНВ) получили широкое распространение в современной технике для наблюдения в условиях пониженной естественной освещенности (сумерки, ночь) [1]. В ПНВ традиционно использовались электронно-оптические преобразователи (ЭОП) с рабочим диаметром фотокатода 17,5 мм [1]. На основе таких ЭОП были разработаны и серийно освоены бинокулярные ПНВ, состоящие из 2-х идентичных каналов, каждый из которых содержит объектив, ЭОП и окуляр [1, 2]. Появление ЭОП с фотокатодом диаметром 40 мм позволило подойти по-новому к созданию бинокулярных ПНВ. Примером таких ЭОП может служить модель V5180U-4 фирмы Hamamatsu (Япония) [3].

На рис. 1 представлена схема бинокулярных очков ночного видения (ОНВ) на основе таких ЭОП. ОНВ содержат два ночных канала. Правый канал содержит последовательно установленные на оптической оси объектив 1, ЭОП 2 и правую окулярную ветвь, состоящую из последовательно установленных на оптической оси 1-го линзового компонента оптики переноса 3, 1-го плоского зеркала 4. 2-го линзового компонента оптики переноса 5, 2-го плоского зеркала 6 и окуляра 7, через который оператор наблюдает изображение с экрана ЭОП 2 правым глазом. При этом объектив 1 обслуживает правую периферическую область фотокатода ЭОП 2. Объектив 1 имеет фокусное расстояние f’ = 20 мм, относительное отверстие 1:1,2, линейное поле зрение 17,5 мм, соответствующее углу поля зрения 2ω = 50º. Правая окулярная ветвь (компоненты 3 – 7) имеет увеличение Г = 12,5х, f’ = 20 мм, линейное поле зрения 17,5 мм, диаметр выходного зрачка 10 мм при его удалении 25 мм. Аналогично левый канал ОНВ содержит объектив 8. ЭОП 2, левую окулярную ветвь (компоненты 9 – 13) и имеет параметры такие же, как и у правой окулярной ветви. Оператор наблюдает изображение в окуляр 13 левым глазом. У ОНВ Г = 1х, 2ω = 50º. Дальность распознавания ростовой фигуры человека (РФЧ) в нормированных условиях (при нормальной

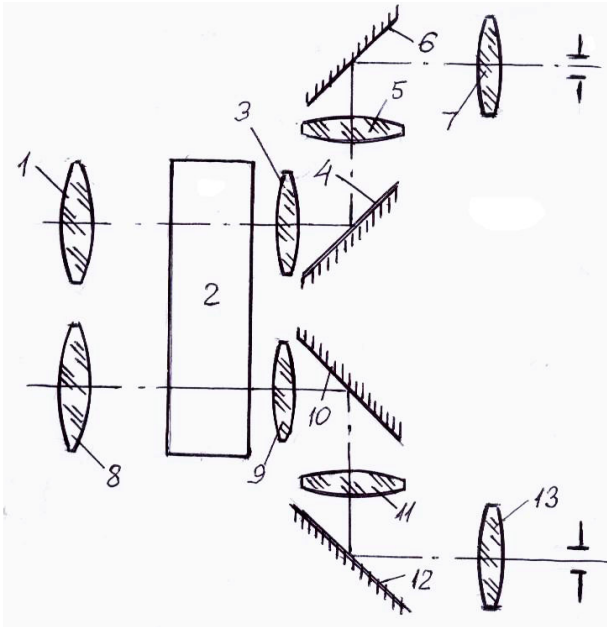


Рисунок 1.
Схема бинокулярных очков ночного видения

прозрачности атмосферы ≥ 0,8 и уровне естественной ночной освещенности ≥ 3х10-3 лк) составляет 200 м.

Однако для достижения более высоких дальностей необходимо повышение увеличения ОНВ. Не нарушая герметичности прибора, это может быть достигнуто за счет установки на каждый объектив идентичной телескопической системы (ТС) Галилея. При этом ТС насадка выполнена из последовательно установленных на оптической оси защитного стекла 14, 3-го плоского зеркала 15, объектива ТС системы 16, 4-го плоского зеркала 17 и окуляра 18 ТС системы. Окуляр 18 оптически сопряженного с объективом 1 (рис. 2). Аналогично для левого канала используется такая же ТС насадка (компоненты 19 – 23). ТС система имеет Г = 5х, 2ω = 10º. Эти же параметры приобретают и ОНВ с такими насадками. Тем самым ОНВ преобразуются в удерживаемый в руках ночной бинокль. Дальность распознавания ростовой фигуры человека (РФЧ) в нормированных условиях составляет 500 м.

Для обеспечения круглосуточного наблюдения ночной бинокль может быть преобразован в дневно-ночной бинокль, дополнительно содержащий дневные каналы на основе ТС си-

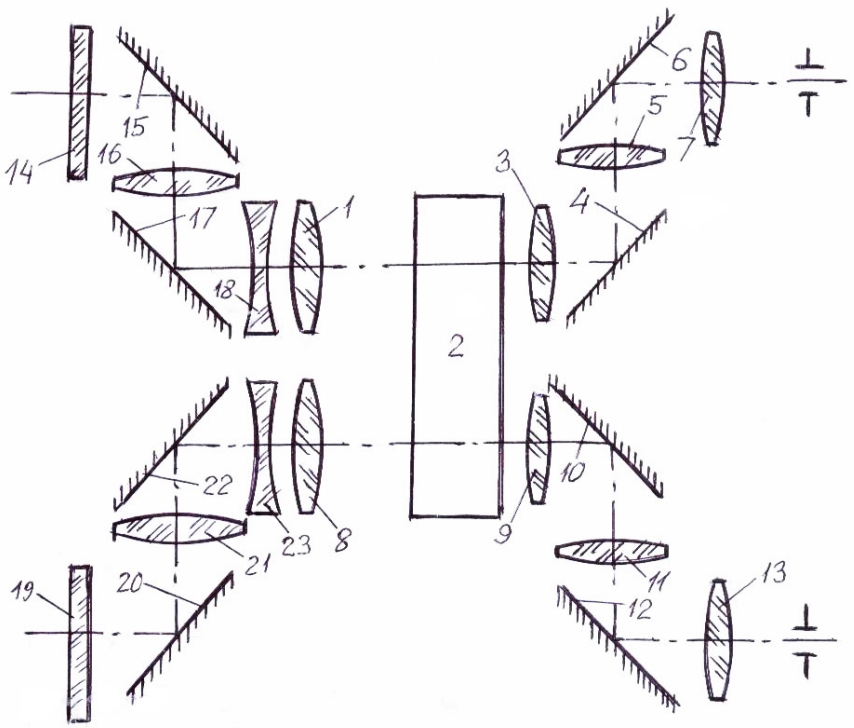


Рисунок 2.
Схема бинокулярного ночного бинокля

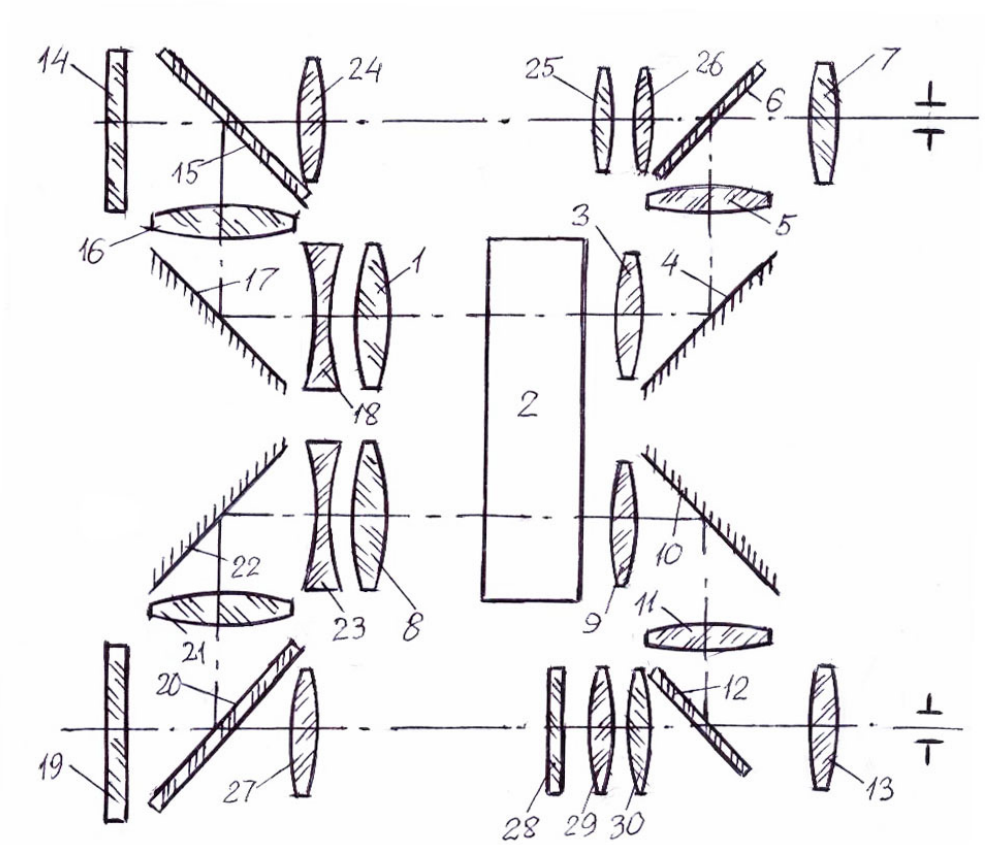


Рисунок 3.
Схема дневно-ночного бинокля

стемы Кепплера (рис. 3). Плоские зеркала 15, 6, 20 и 12 выполнены дихроичными. Дихроичные зеркала 15 и 20 пропускают в видимой области спектра 0,38 – 0,75 мкм и отражают в области спектра 0,76 – 0,9 мкм. Дихроичные зеркала 6 и 12 пропускают в области спектра 0,38 – 0,75 мкм и отражают в рабочей области спектра свечения экрана ЭОП 2 0,53 – 0,56 мкм. При этом фотокатод ЭОП 2 работает в области спектра 0,4 – 0,9 мкм. Дневная правая ветвь состоит из последовательно установленных на оптической оси защитного стекла 14, 1-го дихроичного плоского зеркала 15, дневного объектива 24, линзовой оборачивающей системы, состоящей из 1-го 25 и 2-го 26 линзовых компонентов, 2-го дихроичного зеркала 6 и окуляра 7. Дневная левая ветвь состоит из последовательно установленных на оптической оси компонентов 19, 20, 27, сетки 28, компонентов 29, 30, 12, 13. Каждая дневная ветвь имеет Г = 7x, 2ω = 7º. Такое схемное решение позволяет обеспечить круглосуточное наблюдение. Сетка 28 позволяет визировать на цель и грубо измерять дальность до нее.

Для точного измерения дальности до цели может быть использован дневно-ночной прибор с лазерно-дальномерным каналом по схеме рис. 4. Ее с лазерно-дальномерным канал содержит задающий генератор импульсов (ЗГИ) 31, блок накачки 32, импульсный лазерный полупроводниковый излучатель (ИЛПИ) 33, на который сфокусирован 2-й линзовый компонент 30 оборачивающей системы, узкополосный фильтр 34, фотоприемное устройство (ФПУ) 35 на основе матрицы фотодетекторов на базе InGaAs, работающей в области

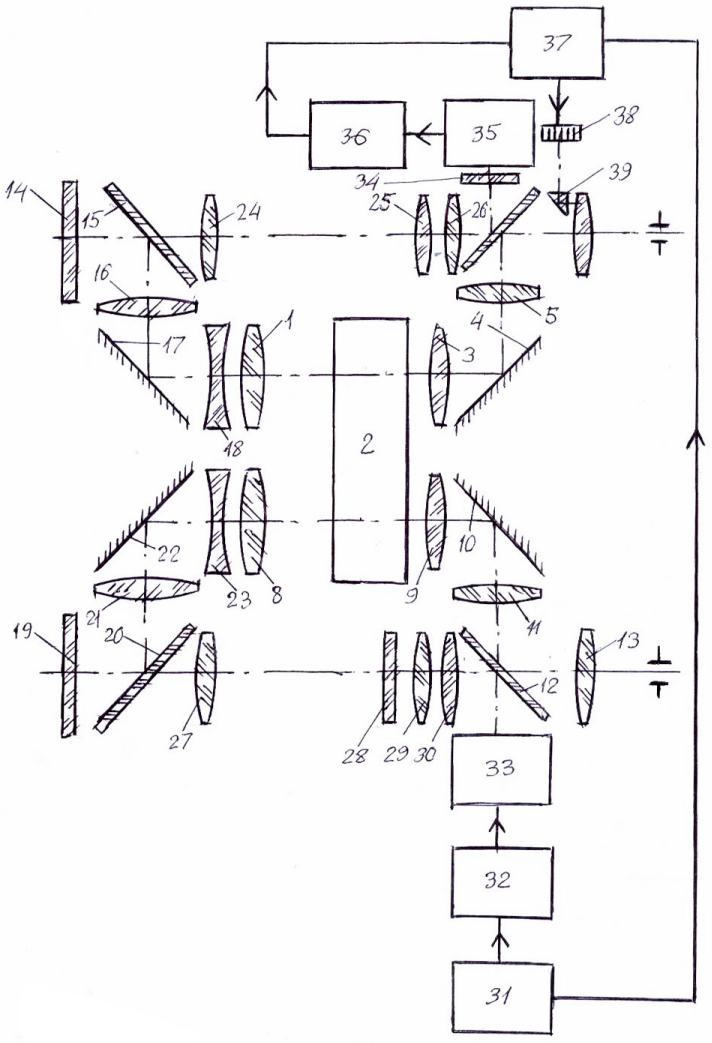


Рисунок 4.

Схема дневно-ночного бинокля с лазерно-дальномерным каналом

спектра 0,8 – 1,7 мкм, усилителя 36, измерителя временных интервалов (ИВИ) 37. К его 1-му входу подключен 1-й выход ЗГИ 31, 2-й выход ИВИ 37 подключен к светодиодному индикатору дальности (СИД) 38, оптически сопряженному с окуляром 7 через прямоугольную призму 39. ИЛПИ 33 излучает на длине волны 1,55 мкм, на которой пропускает узкополосный фильтр 34, а также компоненты 14, 15, 24, 25, 26, 19, 20, 27 – 30. Дихроичные зеркала 15 и 20 пропускают излучение на длине волны 1,55 мкм, а дихроичные зеркала 6 и 12 отражают излучение на этой длине волны.

Канал лазерного дальномера работает следующим образом. ЗГИ 31 со своего 1-го выхода подает запускающие импульсы на вход блока накачки 32. Который создает соответствующие им импульсы тока. Одновременно со своего 2-го выхода ЗГИ 31 подает на первый вход ИВИ37 такие же импульсы. Блок накачки 32 подает импульсы тока накачки в ИЛПИ 33, в результате чего он генерирует импульсы излучения на длине волны 1,55 мкм. Импульсное излучение отражается от дихроичного зеркала 12 и передается во 2-й линзовый компонент 30, создавая параллельный пучок лучей. Излучение с помощью 1-го линзового компонента 29 передается в заднюю фокальную плоскость дневного объектива 27, которая совпадает с сеткой 28. Объектив 27 коллимирует излучение, которое проходит через дихроичное зеркало 20, защитное стекло 19 и направляется на местность, создавая на цели пятно подсвета. Импульсы излучения, отраженные от цели, приходят в прибор, проходят через защитное стекло 14 и дихроичное зеркало 15, а затем с помощью объектива 24 концентрируются в его фокальной плоскости, совпадающей с передней фокальной плоскостью 1-го линзового компонента 25. После этого импульсы излучения через 2-й линзовый компонент 26 передаются на дихроичное зеркало 6, отражаются от него, проходят через узкополосный фильтр 34 и концентрируются на фоточувствительной площадке ФПУ 35. Оно преобразует импульсы излучения в электрические импульсы, которые усиливаются в усилителе 36 и подаются на 2-й вход ИВИ 37. Он осуществляет измерение временного интервала между импульсным сигналом с 1-го и импульсным сигналом со 2-го входа ЗГИ 37. Этот интервал пропорционален дальности до цели. ИВИ 37 преобразует временной интервал в цифровой код, который передается в СИД 38, на табло которого отображается значение дальности до цели. Цифровое табло наблюдается оператором через окуляр 7 с помощью призмы 39. Измеряемая дальность достигает 5000 м при точности ее измерения ± 5 м.

Фотокатод ЭОП 2 имеет еще свободные места, на которые могут быть сфокусированы объективы с f' = 8 – 10 мм при 2ω = 100 - 120º. Благодаря этому у ОНВ и у ночного бинокля будет 2ω = 100 - 120º. При этом окулярные ветви могут быть оснащены дополнительными линзовыми компонентами, которые сфокусированы на места экрана ЭОП 2, соответствующие местам фотокатода, на которые сфокусированы короткофокусные объективы.

Экран ЭОП 2 можно состыковать с миниатюрными ТВ камерой и соответствующим объективом, сфокусированным на фотокатод ЭОП 2. Изображение в этом случае выводится на OLED дисплей. При подключении ТВ камеры к радиопередатчику изображение можно передавать дистанционно.

Список литературы

1. *Гейхман И.Л., Волков В.Г.* Видение и безопасность. М.: Новости. 2009. 840 с.

2. *Волков В.Г., Гиндин П.Д.* Техническое зрение. Инновации. М.: Техносфера. 840 с.

3. *Image Intensifier.* Каталог фирмы Hamamatsu Photonics K. K. Electron Tube, Япония, 2016.

УДК 622.232.8:621.384.3.01:531.714.2

ПАНОРАМНЫЙ МНОГОКАНАЛЬНЫЙ ПРИБОР ВИЗУАЛИЗАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ

ВОЛКОВ В.Г., ГИНДИН П.Д., КАРПОВ В.В., СЕНИК Б.Н.*

Акционерное общество «Московский завод «Сапфир», г. Москва

Публичное акционерное общество «Красногорский завод им. С.А. Зверева», г. Красногорск

E-mail: volkvik2009@yandex.ru, bogdan_senik@mail.ru

Аннотация: *В статье рассматривается панорамный многоканальный прибор визуализации изображения. Он содержит панорамные телевизионный и тепловизионный каналы, лазерный дальномер, активно-импульсный канал, гониометр для измерения углов. Описывается принцип действия прибора, показаны его возможности и представлены основные технические характеристики.*

Ключевые слова: панорамный телевизионный канал, панорамный тепловизионный канал, активно-импульсный канал, лазерный дальномер, угол обзора, угол поля зрения, дальность обнаружения, дальность распознавания, точность измерения дальности и угловых координат.

PANORAMIC MULTI-CHANNEL DISPLAY TOOL IMAGE

VOLKOV V. G., GINDIN P. D., KARPOV V. V., SENIK B. N.*

Joint Stock Company "Moskovskij Zavod "Sapphir"

Public Joint Stock Company "Krasnogorskij Zavod named S.A. Zverev"

E-mail: volkvik2009@yandex.ru, bogdan_senik@mail.ru

Abstract: *The article deals with a panoramic multi-channel imaging device. It contains panoramic TV and thermal imaging channels, laser rangefinder, active pulse channel, goniometer for measuring angles. The principle of operation of the device is described, its capabilities are shown and the main technical characteristics are presented.*

Keywords: panoramic TV channel, panoramic thermal imaging channel, active pulse channel, laser rangefinder, viewing angle, field of view, detection range, recognition range, accuracy of distance and angular coordinates measurement.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время активно-импульсные приборы визуализации изображения (АИ ПВИ) получили достаточно широкое распространение в технике [7.5.1, 7.5.2]. Их принцип действия основан на импульсном лазерном подсвете объектов наблюдения и синхронизированным с ним импульсном управлении (стробировании) электронно-оптического преобразователя (ЭОП), установленного в приемной части АИ ПВИ.

Как известно [7.5.1, 7.5.2], АИ ПВИ обеспечивают рекордно высокие дальности обнаружения и распознавания объектов наблюдения, работоспособны при любом уровне естественной освещенности как при нормальной, так и при пониженной прозрачности атмосферы, а также при воздействии мощных световых помех.

Однако АИ ПВИ, кроме активного режима работы, имеет следующие недостатки:

1. ограниченный угол поля зрения, равный углу подсвета импульсного лазерного осветителя (ИЛО); из энергетических соображений этот угол обычно не превышает 1х0,5°;

2. необходимость поиска и обнаружения объектов не только по полю, но и по глубине за счет изменения временной задержки и перемещения узкого строба до тех пор, пока в нем не окажется объект наблюдения;

3. сложность удержания объекта в пределах строба при взаимном перемещении по глубине объекта наблюдения и носителя АИ ПВИ (например, транспортного средства).

ИДЕОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ ПАНОРАМНОГО МНОГОКАНАЛЬНОГО ПРИБОРА ВИЗУАЛИЗАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ (ПМПВИ)

В связи с этим представляется целесообразным введение дополнительного широкопольного канала обнаружения, сопряженного с узкопольной АИ ПВИ.

В качестве такого канала может быть использована радиолокационная станция (РЛС) [7.5.2]. Однако, недостатком РЛС является, кроме активного режима работы и возможности обнаружения ее излучения даже за пределами оптической видимости, сравнительно большая масса, габариты и энергопотребление. Поэтому оптимальным решение проблемы является введение пассивных оптико-электронных панорамных каналов, обеспечивающих практически круговое наблюдение по горизонту и наблюдение в широком угле поля зрения по углу вертикали. Обнаруженный в такие каналы объект наблюдения изображается в этих каналах, а это изображение вводится в АИ СВИ, где осуществляется только распознавание объекта и измерение дальности до него. Благодаря этому время работы в АИ режиме сведено к минимуму.

Блок-схема панорамного МПВИ представлена на рис. 1. В состав МПВИ входят панорамный ТВП канал и панорамный ТВ канал, представляющие собой систему кругового обзора «Филин» (рис. 2) [7.5.3]. Его основные параметры представлены в табл. 1.

ОСНОВНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПАНОРАМНОГО ТВП КАНАЛА «ФИЛИН»

В процессе испытаний система ТВП кругового обзора «Филин» круглосуточно осуществляла автоматическое обнаружение и сопровождение целей в пределах доступной на этом объекте дальности: людей - до 1100 - 1200 м., транспортных средств - до 1500 м.

Внедренная система позволяет устанавливать виртуальную зону охраны, автоматически определять нарушителей по ТВП/видео изображению на суше и воде в условиях естественной обстановки в присутствии помех (туман, наличие растительности, смена времени суток, появление насекомых в кадре, засветка автомобильными фарами и др.).

Все цели и тревожные события, обнаруженные ТЛКО «Филин», в реальном времени отображаются на автоматизированном рабочем месте оператора, установленном в центре авиационной безопасности аэропорта. Оператор имеет возможность просмотреть фрагменты видеозаписи до и после обнаружения нарушителя, выбрать предложенные системой варианты действий по обработке тревожного события.

Таблица 1.

Технические характеристики локатора «Филин»

	Модель	Дальность обнаружения (в автоматическом режиме) по человеку	Дальность обнаружения (в автоматическом режиме) по транспортному средству	Дальность обнаружения (в ручном режиме) по человеку	Дальность обнаружения (в ручном режиме) по транспортному средству
Ближние дистанции	Филин-400	до 100 м	до 450 м	до 400 м	до 880 м
	Филин-1000	до 200 м	до 1000 м	до 1000 м	до 2250 м
Средние дистанции	Филин-1500	до 300 м	до 1500 м	до 1500 м	до 3900 м
	Филин-2000	до 480 м	до 2300 м	до 2100 м	до 4800 м
Дальние дистанции	Филин-2500	до 700 м	до 3000 м	до 2450 м	до 6000 м

Наименование параметра	Значение
Количество источников видеосигнала	до 2
Количество поворотных устройств	максимум 1
Максимальный сектор охраны	Не ограничено
Максимальная скорость записи	25 кадров в секунду
Режимы записи	постоянный
Работа по сети	да
Способы управления поворотными устройствами	по координатам / по пресетам
Функции управления поворотными устройствами и видеокамерами	поворот, наклон, зуммирование (pan/tilt/zoom)

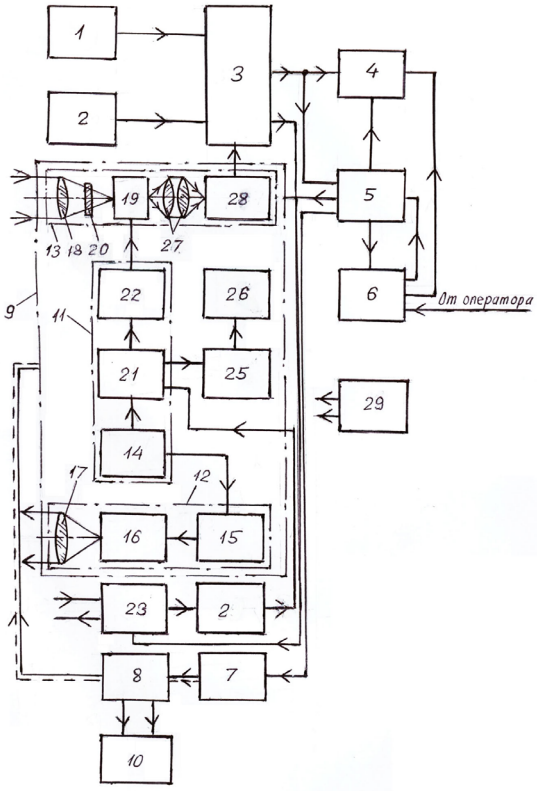


Рисунок 1.

Блок-схема панорамного МПВИ

Рисунок 2.

Локатор углового обзора «Филин»

ОБЩАЯ ОЦЕНКА ТВП КАНАЛА «ФИЛИН»

В состав канала входит специализированное программное обеспечение с компьютерным зрением Orwell 2k, которое позволяет производить обнаружение, слежение и классификацию целей (человек, транспортное средство и т.д.) круглосуточно в любых погодных условиях, ТВП камера, видеокамера, поворотное устройство, блок обработки данных и аналитики всепогодного исполнения (IP-66), АРМ оператора с предустановленным программным обеспечением для ТВП охранной системы.

В программном обеспечении, входящем в состав ТВП локатора «Филин», оператор с помощью сенсорного ввода или мыши задает на графической карте объекта необходимую для сканирования зону охраны. Автоматически вычисляются сектора обзора, по которым сенсор (ТВП или ТВП с видеокамерой) будет осуществлять циклическое патрулирование.

В режиме реального времени ТВП локатор кругового обзора «Филин» осуществляет автоматическое обнаружение и классификацию целей посредством аудиовизуальных сигналов оповещает оператора об их появлении, проецирует местоположение целей на электронную карту объекта в виде мнемонических символов (запатентованная технология VideoAnalyticMap). Все цели, обнаруженные ТВП локатором «Филин», отображаются в окне обработки тревожных событий, где оператору демонстрируется видеозапись, содержащая тревожное событие, видеофрагмент до и после его обнаружения и варианты действий по его отработке. Автоматически осуществляется сохранение видеоданных в архиве. Основная градация модельного ряда ТВП локаторов «Филин» осуществляется в зависимости от дальности обнаружения целей: ближние дистанции, средние дистанции и дальние дистанции. Каждая модель может поставляться в двух исполнениях: с сенсором ТВП диапазона и комбинацией сенсоров ТВП и видимого диапазонов.

Система применяется в следующих областях: обнаружение целей на суше и воде в условиях естественной обстановки (туман, наличие растительности, смена времени суток, появление насекомых в кадре, засветка автомобильными фарами, вибрация и др.).

СОСТАВ КАНАЛА «ФИЛИН»

В состав канала «Филин» входят: ТВП (основной сенсор); видеокамера (дополнительный сенсор);·поворотная платформа; блок хранения, обработки данных и аналитики (IP-66); АРМ оператора с предустановленным ПО, передовая ТВП аналитика Orwell 2k для ТВП камер.

ОСНОВНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ КАНАЛА «ФИЛИН»

Прибор «Филин» имеет следующие возможности: организация охраны территории большой площади с использованием одной ТВП камеры на поворотной платформе взамен нескольких стационарных; минимизация негативного влияния человеческого фактора при работе с поворотными камерами; автоматическое оповещение о тревожных событиях; отображение событий на карте; интеллектуальный архив; уникальные элементы управления; интерфейс оптимизирован под устройства с сенсорным вводом.

К функциональным возможностям канала «Филин» относятся: автоматическое управление сенсором (ТВП или ТВП + видеокамера) на поворотной платформе; ручное управление сенсором на интерактивной карте местности и изображении с помощью виртуального джойстика или MultiTouch жестов на устройствах с сенсорным управлением; автоматический возврат из ручного режима управления ТВП камерой в режим охраны; автоматическая классификация целей с помощью алгоритмов компьютерного зрения Orwell 2k; мгновенное воспроизведение фрагмента видеозаписи с тревожным событием; визуальное и звуковое оповещение оператора об обнаруженных тревожных событиях; возможность ручной обработки поступающих тревог; воспроизведение архива в прямом и обратном направлении; поиск в архиве по дате и времени, по тревожным событиям; поддержка больших (сотни километров) многоуровневых карт; экспорт архива требуемой продолжительности; быстрая и простая установка и настройка с помощью встроенного мастера настройки; предустановленные профили алгоритмов компьютерного зрения; клиент-серверная архитектура; современный эргономичный и свободно настраиваемый интерфейс; управление с по-

мощью MultiTouch жестов или мышью; низкие требования квалификации оператора и администратора системы

ТВП локатор «Филин» обладает также следующими возможностями с точки зрения обеспечения охраны периметра: автоматическое и ручное управление модулем обнаружения с ТВП сенсором и сенсором видимого диапазона; автоматическое обнаружение движущихся целей типа «человек», «группа людей», «техника» в охраняемой зоне при наличии прямой видимости в круглосуточном режиме, в том числе в условиях ограничения видимости в оптическом диапазоне из-за тумана, снегопада или дождя на дальности до 6000 м; проецирование местоположения обнаруживаемых целей на электронную карту в виде мнемонических символов; обработка оператором поступающих сообщений о тревогах; автоматическое воспроизведение фрагмента видеозаписи, содержащего факт обнаружения цели; автоматическое проецирование текущего направления модуля обнаружения целей и его области обзора на электронную карту; круглосуточная запись и хранение видеоизображений от сенсоров модуля обнаружения; воспроизведение и отображение архивных данных (размер архива определяется только емкостью запоминающих устройств).

РАБОТА ПАНОРАМНОГО МПВИ

ТВП и ТВ каналы прибора «Филин» осуществляют обзор местности по горизонту в пределах 360° и по вертикали в пределах –(90°) - (+045°). Видеосигналы обоих каналов поступают в блок электронной обработки (БЭО) 3. Здесь происходит цифровая обработка видеосигналов в реальном масштабе времени, их суммирование таким образом, чтобы от изображения каждого из каналов выбирались только наиболее информационные признаки изображения. При этом на основе этих признаков формируется интегрированное изображение. Видеосигнал, несущий информацию об этом изображении, передается в ТВ монитор 4 и в персональный компьютер (ПК) 5. Панорамное изображение с экрана ТВ монитора 4 наблюдается оператором. ПК 5 управляет работой курсора 6. В то же время курсор управляется оператором. Если он обнаружит объект наблюдения в поле зрения ПВИ, то подводит курсор 6 к этому изображению, наблюдая с экрана ТВ монитора 4. При этом курсор вырабатывает электрические сигналы, пропорциональные положению изображения курсора 6 на экране ТВ монитора 4. Этот сигнал с курсора 6 поступает в ПК 5, который включает АИ канал 9 и одновременно подает управляющий сигнал на исполнительный механизм 7. Он поворачивает гониометр 8 так, чтобы изображение обнаруженного объекта оказалось в центре поля зрения АИ канала 9. Последний установлен непосредственно на гониометре 8. Он осуществляет при этом измерения координат объекта по горизонту и вертикал с точностью не хуже 1›. Эти данные отображаются на дисплее 10 контроля координат. В состав АИ канала 9 входят блок стробирования 11, ИЛО 12 и электронно-оптический блок наблюдения (ОЭБН) 13. Задающий генератор импульсов (ЗГИ) 14 со своего 1-го выхода запускает синхроимпульсом блок 15 накачки. Последний формирует импульсы тока, которыми возбуждается импульсный лазерный полупроводниковый излучатель (ИЛПИ) 16. Он генерирует импульсы излучения подсвета на длине волны 0,85 мкм. Это излучение коллимируется с помощью объектива формирования излучения (ОФИ) 17 и направляется на объект наблюдения, формируя на нем пятно подсвета. Импульсы излучения, отраженные от объекта, приходят в ОЭБН 13. Его объектив 18 создает изображение объекта на фотокатоде ЭОП 19. При этом между объективом 18 и ЭОП 19 установлен узкополосный фильтр 20. Его полоса пропускания соответствует полосе излучения ИЛПИ16. Это позволяет осуществить спектральную селекцию объекта наблюдения на фоне световых помех. ЭОП 19 работает в импульсном режиме. До прихода на фотокатод импульса излучения электронный затвор ЭОП 19 (роль которого выполняет микроканальная пластина – МКП) заперт напряжением постоянного смещения. ЗГИ 14 одновременно с подачей со своего 1-го выхода синхроимпульсов в блок 15 накачки подает со своего 2-го выхода запускающие синхроимпульсы на блок регулируемой задержки (БРЗ) 21. Он запускает фор-

мирователь стробирующих импульсов (ФСИ) 22. Последний подает отпирающие импульсы напряжения на МКП ЭОП 19, отпирая его на время длительности строба, равной или несколько превышающей длительность импульса подсвета. Для обеспечения подобной синхронной работы ИЛО 12 и ОЭБН 13 служит БРЗ 21. Он вносит плавно регулируемую задержку между импульсом излучения и импульсом строба, равную времени прохождения импульсом излучения расстояния от АИ канала до объекта и обратно. Для задания исходной величины такой задержки служит лазерный дальномер (ЛД) 23. Он осуществляет точное измерение дальности до объекта наблюдения и передает соответствующий ей электрический сигнал в БРЗ 21, формируя в нем исходную величину задержки. Благодаря этому объект наблюдения сразу же оказывается в пределах глубины просматриваемого пространства, определяемого длительностью импульса строба. Если объект наблюдения и (или) носитель АИ канала перемещаются по глубине друг относительно друга, то дальность до объекта будет изменяться. НО ЛД 23, продолжая измерение дальности, непрерывно передает в БРЗ 21 электрический сигнал, соответствующий дальности и, тем самым, непрерывно корректирует задержку так, чтобы объект наблюдения все время находился бы в пределах строба, т.е. в пределах глубины просматриваемого пространства. Рабочая длина волны ЛД 23 составляет 1,54 мкм. Величина дальности до объекта, измеренная с помощью ЛД 23, передается на 1-й светодиодный индикатор дальности (СИД) 24 и отображается на его дисплее. При этом электрический сигнал в БРЗ 21, пропорциональный времени задержки, передается в измеритель временных интервалов (ИВИ) 25. Последний измеряет задержку, преобразует ее в соответствующее количество импульсов и пересчитывает в соответствующее количество электрических импульсов. Они передаются во 2-й СВД 26, на дисплее которого отображается значение дальности. Таким образом, имеются два дублирующих друг друга СИД 24 и 26. ЭОП 19 преобразует изображение в видимое и усиливает его по яркости. Изображение с экрана ЭОП 19 с помощью оптики переноса 27 передается на матрицу ПЗС ТВ камеры 28. Видеосигнал с ее выхода передается в БЭО 3. Здесь видеосигнал подвергается цифровой обработке в реальном масштабе времени и передается в ТВ монитор 4, с экрана которого оператор наблюдает изображение. Питание всего панорамного МПВИ осуществляется от источника первичного питания (ИПП) 29.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАНОРАМНОГО МПВИ

Таким образом, этот панорамный МПВИ позволяет избавиться от указанных выше недостатков АИ ПВИ. Поле обзора ПМВИ по горизонту составляет 360°, а по вертикали (-90°) - (+45°). Дальность обнаружения грузовой автомашины (борт) в панорамные каналы составляет до 3000 м, а дальность распознавания этого же объекта при работе МПВИ в АИ режиме составляет также 3000 м. Точность измерения дальности - не хуже ± 5 м, координат объекта по горизонту и вертикали – не хуже 1’. Гониометр (поворотное устройство) вместе со всеми остальными каналами СВИ может быть установлен на треноге или с помощью соответствующих кронштейнов – на транспортном средстве. Напряжение питания ПМВИ равно = 24 В (аккумуляторные батареи), масса - не более 40 кг, энергопотребление – не более 150 Вт.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПАНОРАМНОГО МПВИ

Перспективы дальнейшего развития панорамного МПВИ связаны с обеспечением ввода изображения в персональный компьютер и его соответствующей обработки в реальном масштабе времени, дистанционная передача изображения, полная автоматизация работы МПВИ и его установка на мобильных роботизированных комплексах, на кораблях, летательных аппаратах.

Список литературы.

1. *Волков В.Г., Гиндин П.Д.* Техническое зрение. Инновации. М., Техносфера, 2014, 840 с.

2. *Гейхман И.Л., Волков В.Г*. Видение и безопасность. М., Новости, 2009, 840 с.

3. Тепловизионный локатор кругового обзора «Филин». Техническое описание. www.perimeter.ru.ua/docss/017_filin_technical description.

УДК 623.746.4-519

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВЫБОРА ТИПА ПРИВОДА ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ТЯЖЕЛОГО БПЛА

БОБКОВ Н.А.

Публичное акционерное общество «Красногорский завод им. С.А. Зверева», г. Красногорск
3-я научная рота Космических войск Воздушно-космических сил РФ

E-mail: bobkovnikolai@mail.ru

Аннотация: *В данной статье представлены результаты разработки методики выбора типа привода для перспективного тяжелого БПЛА.*

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, электромеханический привод, электрогидростатический привод, электрогидравлический привод.

METHODOLOGY FOR SELECTING THE TYPE OF ACTUATOR FOR FUTURE HEAVY UAV

BOBKOV N.A.

PJSC «Krasnogorsky plant him S.A. Zvereva», Krasnogorsk

E-mail: bobkovnikolai@mail.ru

Abstract: *This article presents the results of the development of methods for selecting the type of actuator for a promising heavy UAV.*

Keywords: unmanned aerial vehicle, electromechanical actuator, electrohydrostatic actuator, electrohydraulic actuator.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одно из наиболее перспективных направлений развития современной военной авиации – это разработка беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

На современных БПЛА используют разные типы приводов для управления рулевыми поверхностями. Малые, легкие и средние БПЛА, зачастую, в качестве источника энергии для приводов управления рулевыми поверхностями используют электричество, так как невозможно разместить гидравлическую систему на борту. Беспилотники более высокого класса используют в качестве приводов для управления рулевыми поверхностями как электроприводы, так и гидроприводы, а также автономные приводы.

При проектировании современных летательных аппаратов, разработчики стараются снизить его стоимость, стоимость жизненного цикла, уменьшить массу, снизить расходы на обслуживание системы управления полетом. На сегодняшний день существует мнение, что повышение электрификации самолета позволит достичь описанных целей.

На сегодняшний день, актуальным является два типа приводов [1]: электромеханический (ЭМП), электрогидростатический (ЭГСП). Одними из главных параметров привода является его масса и занимаемый объем, которые определяются силовой частью привода. В случае с ЭМП – это электродвигатель и силовой редуктор, во втором – это электродвигатель, гидронасос и силовой гидроцилиндр. В таком случае, ЭГСП проигрывает ЭМП по массо-габаритным показателям. При сравнении с электрогидравлическим приводом (ЭГРП), ЭМП проигрывает по быстродействию из-за большого момента инерции.

Отсюда вытекает проблема выбора привода, так как каждый тип привода имеет преимущества и недостатки, а расчет всех вариантов является трудоемкой задачей. Создание методики позволит сократить время и трудозатраты для выбора привода, который обеспечит требуемые летно-технические характеристики ЛА, будет обладать необходимой мощностью, надежностью и массо-габаритными свойствами.

Проблема выбора типа привода наиболее актуальна для тяжелых БПЛА, так как на них возможно применение любого из существующих типов приводов.

Целью данной работы является разработка методики выбора типа привода для рулевых поверхностей тяжелого БПЛА. Для разработки методики необходимо:

– выбрать критерии оценки приводов;

– сравнить различные типа приводов по выбранным критериям;

– разработать методику на основе проведенного сравнительного анализа;

– верифицировать разработанную методику;

– произвести выбор и расчет приводов для тяжелого БПЛА.

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА ПО ВЫБОРУ ПРИВОДА

Для анализа состояния вопроса по выбору привода, численно сравним характеристики трех основных типов приводов. Результат сравнения представлен в табл. 1.

Из таблицы видно, что ЭГРП обладает самым высоким механическим КПД, это обусловлено минимальным количеством составляющих элементов (КПД насоса ГС не учитывается). К недостаткам ЭГРП и ЭГСП следует отнести ограниченную стабильность, связанную с применением гидрожидкости. Для обеспечения должной безопасности при эксплуатации необходим частый осмотр всех составляющих системы на предмет подтеков жидкости.

В свою очередь, ЭМП абсолютно стабилен, контроль при эксплуатации система может делать самостоятельно, однако среди всех он самый тяжелый.

Самым сильно различающимся параметром является удельный вес. На основе данного параметра будет строиться методика выбора типа привода, а точнее на двух составляющих – масса и мощность.

Также к критериям выбора типа привода можно отнести его быстродействие. Этот критерий важен для маневренных БПЛА.

Таблица 1.

Характеристики различных типов приводов

Тип привода / Параметр	ЭМП	ЭГРП	ЭГСП
Быстродействие (от подачи сигнала до начала работы)	≈300·10^6 м/с	≈300м/с	≈300·10^6 м/с
Механический КПД	≈0,9	≈0,94..0,95	≈0,86
Удельный вес на ед. мощности (кг/кВт)	8..10	4..6	6..8
Количество типов движения выходного звена	Вращательный вид движения	Вращательный и поступательный вид движения	Вращательный и поступательный вид движения
Стабильность характеристик	Стабилен	Стабилен ограниченно	Стабилен ограниченно

МЕТОДИКА ВЫБОРА ТИПА ПРИВОДА

Для определения оптимального типа привода по выбранному критерию построим зависимости массы от мощности для каждого типа привода.

Таблица 2.

Параметры ЭМП

Масса (кг)	Мощность (кВт)	Применение
11,8	3,7	F/A-18 (1978 г.)
13,3	3	-
16	2	A320 (1987 г.)
21,2	2,6	-
68	8	Ан-70 (1994)

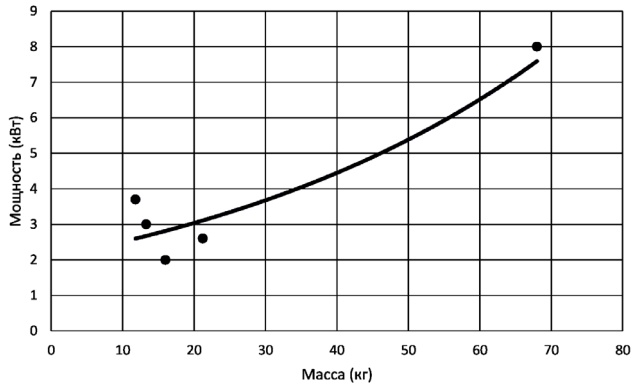


Рисунок 1.

Зависимость массы от мощности для ЭМП

На основе анализа публикаций и научных работ, а также статистических данных были построены зависимости массы рулевых приводов от их мощности. Зависимость массы от мощности для ЭМП представлена на рис. 1.

Зависимость массы от мощности для ЭМП

Для сравнения нескольких типов приводов в одинаковом диапазоне мощностей, следует, кривую, полученную для каждого типа привода, описать функцией для дальнейшего построения графиков в нужном диапазоне.

Для ЭМП кривая может быть описана следующей функцией:

$$N_{\text{ЭМП}} = 2{,}0748 \cdot e^{0{,}019 \cdot m} \quad (1)$$

Для ЭГРП параметры представлены в табл. 3.

Таблица 3.

Параметры ЭГРП

Масса (кг)	Усилие (кВт)	Применение
2,3	0,2	-
5	1,1	-
6	0,15	-
15	2,9	-
17,4	5,85	-
18	3,96	-
25,5	4	-
32	7,4	-
37,5	9,8	-

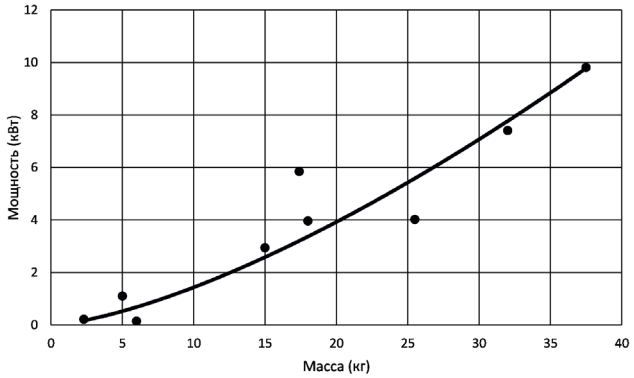


Рисунок 2.
Зависимость массы от мощности для ЭГРП

Зависимость массы от мощности представлена на рис. 2.

Для ЭГРП кривая может быть описана следующей функцией:

$$N_{\text{ЭГРП}} = 0{,}0505 \cdot m^{1{,}4531} \quad (2)$$

Для ЭГСП параметры представлены в табл. 4, зависимость массы от мощности на рис. 3.

Таблица 4.
Параметры ЭГСП

Масса (кг)	Мощность (кВт)	Применение
19	1,2	А320 (1987 г.)
15	1,39	Ан-148 (2004 г.)
12	1,62	-
11,5	2	А321 (1994 г.)
41,82	4,8	F-35 (2000 г.)
65	13,36	А380 (2005 г.)
80	19,51	А380 (2005 г.)
140	44	-

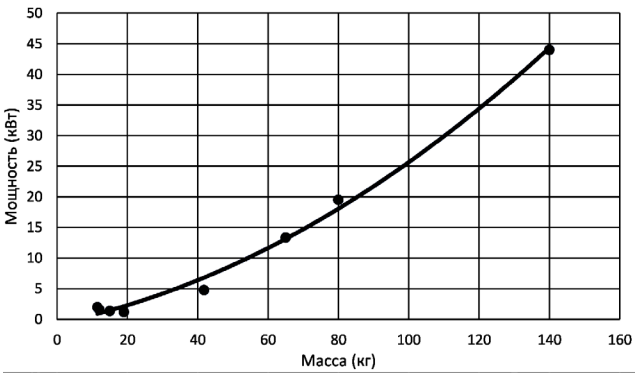


Рисунок 3.
Зависимость массы от мощности для ЭГСП

Для ЭГСП кривая может быть описана следующей функцией:

$$N_{\text{ЭГСП}} = 0{,}0115 \cdot m_{\text{ЭГСП}}^2 + 0{,}1165 \cdot m_{\text{ЭГСП}} - 0{,}6071 \quad (3)$$

По функциям (1), (2), (3) находим значение мощности привода при заданной массе (табл. 5), и строим зависимость массы от мощности для трех типов приводов – рис. 4.

Зависимость на рис. 4 показывает, что при требуемых малых мощностях (<2,5 кВт) наиболее выгодным является применение ЭМП. При мощности более 2,5 кВт стоит применять ЭГРП.

Если применение ЭГРП невозможно, к примеру, из-за отсутствия гидросистемы, то при требуемой мощности менее 3 кВт следует применять ЭМП, более 3 кВт – ЭГСП.

По зависимости на рис. 4 можно только ориентировочно оценить массу привода, так как построение зависимости на основе статистических данных имеет существенную погрешность

Таблица 5.
Параметры приводов

Масса (кг)	ЭМП (кВт)	ЭГСП (кВт)	ЭГРП (кВт)
5	2,28	0,013	0,52
20	3,03	2,32	3,92
30	3,67	4,24	7,07
40	4,44	6,45	10,75
50	5,36	8,97	14,86
60	6,49	11,78	19,37

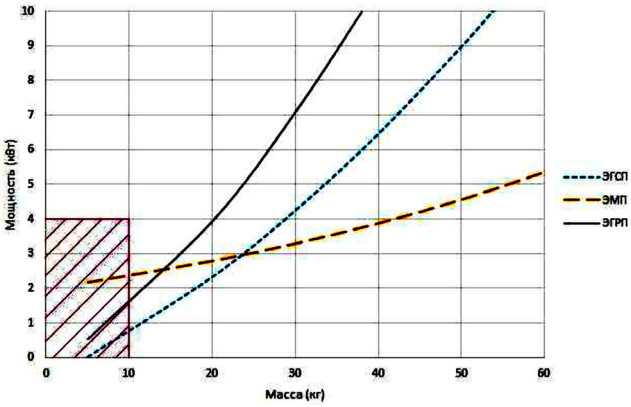


Рисунок 4.
Зависимости массы от мощности для ЭГРП, ЭМП, ЭГСП

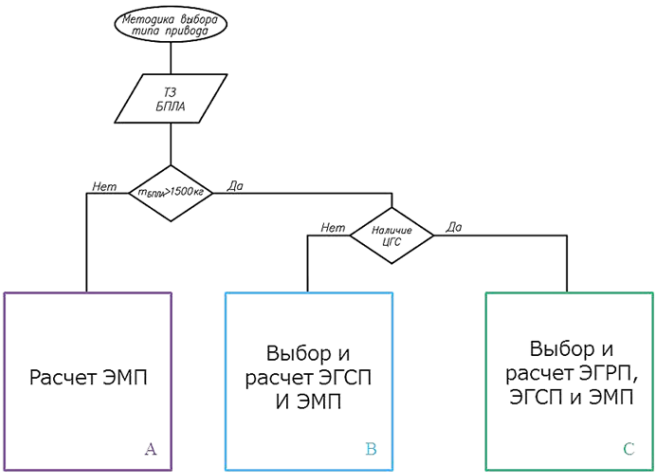


Рисунок 5.
Укрупненная блок-схема методики выбора типа привода

из-за разницы развития технологий в разных странах и разных годах производства приводов. Поэтому при выборе привода, следует рассчитывать его массу для каждого случая.

При построении принято допущение по скорости выходного звена равной 0,07 м/с. Заштрихованная область не подлежит рассмотрению, так как в этой области графики дают недостоверные значения.

Зависимость на рис. 4 показывает, что при потребных малых мощностях (<2,5 кВт) наиболее выгодным с точки зрения веса является применение ЭМП.

При мощности более 2,5 кВт стоит применять ЭГРП.

Если применение ЭГРП невозможно, к примеру, из-за отсутствия гидросистемы, то при потребной мощности менее 3 кВт, с точки зрения массы привода, следует применять ЭМП, более 3 кВт – ЭГСП.

По зависимости на рис. 4 можно только ориентировочно оценить массу привода, так как построение зависимости на основе статистических данных имеет существенную погрешность из-за разницы развития технологий в разных странах и разных годах производства приводов.

На основе проведенного сравнения трех типов приводов, разработана методика выбора типа привода. Укрупненная блок-схема методики представлена на рис. 5.

В состав блок-схемы входят следующие блоки:

– ТЗ на БПЛА – в данном блоке задаются параметры беспилотного летательного аппарата: масса БПЛА, геометрические параметры;

– условие $m_{БПЛА}$>1500 кг – блок, отсеивающий БПЛА массой менее 1500 кг, в связи с невозможностью размещения на них гидросистемы;

– в блоке А рассчитывается ЭМП. В блоке В – ЭГСП и ЭМП. В блоке С – ЭГРП, ЭГСП, ЭМП. Для выбора блока используется масса БПЛА, и факт наличия или отсутствия ЦГС.

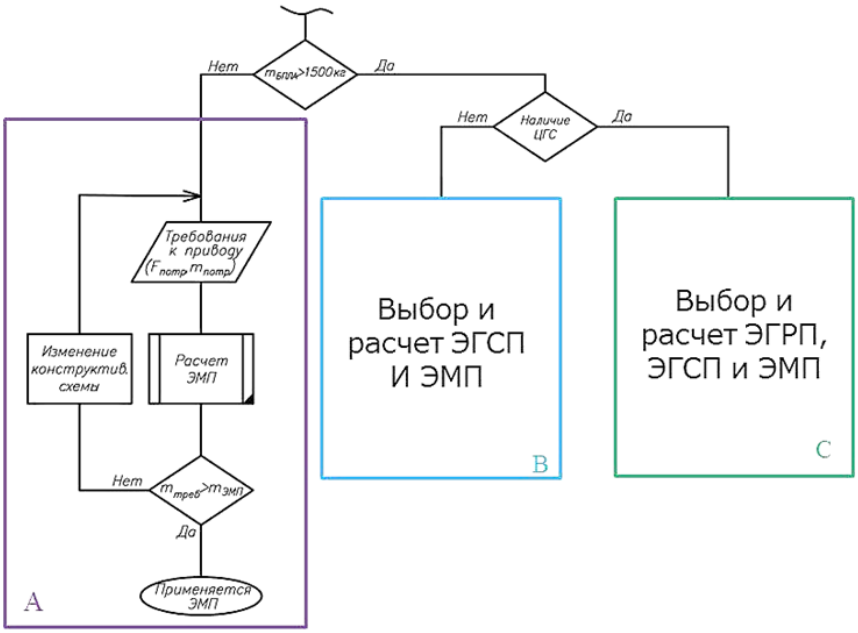


Рисунок 6.
Блок А

Так как при массе БПЛА менее 1500 кг размещение ЦГС нецелесообразно, то с точки зрения массы выгодней применять ЭМП (рис. 6).

В самом начале задаются требования к приводу, такие как: допустимая максимальная масса, потребное усилие. Следующим этапом рассчитывается масса привода и располагаемое усилие по существующей методике [2]. Если масса рассчитанного привода при выполнении требования по усилию не удовлетворяет требованиям по массе, то следует изменить требования, путем изменения конструктивной схемы привода. К примеру, изменение потребных усилий и допустимых масс, изменение коэффициента кинематической передачи или изменение количества приводов. При выполнении условия применяется ЭМП.

В блоке В (рис. 7), используя полученные зависимости выбираем тип привода по мощности. При потребной мощности более 3 кВт, с точки зрения массы выгодней применять ЭГСП.

Если после расчета ЭГСП [3] не удовлетворяет требованиям, рассчитывается ЭМП. Если ЭМП также не удовлетворяет требованиям, следует их пересмотреть.

При требуемой мощности менее 3 кВт, рассчитывается ЭМП, далее ЭГСП, если ЭМП не удовлетворяет требованиям.

В блоке С (рис. 8) рассматривается применение трех типов приводов, так как БПЛА обладает массой более 1500 кг и на его борту устанавливается ЦГС.

При потребной мощности менее 2,5 кВт – рассчитывается ЭМП. Если он не удовлетворяет требованиям, рассчитывается ЭГРП и ЭГСП.

При потребной мощности более 2,5 кВт, с точки зрения массы выгодней применять ЭГРП. В случае, если ЭГРП не удовлетворяет требованиям, то выполняется подпрограмма блока выбора ЭГСП и ЭМП представленная на рисунке 9.

В промежутке потребных мощностей от 2,5 до 3 кВт следует применять ЭМП, если он не удовлетворяет требованиям, рассчитывается ЭГСП, если ЭГСП также не удовлетворяет требованиям, следует выход из подпрограммы. При потребной мощности более 3 кВт – рассчитывается ЭГСП, далее ЭМП.

Результатом расчетов приводов является масса и располагаемая мощность. Для электромеханического привода масса определяется по следующей формуле:

$$m_{\text{ЭМП}} = m_{\text{ЭД}} + m_{\text{р}} + m_{\text{БУ}} \text{ (кг)} \quad (4)$$

где $m_{ЭД}$ – масса электродвигателя, кг;

$m_{р}$ – масса редуктора, кг;

$m_{БУ}$ – масса блока управления из учета 2кВт/кг [4].

Располагаемая мощность привода равна:

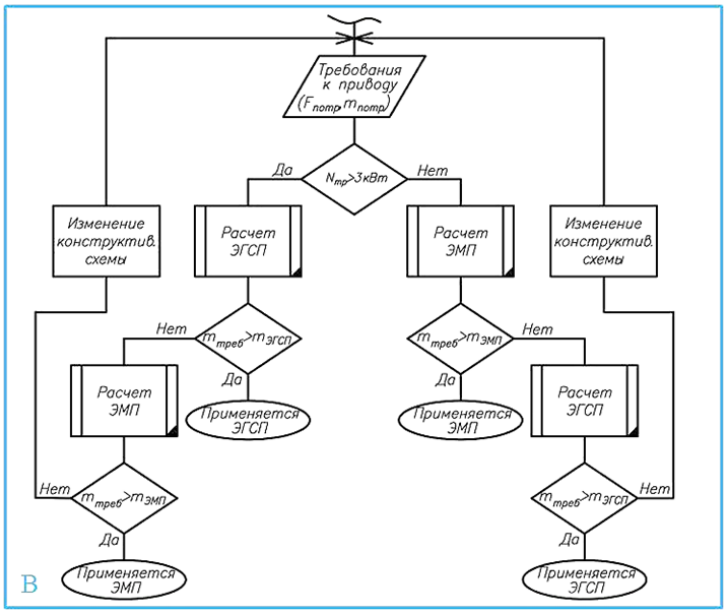


Рисунок 7.
Блок В

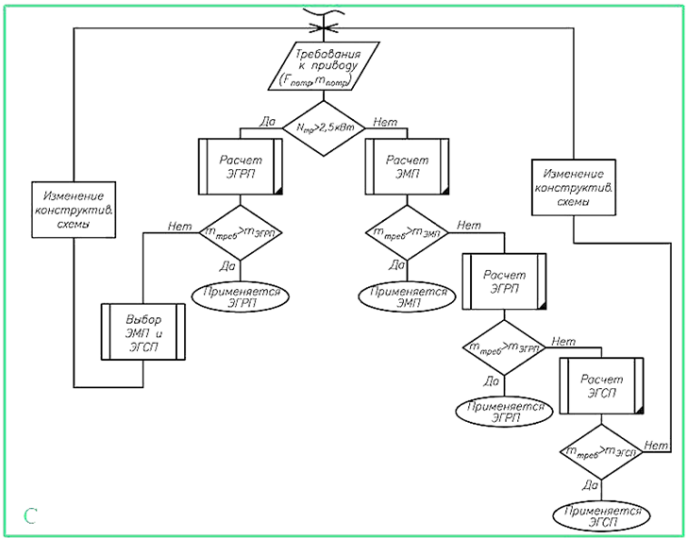


Рисунок 8.

Блок С

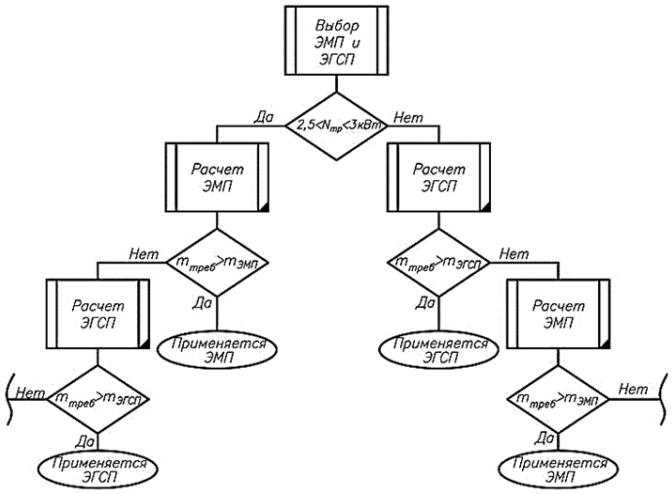


Рисунок 9.

Блок-схема подпрограммы выбора ЭМП и ЭГСП

$N_{ЭМП} = N_{ном} \cdot \eta_{ЭД} \cdot \eta_{р}$ (кг) (5)

где $N_{ном}$ – мощность двигателя, кВт;

$\eta_{р}$ – КПД редуктора;

$\eta_{ЭД}$ – КПД электродвигателя.

Для электрогидростатического привода:

$m_{ЭГСП} = m_{насос} + m_{гц} + m_{эд} + m_{БУ} + m_{корп} + + m_{ДОС}$(кг); (6)

где $m_{ЭГСП}$ – масса ЭГСП, кг;

$m_{насос}$ – масса насоса, кг;

$m_{гц}$ – масса гидроцилиндра, кг;

$m_{эд}$ – масса электродвигателя, кг;

$m_{БУ}$– масса блока управления, кг;

$m_{корп}$ – масса корпуса, кг;

$m_{ДОС}$ – масса датчика обратной связи, кг.

Располагаемая мощность привода равна:

$N_{ЭГСП} = N_{эд} \cdot \eta_{эд} \cdot \eta_{гц} \cdot \eta_{насос}$(Вт); (7)

где $N_{эд}$ – мощность электродвигателя, Вт;

$\eta_{эд}$ – КПД электродвигателя;

$\eta_{гц}$ – КПД гидроцилиндра;

$\eta_{насос}$ – КПД насоса.

Для гидравлического привода:

$m_{ЭГРП} = m_{ГУ} + m_{ГЦ} + m_{корп}$(кг); (8)

где $m_{ГУ}$ – масса гидроусилителя, кг;

$m_{ГЦ}$– масса гидроцилиндра, кг;

$m_{корп}$ – масса корпуса, кг.

Располагаемая мощность ЭГРП:

$N_{ЭГРП} = N_{max} \cdot \eta_{ГЦ} \cdot \eta_{ГУ}$(кг); (9)

где N_{max} – требуемое усилие;

$\eta_{ГУ}$– КПД гидроусилителя;

$\eta_{ГЦ}$ – КПД гидроцилиндра.

ВЕРИФИКАЦИЯ МЕТОДИКИ ВЫБОРА ТИПА ПРИВОДА

Для подтверждения достоверности разработанной методики, произведем сравнение рассчитанного по методике привода с устанавливаемым на существующий ЛА приводом, используя одинаковые исходные данные. Сравним привод руля направления F-35, так как архитектура силовой части системы управления тяжелого беспилотного летательного аппарата не отличается от самолетной. Исходные данные представлены в таблице 6.

Таблица 6.

Требования к приводу

Характеристика	Значение
Масса не более (кг)	45
Потребное усилие привода (кН)	55
Скорость выходного звена (м/с)	0,085
Ход выходного звена (мм)	100

Зная массу ЛА, в нашем случае 24350 кг, выполняется условие m>1500 кг. Поскольку в данном ЛА отсутствует ЦГС, то использование ЭГРП невозможно.

Требования к приводу состоят из максимально допустимой массы, потребного усилия, необходимого ход выходного звена.

Для преобразования потребного усилия в потребную мощность, используем скорость привода:

$$N_{\text{треб}} = F \cdot V_{\text{привода}} = 55000 \cdot 0{,}085 = 4675 \text{ (Вт)}; \quad (10)$$

Так как полученное значение больше 3 кВт, то с точки зрения веса, применяется ЭГСП. Следующим этапом является расчет и нахождение массы привода.

$$m_{\text{ЭГСП}} = m_{\text{насос}} + m_{\text{гц}} + m_{\text{эд}} + m_{\text{БУ}} + m_{\text{корп}} + m_{\text{ДОС}} = 42{,}3 \text{ (кг)}; \quad (11)$$

где $m_{\text{БУ}}$ = 2 кг – масса блока управления;

$m_{\text{корп}}$ = 3 кг – масса корпуса;

$m_{\text{ДОС}}$ = 0,2 кг – масса датчика обратной связи.

Располагаемая мощность привода равна:

$$N = N_{\text{эд}} \cdot \eta_{\text{эд}} \cdot \eta_{\text{гц}} \cdot \eta_{\text{насос}} = 4{,}8 \text{(кВт)}; \quad (12)$$

Развиваемое усилие:

$$R = \frac{N}{V_{\text{пр}}} = 56{,}4 \text{(кН)}; \quad (13)$$

В таблице 7 показаны результаты расчета по разработанной методике, рассчитанный привод по типу не отличается от установленного на самолет, полностью отвечает поставленным требованиям, следовательно, методика достоверна.

Таблица 7.

Сравнение приводов

Параметр	Привод F-35	Привод выбранный и рассчитанный по методике
Тип привода	ЭГСП	ЭГСП
Развиваемое усилие, кН	56,5	56,4
Мощность, кВт	4,8	4,8
Масса привода, кг	41,8	42,3
Скорость выходного звена (м/с)	0,085	0,085

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье была разработана методика выбора типа привода на основе проведенного сравнительного анализа с использованием выбранных критериев оценки приводов. Проведена верификация разработанной методики на примере самолета F-35.

Разработанная методика может применяться при предварительном проектировании в части оценки веса силовой части системы управления, оценки энергетических потребностей при проектировании гидравлической системы и системы электроснабжения.

Список литературы:

1. *Бандурин Н.В., Ширяев Д.В., Оболенский Ю.Г., Полковников В.А.,* Сравнительный анализ рулевых приводов маневренного самолета по энергетическим критериям, – 2011 г.

2. *Донченко А. М., Хавроничев С. В.,* Выбор электрического привода и определение его динамических свойств, – 2007 г.

3. Гидрогазовые системы ЛА, МАИ, Москва 1983 г.

4. Aerospace actuators 2 – Jean-Charles Maré, 2017 г.

УДК 608.4

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ЛИНЕЙНЫХ И УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ КРУПНОГАБАРИТНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ТЕЛЕСКОПОВ В ПРОЦЕССЕ ИХ ОРБИТАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

ОРЕШЕЧКИН С.С.

Публичное акционерное общество «Красногорский завод им. С.А. Зверева», г. Красногорск
3-я научная рота Космических войск Воздушно-космических сил РФ

E-mail: oreshechkin@rambler.ru

Аннотация: *В данной статье рассматриваются основные дестабилизирующие факторы, вызывающие взаимное смещение оптических элементов и изменение некоторых характеристик космического телескопа в процессе его орбитальной эксплуатации, меры ограничения их воздействия и принципы построения систем контроля линейных и угловых перемещений оптических элементов космических телескопов как основного средства сохранения характеристик качества получаемых изображений.*

Ключевые слова: оптико-электронная аппаратура, дистанционное зондирование Земли, служебные системы, автоматическая юстировка.

METHODS OF CONTROL OF LINEAR AND ANGULAR DISPLACEMENTS OF OPTICAL ELEMENTS OF LARGE-SIZE SPACE TELESCOPES DURING THEIR ORBITAL OPERATION

ORESHECHKIN S.S.

PJSC «Krasnogorsky plant him S.A. Zvereva», Krasnogorsk

E-mail: oreshechkin@rambler.ru

Abstract: *This article discusses the main destabilizing factors that cause mutual displacement of optical elements and changes in some characteristics of the space telescope during its orbital operation, measures to limit their impact and the principles of construction of control systems for linear and angular displacements of optical elements of space telescopes as the main means of maintaining the quality characteristics of the images.*

Keywords: optoelectronic equipment, remote sensing of the Earth, service systems, automatic adjustment.

ВВЕДЕНИЕ

Целью данной работы является описание возможных методов контроля взаимных смещений зеркал в космических телескопах и юстировки оптических элементов в автоматическом режиме.

Решаемые в ходе выполнения работы задачи:

– анализ служебных систем на отечественных и зарубежных космических телескопах;

– аналитический обзор схемотехнических решений контроля положения линейных и угловых смещений зеркал космических телескопов в автоматическом режиме;

– разработка структурных схем систем контроля линейных и угловых смещений оптических элементов;

– разработка функциональных схем систем контроля взаимных смещений зеркал космических телескопов в процессе их орбитальной эксплуатации.

Основополагающими документами, определяющими направления развития российской космической системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), являются: «Концепция развития российской космической системы дистанционного зондирования Земли на период до 2025 года», государственная программа «Космическая деятельность Российской Федерации», Федеральная космическая программа (ФКП) России. В соответствии с этими документами отечественная космическая система ДЗЗ развивается по следующим основным направлениям:

– наращивание количественного и качественного состава российской орбитальной группировки ДЗЗ;

– создание и развитие приборного ряда целевой аппаратуры для оснащения космических аппаратов (КА) ДЗЗ;

– совершенствование наземной космической инфраструктуры приема, обработки, хранения и распространения данных ДЗЗ;

– совершенствование нормативной правовой базы в области ДЗЗ из космоса.

ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИЕ ФАКТОРЫ, ВОЗДЕЙСТВУЮЩИЕ НА КОСМИЧЕСКИЙ ТЕЛЕСКОП

Одним из наиболее актуальных и перспективных направлений развития оптического приборостроения является разработка космических телескопов, предназначенных для дистанционного зондирования Земли. Специфическими особенностями таких телескопов являются значительные размеры, как оптических элементов, так и линейного поля в пространстве изображений, что приводит к высокой чувствительности этих телескопов к воздействию эксплуатационных факторов и обуславливает появление наведенных ими аберраций - в первую очередь комы децентрировки и меняющихся по полю астигматизма и дефокусировки.

Из наиболее существенных дестабилизирующих факторов можно указать следующие:

• силовые и вибродинамические воздействия на телескоп в процессе вывода его на орбиту, приводящие к изменению микронеровностей в стыках;

• отсутствие силы тяжести на орбите, вызывающее перераспределение напряжений и деформаций конструкции, обусловленных силами тяготения, действовавшими на телескоп во время юстировки;

• ионизирующие излучения естественных радиационных поясов Земли и космических лучей, которые могут воздействовать на материалы оптических деталей, их покрытия и на характеристики фотоэлектронных устройств;

• изменение температуры и температурные перепады на элементах конструкции, вызывающие термодеформации.

В связи с этим, при создании космических телескопов предпринимается целый ряд мер для ограничения вредного влияния дестабилизирующих воздействий на него. Например, в качестве конструкционных материалов применяются наиболее легкие, жесткие и термостабильные сплавы и композиты. Однако эти меры не в состоянии полностью предохранить телескоп от температурных деформаций.

Для восстановления характеристик качества оптической системы и поддержания их на требуемом уровне за счет контроля и корректировки взаимного положения оптических элементов в течение всего срока активного существования космического телескопа служат системы автоматической юстировки линейной (САЮЛ) и автоматической юстировки угловой (САЮУ).

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЮСТИРОВКИ

В основу построения систем юстировки и фокусировки положен принцип, предусматривающий измерение в режиме реального времени, либо перед каждым сеансом съемки, приобретенной в процессе эксплуатации разъюстировки и обеспечение ее ликвидации путем расчета и отработки соответствующих перемещений корректирующего элемента оптической системы.

Обычно, корректирующим элементом, предназначенным для компенсации разъюстировки объектива и тем самым восстанавливающим характеристики качества изображения, выбирается элемент оптической системы, смещения и развороты которого наиболее вероятны и сильнее всего влияют на волновые аберрации. В зеркальных и зеркально-линзовых схемах космических телескопов таким элементом является вторичное зеркало. Поэтому данное зеркало устанавливаются в узле с пятью приводами, обеспечивающими линейные перемещения зеркала вдоль трех взаимно перпендикулярных осей и его развороты вокруг двух из них.

За базовый элемент, обычно, принимается главное зеркало, качество которого на 90% определяет качество всей системы.

Требуемая точность системы автоматической юстировки, характеризуемая предельно допустимыми отклонениями элементов оптической схемы от своего номинального положения, определяется на стадии разработки оптической системы при расчете параметров влияния смещений и разворотов каждого элемента на характеристики качества изображений. Необходимая стабильность положения всех элементов оптической системы, кроме вторичного зеркала (корректирующего элемента), обеспечивается конструктивными мерами, поскольку они, как правило, размещаются вблизи главного зеркала и вместе с ним базируются на самом жестком несущем элементе конструкции.

Требуемые пределы измерения системы автоматической юстировки и расходы приводов для отработки возникающих рассогласований определяются предельно возможными смещениями и разворотами корректирующего элемента оптической системы в процессе эксплуатации телескопа, которые выявляются в результате жесткостных и тепловых расчетов конструкции.

В основу системы автоматической юстировки можно положить следующие методы:

- интерферометрический метод контроля волнового фронта от внешнего источника, например звезды;
- интерферометрический метод контроля положения оптических элементов от внутреннего источника излучения;
- метод, основанный на определении основных волновых аберраций объектива путем регистрации и обработки нескольких изображений произвольного объекта, формируемых несколькими зонами зрачка;
- автоколлимационный метод измерения смещений и разворотов корректирующего элемента.

ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ОТ ВНЕШНЕГО ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ

Для служебных систем космических телескопов возможен вариант построения интерферометрической системы контроля волнового фронта от внешнего источника излучения, например звезды. В этом случае телескоп наводится на звезду и плоский волновой фронт от точечного источника, удаленного в бесконечность, которым и является звезда, направляется в объектив телескопа и затем в интерферометр радиального или бокового сдвига, расположенный в фокальном узле. Интерференционная картина регистрируется фотоприемным устройством интерферометра и обрабатывается бортовой электронно-вычислительной машиной.

Этот метод имеет существенные недостатки, связанные с необходимостью большой затраты времени на проведение сеанса юстировки. Интенсивность интерференционной картины настолько мала, что при использовании современных фотоприемных устройств (ФПУ), построенных на основе применения матричных фотоэлектрических приборов с зарядовой связью (ФПЗС), необходимо большое время экспозиции (до 20 с), в течение которого требуется обеспечить высокую точность наведения

на звезду и стабильность положения оптической оси телескопа. Время проведения режима многократно увеличивается в связи с необходимостью регистрации интерферограмм, как минимум, в трех точках поля и, следовательно, троекратного наведения на звезду. За время проведения режима телескоп открытым зрачком обращен в космос, вследствие чего он активно выхолаживается. Поэтому есть вероятность того, что к концу сеанса изменение формы рабочей поверхности главного зеркала из-за термодеформаций вызовет искажение волнового фронта, то есть в конце режима может контролироваться объектив не того качества, которое имеет место при съемках.

МЕТОД, ОСНОВАННЫЙ НА ОПРЕДЕЛЕНИИ ОСНОВНЫХ ВОЛНОВЫХ АБЕРРАЦИЙ ОБЪЕКТИВА ПУТЕМ РЕГИСТРАЦИИ И ОБРАБОТКИ НЕСКОЛЬКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРОИЗВОЛЬНОГО ОБЪЕКТА, ФОРМИРУЕМЫХ НЕСКОЛЬКИМИ ЗОНАМИ ЗРАЧКА

В основу системы автоматической юстировки может быть положен метод, основанный на определении основных волновых аберраций объектива (астигматизм, кома) путем регистрации и обработки нескольких изображений произвольного объекта, формируемых несколькими зонами зрачка.

В ходе обработки, в результате анализа взаимных смещений изображений одних и тех же деталей объекта на нескольких его изображениях выявляются поперечные аберрации, по которым вычисляются астигматизм, кома и требуемые смещения корректирующего элемента оптической схемы.

Преимущества этого метода заключаются в возможности работы полным зрачком в процессе наблюдения объекта съемки и в возможности проведения юстировки в режиме, приближающемся к режиму работы в реальном масштабе времени.

Недостатком является сильное влияние смазов изображения из-за его движения в фокальной плоскости на точность определения аберраций, а также флуктуации атмосферы, которые могут вносить искажение в волновой фронт.

Этот метод еще недостаточно разработан для успешного практического использования в реальном телескопе и требует большого объема проектно-конструкторских работ, макетирования и всесторонних испытаний на стендах.

АВТОКОЛЛИМАЦИОННЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ПОЛОЖЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ КОСМИЧЕСКОГО ТЕЛЕСКОПА

В настоящее время на космических телескопах реализованы и успешно работают системы автоматической юстировки с использованием автоколлимационного метода измерения смещений и разворотов корректирующих элементов схемы.

Рассмотрим пример на двухзеркальной оптической системе. Функциональная схема устройства угловых и линейных перемещений вторичного зеркала относительно главного зеркала приведена на рис. 1 и содержит датчик угловых перемещений, включающий:

– автоколлиматор (с узлами объектива, основного и резервного тестового источника, основного и резервного фотоприемного устройства;

– блок зеркал проекционных для главного зеркала, вторичного зеркала и третичного зеркала с элементами юстировки;

– базовый элемент вторичного зеркала (элемент локальной системы координат вторичного зеркала);

– базовый элемент третичного зеркала (элемент локальной системы координат третичного зеркала);

– базовый элемент главного зеркала (элемент локальной системы координат главного зеркала);

– блок автоматической юстировки.

В фокальной плоскости автоколлиматора устанавливается тестовый источник и фотоприемное устройство (ФПЗС-матрица) – анализатор автоколлимационных изображений тестового источника.

Поле изображения условно разбито на 3 зоны, как показано на рис. 2.

Измерители система автоматической юстировки угловой (САЮУ) и система автоматической юстировки линейной (САЮЛ) устроены практически одинаково и различаются только конструкцией блока светораспределительно-

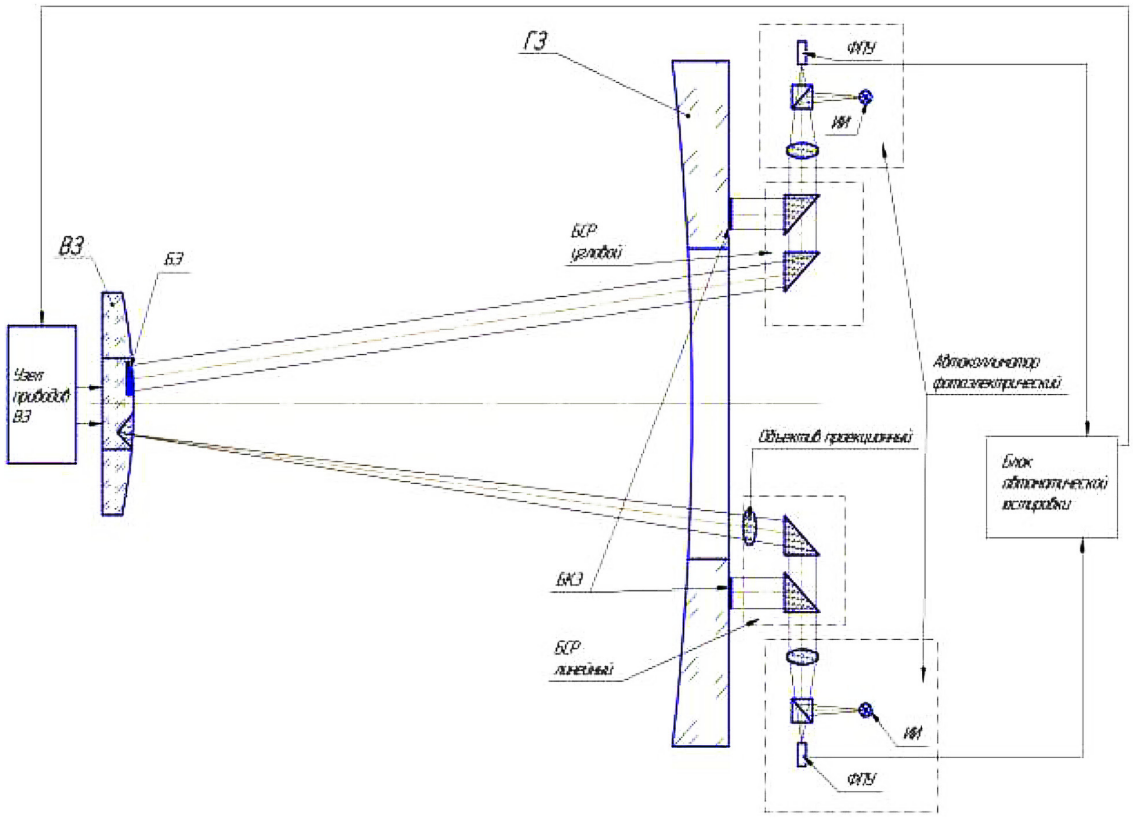


Рисунок 1.
Функциональная схема устройства контроля линейных и угловых перемещений оптических элементов

го (БСР). В обоих случаях БСР представляет собой нерасстраиваемый шести зеркальный блок, из которых 5 зеркал являются полупрозрачными. БСР располагается таким образом, что полупрозрачные зеркала направляют пучок излучения на базовые элементы (БЭ), расположенные на главном и вторичном зеркалах (ГЗ и ВЗ). Блок светораспределительный линейный (БСРЛ) отличается от блока светораспределительного углового (БСРУ) тем, что в его корпусе после зеркальной пластины в ходе пучка, направляемого на БЭ, установлена линза, фокальная плоскость которой проходит через вершину зеркального триэдра. Таким образом, на зеркальный триэдр направляется сходящийся пучок, и линза БСРЛ совместно с объективом автоколлиматора работают на конечное расстояние, как визирная труба, с увеличением, равным отношению фокусных расстояний линзы и объектива автоколлиматора.

Автоколлиматоры через свои БСР направляют пучки излучения на базовые элементы ВЗ и на базовый контрольный элемент одновременно (базовый контрольный элемент (БКЭ) – базовый элемент, расположенный на ГЗ).

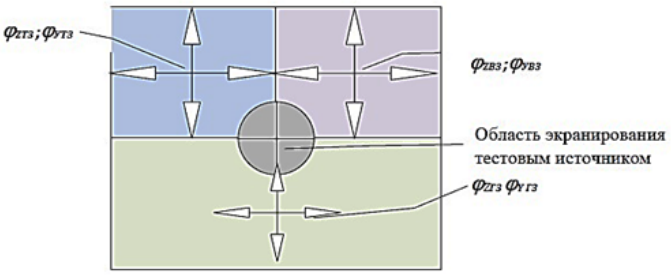


Рисунок 2.
Зоны поля изображения тестового источника

Отраженное контрольными элементами излучение направляется зеркалами БСР в объектив коллиматора, который формирует на фоточувствительной поверхности ФПУ автоколлимационные изображения (АКИ), получаемые от базовых элементов и БКЭ. Поскольку БЭ линейный материализует жестко связанную с ВЗ точку, а БЭ угловой – ось ВЗ, соответствующие АКИ характеризуют положение и угловую ориентацию ВЗ относительно ГЗ. Поэтому изменения разностей координат центров АКИ от базового элемента ВЗ и БКЭ являются мерой смещений и разворотов ВЗ относительно ГЗ.

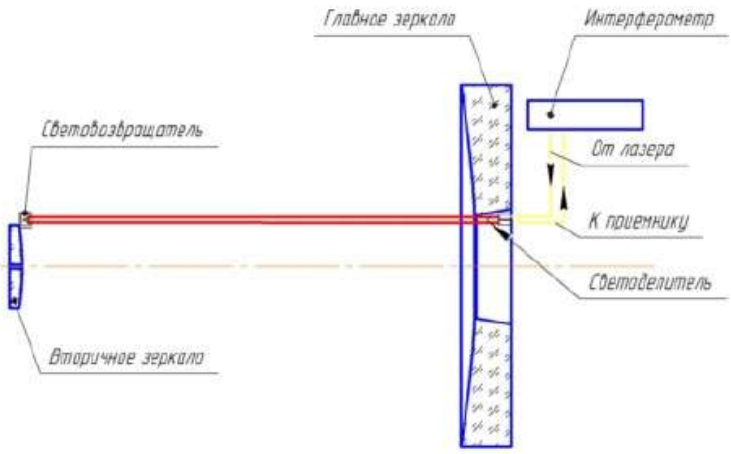


Рисунок 3.
Принципиальная схема интерферометрического контроля взаимного положения зеркал

Для каждого АКИ на фоточувствительной площадке ФПУ с помощью программных средств выделяется своя зона, как показано на рисунке 2. Разведение АКИ по своим зонам обеспечивается при юстировке БСР путем придания заранее рассчитанных небольших установочных углов наклона пучкам, выходящим из БСР, за счет соответствующих разворотов зеркал.

Блок автоматической юстировки (БАЮ) принимает и преобразовывает в цифровой массив выходные сигналы ФПУ, фоточувствительные зоны которых расположены в фокальных плоскостях автоколлиматоров. Массивы цифровой информации содержат координаты пикселов ФПУ, занятых АКИ, и значения энергии излучения, накопленной в каждом пикселе за время экспозиции, в единицах младшего разряда АЦП. БАЮ осуществляет обработку массива выходной информации, в результате которой определяются координаты энергетических центров АКИ, разности координат центров АКИ от БЭ ВЗ и КБЭ, углы разворотов и линейные смещения ВЗ относительно ГЗ.

Конструкция измерителей САЮ обеспечивает измерение смещений и разворотов ВЗ относительно ГЗ, не внося в результаты погрешностей, связанных с малыми возмущениями, влияющими на положение автоколлиматора и БСР, которые могут иметь место в процессе эксплуатации. Это обеспечивается нерасстраиваемой конструкцией автоколлиматора, конструкцией БСР и использованием паспортных параметров (разность координат АКИ, полученных в результате юстировки), которые являются информацией об оптимальном взаимном положении ВЗ и ГЗ.

Данный метод измерения смещений и разворотов корректирующих элементов схемы в настоящее время широко используется на многих зарубежных крупногабаритных космических телескопах.

ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ПОЛОЖЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ОТ ВНУТРЕННЕГО ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ

В основу системы автоматической юстировки может быть положен интерферометрический метод контроля положения оптических элементов. Интерферометрическая система контроля положения зеркал может работать в режиме реального времени, что уже делает данную систему перспективной. Также микронная и субмикронная погрешность измерений расстояния в несколько метров может быть достигнута только интерферометрическим способом.

В силу того, что на крупногабаритных космических телескопах необходимо контролировать большой диапазон перемещений оптических элементов (порядка 10 мм), нужно использовать либо многочастотную, либо частотно модулированную схему интерферометра.

Ввиду большого числа контролируемых точек, наиболее приемлемой представляется частотно-модулированная схема. Принципиальная схема измерения показана на рис. 3.

На каждом зеркале располагается по 3 световозвращателя. Соответственно, измерения в трех точках полностью определяют положение предмета в пространстве. Таким образом, производятся измерения длин трех отрезков от контрольного (главного) зеркала до ВЗ (и ТЗ при необходимости). И, произведя перерасчет длин в трех точках, можно определить угловую ориентацию зеркала в пространстве. Аналогичным образом выполняется контроль положения третичного зеркала (в трехзеркальной схеме) и компоновочного зеркала, а также узла фокального.

Производить измерения можно по классической схеме интерферометра Майкельсона – рисунок 4. Излучение когерентного источника делится на две части, и проходит два различных участка пути, или плеча интерферометра. Одно плечо, называемое опорным, фиксировано, оптический путь в нем постоянен. Второе плечо, измерительное, оптический путь в нем изменяется. На детекторе регистрируется интерференционный сигнал:

$$I = I1 + I2 + I1I2\,cos(\varphi),$$

где *I*1 и *I*2 – интенсивности излучения опорного и измерительного плеч соответственно. Здесь – разность фаз двух плеч, прямо пропорциональная разности длин измерительного и опорного плеч:

$$\varphi = 2\pi n2L/\lambda,$$

где *n* – показатель преломления среды, в которой происходят измерения, *λ* – длина волны света, и *L* – разность длин.

Излучение от интерферометра проходит путь по оптоволокну до светоделителя, расположенного в отверстии главного зеркала, который разбивает излучение на два пучка. Один идет к световозвращателю, установленному на вторичном зеркале – это измерительное плечо, а второй к световозвращателю, установленному на внутренней корпусной части телескопа – это опорное плечо.

Главное требование заключается в том, чтобы световозвращатель для опорного плеча был установлен на длине, точно соответствующей длине отрезка от главного зеркала (светоделителя) до вторичного зеркала.

Таким образом, зная разность фаз в интересующий момент времени, можно определить разность оптических путей измерительного плеча относительного опорного. Однако непосредственной измеряемой величиной является интенсивность, поэтому для определения расстояния необходим метод восстановления фаз из измеренных значений интенсивности света на детекторе. Для восстановления значений фаз можно использовать метод, основанный на преобразовании Гильберта.

Преобразование Гильберта произвольного сигнала s(t) может быть определено при помощи прямого и обратного преобразований Фурье:

$$H[s(t)] = F^{-1}[F[s(t)]H[\omega]'$$

где *F* и F^{-1} – прямое и обратное преобразование Фурье,

H[ω] – функция Гильберта:

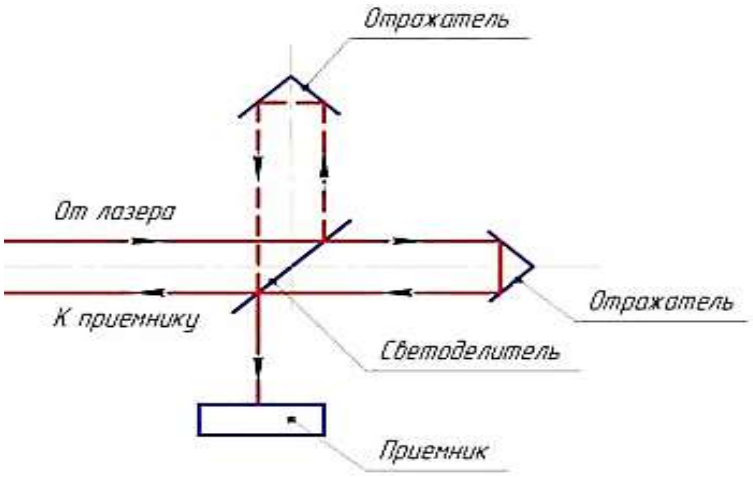


Рисунок 4.
Оптическая схема интерферометра Майкельсона

$$H[\omega] = -isgn(\omega),$$

$$sgn(\omega) = \begin{cases} -1, \omega < 0 \\ 0, \omega = 0 \\ 1, \omega > 0 \end{cases}$$

Преобразование Гильберта обладает следующим полезным свойством. Если сигнал имеет вид:

$$s(t) = b(t)\cos[\varphi(t)],$$

где $b(t)$ – медленно меняющаяся огибающая высокочастотного сигнала $\varphi(t)$, так что спектр $b(\omega)$ заведомо более низкочастотный и не пересекается со спектром $\varphi(\omega)$, то:

$$H[s(t)] = H[b(t)\cos[\varphi(t)]] = b(t)\sin[\varphi(t)].$$

Интенсивность интерференционного сигнала на детекторе:

$$I = I_1 + I_2 + I_1 I_2 cos(\varphi),$$

легко приводится к виду:

$$s(t) = a(t) + b(t)\cos[\varphi(t)],$$

где обе функции $a(t)$ и $b(t)$ – медленно меняющиеся по сравнению с фазой $\varphi(t)$.

Применяя фильтр высоких частот, мы убираем $a(t)$ и остается составляющая вида:

$$s'(t) = b(t)\cos[\varphi(t)].$$

Применяя к ней преобразование Гильберта, мы получим выражение:

$$H[s(t)] = H[b(t)\cos[\varphi(t)]] = b(t)\sin[\varphi(t)].$$

Таким образом, в результате можно выразить фазу φ через отношение:

$$\varphi(t) = \operatorname{atan}\left(\frac{H[s'(t)]}{s'(t)}\right).$$

Есть несколько важных условий применимости преобразования Гильберта для восстановления фазы. Во-первых, фаза должна меняться монотонно, как, например, в схеме с частотно-модулированным источником излучения. Во-вторых, направление изменения фазы должно быть известно, что также выполнимо при плавном контролируемом изменении частоты источника.

Недостатком является значительное время измерений, необходимое для цикла модуляции частоты. При наличии в системе вибраций это может приводить к изменению измеряемого расстояния в процессе модуляции, и, как следствие искажению результатов измерения.

Стоит отметить, что при использовании интерферометрического метода контроля положения зеркал, предварительная оценка подтверждает погрешность измерения расстояний между зеркалами не хуже 0,5 мкм в режиме реального времени с низкой чувствительностью к вибрациям.

Однако существует ряд недостатков. Во-первых, для контроля положения нескольких зеркал понадобится либо несколько интерферометров, либо один крупногабаритный интерферометр. В связи с чем, возникнут трудности с обработкой результатов. Если использовать один интерферометр с несколькими приемниками излучения и несколькими источниками излучения, необходимо разработать сложный, с технической точки зрения, электронно-вычислительный комплекс, который будет обрабатывать результаты измерений и подавать сигнал для устранения рассогласований. Во-вторых, данный метод еще недостаточно изучен и для его использования необходимо провести ряд работ – исследовательских, конструкторских, макетирование, испытания в лабораторных условиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты научной работы:

1. Проведен анализ служебных систем на отечественных и зарубежных космических телескопах;

2. Осуществлен аналитический обзор схемотехнических решений контроля положения линейных и угловых смещений зеркал космических телескопов в автоматическом режиме;

3. Разработаны функциональные схемы автоколлимационного и интерферометрического метода контроля взаимных смещений зеркал космических телескопов в процессе их орбитальной эксплуатации;

4. Разработаны структурные схемы автоколлимационного и интерферометрического метода контроля линейных и угловых смещений оптических элементов для космических телескопов.

Список литературы:

1. Пояснительная записка эскизного проекта «Севан», 2018 – 84 с.

2. *Запрягаева Л.А., Свешникова И.С.* Расчет и проектирование оптических систем: Учебник для вузов – М.: Логос, 2000. - 584 с.

3. *Бакланов А.И.* Системы наблюдения и мониторинга: учебное пособие / А.И. Бакланов. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 234 с.

4. *Батраков А.С., Анатольев А.Ю.* Математическая модель для прогнозирования линейного разрешения космических оптико-электронных систем дистанционного зондирования. Оптический журнал, том 67, №7, 2000, с. 92 – 99.

5. *Заказнов Н.П., Кирюшин С.И., Кузичев В.И.* Теория оптических систем. М.: Машиностроение, 1992. – 447 с.

6. Космическая оптика: Труды IX Международного конгресса Международной комиссии по оптике / Пер. с англ. А.В. Фролов; ред. В.К. Аблеков. М.: Машиностроение, 1980. – 194 с.

7. *Мельканович А.Ф.* Фотографические средства и их эксплуатация. Л.: МО СССР, 1984. – 364 с.

8. Справочник конструктора оптико-механических приборов/В. А. Панов, М. Я. Кругер, В. В. Кулагин и др.; Под общей ред. В. А. Панова. Л.: Машиностроение, 1980. – 571 с.

УДК 608.4

российский индекс научного цитирования Science Index

КОНТРОЛЬ ФОРМЫ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛНОВЫХ ФРОНТОВ МЕТОДОМ ГАРТМАНА И ШАКА-ГАРТМАНА

ОРЕШЕЧКИН С.С.

Публичное акционерное общество «Красногорский завод им. С.А. Зверева», г. Красногорск
3-я научная рота Космических войск Воздушно-космических сил РФ

E-mail: oreshechkin@rambler.ru

Аннотация: *В данной статье рассматриваются принципы контроля волновых фронтов оптических деталей космических телескопов для систем дистанционного зондирования Земли методом Гартмана и Шака-Гартмана. Рассмотрены основные достоинства и недостатки датчика Гартмана на основе многоэлементных амплитудных масок с аподизированными апретурами и датчика Шака-Гартмана. Приведено сравнение оптических характеристик амплитудных масок с резко ограниченными границами отверстий и полутоновых амплитудных масок, формирующих световые пятна на фотосенсоре в виде плавных быстрозатухающих функций.*

Ключевые слова: маски Гартмана, дифракционные кольца, дифракция света, волновой фронт.

CONTROL OF THE OPTICAL WAVE FRONTS BY HARTMANN AND SHACK-HARTMANN METHOD

ORESHECHKIN S.S.

PJSC «Krasnogorsky plant him S.A. Zvereva», Krasnogorsk

E-mail: oreshechkin@rambler.ru

Abstract: *This article discusses the principles of control of the wave fronts of optical parts of space telescopes for Earth remote sensing systems by Hartmann and Shack-Hartmann. The main advantages of the Hartmann sensor based on multi-element amplitude masks with apodized apertures and Shack-Hartmann sensor are considered. The comparison of the optical characteristics of amplitude masks with sharply limited boundaries of holes and halftone amplitude masks forming light spots on the photosensor in the form of smooth fast-fading functions is presented.*

Keywords: Hartmann masks, diffraction rings, diffraction of light, wave front.

ВВЕДЕНИЕ

Целью данной работы является описание контроля волновых фронтов оптических деталей космических телескопов методом Гартмана и Шака-Гартмана.

Решаемые в ходе выполнения работы задачи:

- сравнение классических датчиков Гартмана и датчиков Шака-Гартмана;
- анализ сканирующих датчиков Гартмана, датчиков Гартмана на основе многоэлементных амплитудных масок с аподизированными апертурами, оптимальных размеров масок Гартмана и Шака-Гартмана;
- разработка принципиальной схемы датчика Шака-Гартмана;
- анализ точности определения отклонений волнового фронта для датчиков Гартмана и Шака-Гартмана.

Контроль формы оптических волновых фронтов методом Гартмана и его разновидностью – методом Шака-Гартмана – является в настоящее время одним из наиболее простых и вместе с тем точных и эффективных средств. Аппаратное различие между этими методами состоит в использовании различных масок, устанавливаемых перед фотодетектором, выполненным в виде многоэлементной фоточувствительной матрицы.

В классических датчиках Гартмана маски представляют собой матрицы отверстий малого размера в непрозрачном экране. В датчиках Шака-Гартмана маски выполняются в виде микролинз с квадратной или круглой апертурами.

Достоинства датчиков Шака-Гартмана по отношению к датчикам Гартмана:

- предельно высокая световая эффективность;
- возможность реализации более плотной дифракционно-ограниченной упаковки микролинзовых элементов и достижение более высокого пространственного разрешения при однократной выборке оптического сигнала.

Достоинства датчиков Гартмана по отношению к датчикам Шака-Гартмана:

- более высокая точность вследствие повышенной точности контроля центроидов сфокусированных световых точек;
- более высокая степень локализации выборок элементов волнового фронта;

- отсутствие ошибок, вызванных дефектами и неодинаковостью характеристик микролинзовых элементов,

возможно достижение повышенного разрешения при детектировании волнового фронта путем дополнительных поперечно-смещенных микровыборок волнового фронта при его сканировании в пределах однотипных субэлементов боксов по площади рабочей апертуры.

Общее ограничение в методах Шака-Гартмана и Гартмана – ограничение на минимальные размеры апертуры элементов масок и, соответственно, ограничение на предельно реализуемую разрешающую способность и остаточные погрешности от перекрестных помех между оптическими каналами. Данные ограничение обусловлены, в первую очередь, дифракционными факторами и зависят от размеров и формы функции рассеяния точки отдельных апертур масок.

МЕТОД ГАРТМАНА

Метод Гартмана основан на законах геометрической оптики. Исследуемый волновой фронт разбивается на отдельные пучки, для каждого из которых определяется направление его распространения, которое соответствует локальному наклону исходного волнового фронта в данной точке. По локальным наклонам волнового фронта восстанавливается распределение фазы исследуемого волнового поля. Таков принцип работы классического метода Гартмана.

Важно отметить, что датчик Гартмана одинаково успешно работает как с когерентными, так и с некогерентными полями, и позволяет измерять волновые фронты, созданные практически любым источником излучения.

Модификация классического датчика Гартмана – сканирующий датчик Гартмана. Принцип таков: исследуемый волновой фронт падает на непрозрачный экран с отверстием. Излучение, прошедшее через отверстие, фокусируется при помощи линзы. Зарегистрировав положение светового пятна в фокальной плоскости линзы при помощи фотоприемника, можно определить локальный наклон волнового фронта на открытом участке апертуры пучка. Перемещая экран с отверстием в плоскости, перпендикулярной оптической оси системы, можно последовательно измерить локальные наклоны волнового фронта в каждой точке апертуры исследуемого светового пучка.

Сканирующий датчик Гартмана имеет принципиальное ограничение пространственного и углового разрешений. Попытки преодолеть это привели к созданию нелинейного сканирующего датчика Гартмана, в котором используется явление самофокусировки светового пучка в нелинейной среде. В пространство между линзой и ее фокальной плоскостью вносится среда с кубичной нелинейностью. Поперечные размеры пучка, прошедшего через нелинейную среду, уменьшаются, и в результате в фокальной плоскости линзы мы получаем световое пятно меньшего размера. Но нелинейный сканирующий датчик Гартмана применим только для световых пучков, мощность которых достаточна для возникновения самофокусировки.

Следует отметить, что сканирующие датчики Гартмана имеют существенно более высокий динамический диапазон, по сравнению с датчиком Шака-Гартмана.

Рассмотрим подробнее один из наиболее перспективных вариантов модификаций датчиков Гартмана – датчик Гартмана на основе многоэлементных амплитудных масок с аподизированными апертурами.

При резко ограниченной форме апертур масок Гартмана возникают эффекты оконтуривания световых пятен на фотосенсоре в виде паразитных дифракционных колец. Для частичного подавления уровня интенсивности данных колец может быть использован метод сглаживания резких переходов в распределениях пропускания по полю апертур маски, называемый методом аподизации.

Применительно к методу Гартмана, Полещук А.Г., Седухин А.Г., Трунов В.И. и Максимов В.Г., провели сравнение оптических характеристик амплитудных масок с резко ограниченными границами отверстий (бинарные маски Гартмана) и полутоновых амплитудных масок, формирующих световые пятна на фотосенсоре в виде плавных быстрозатухающих функций (аподизированные маски Гартмана):

Анализ оптимальных размеров масок Гартмана

Существует некоторый оптимальный диаметр диафрагмы, который согласно Гартману лежит в пределах между 1/200 и 1/400 фокусного расстояния. Этот минимум ограничивает не только размеры определимых зон зрачка, но и их количество.

Исходя из теории дифракции света, существует оптимальная величина радиального размера хорошо изолированных отверстий, которая обеспечивает получение минимального размера функции рассеяния при фиксированных значениях длины волны излучения λ и расстояния z от маски до плоскости фотоматрицы. Для относительно малых круглых отверстий (много меньшим первой зоны Френеля) радиус функций рассеяния при падении интенсивности до нуля, приближенно можно определить, как:

$$r_{\text{вых}1}^{(\text{Circ})} \approx 0,610\lambda z / r_{\text{вх}}^{(\text{Circ})} .$$

При больших отверстиях (много большим первой зоны Френеля), радиус функций рассеяния при падении интенсивности до уровня 10 %, приближенно можно определить, как:

$$r_{\text{вых}2}^{(\text{Circ})} \approx r_{\text{вх}}^{(\text{Circ})} + 0,861\sqrt{\lambda z} .$$

Для общего случая резко ограниченных круглых отверстий произвольного радиуса:

$$r_{\text{вых}}^{(\text{Circ})} \approx \sqrt{\left[r_{\text{вых}1}^{(\text{Circ})}\right]^2 + \left[r_{\text{вых}2}^{(\text{Circ})}\right]^2} =$$

$$= \sqrt{\left[r_{\text{вх}}^{(\text{Circ})}\right]^2 + \frac{0,3721\lambda^2 z^2}{\left[r_{\text{вх}}^{(\text{Circ})}\right]^2} + 1,722\sqrt{\lambda z}\, r_{\text{вх}}^{(\text{Circ})} + 0,7413\lambda z} .$$

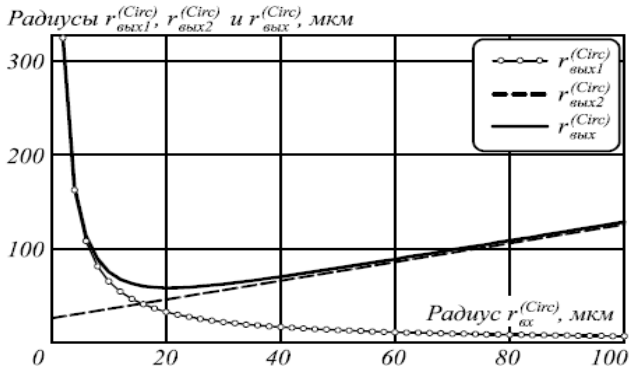


Рисунок 1.
Графики функций, связывающих радиусы резко ограниченных, хорошо изолированных, круглых входных отверстий в маске Гартмана и радиусы выходных пучков на фотосенсоре

На рис. 1 показаны графики функций, построенных по этим уравнениям при z = 2 мм и λ = 532 нм.

Из них видно, что результирующая функция имеет некоторый минимум, который можно вычислить методом итераций. Было найдено, что оптимальный радиус отверстия с минимальной функцией рассеяния при z = 2 мм и λ = 532 нм составляет 25,4 мкм. Для иллюстрации вариаций масштаба и формы профилей интенсивности функции рассеяния на рис. 2 сплошными линиями показаны графики этих функций для трех размеров отверстий, равных соответственно половине от оптимального (12,7 мкм), оптимальному (25,4 мкм) и удвоенному оптимальному (50,8 мкм). Линиями в виде точек показаны соответствующие распределения интенсивности непосредственно за маской. В качестве второго, исследованного в этой работе типа масок, была полутоновая маска с аподизированным Гауссовым профилем пропускания круглых отверстий:

$$T(r) = \exp\left\{-2r^2 / \left[r_{\text{вх}}^{(\text{Gauss})}\right]^2\right\} .$$

Если осветить такую маску плоской волной, то на ее выходе будет имитироваться фундаментальный Гауссов пучок с комплексной амплитудой:

$$A(r) = \exp\left(-kr^2 / 2(Z + iz)\right) / (1 + iz / Z) .$$

Интенсивность пучка в произвольной плоскости z будет изменяться по закону:

$$I(r) \equiv \left|A(r)\right|^2 = \frac{\exp\left[-kZr^2 / \left(Z^2 + z^2\right)\right]}{\left(1 + z^2 / Z^2\right)} .$$

Оптимальный радиус пучка в перетяжке, который для заданной λ и на заданном расстоянии z обеспечивает минимальную величину радиуса пучка:

$$r_0^{(\text{Gauss})} = \sqrt{\lambda z / \pi} .$$

Соответственно, при λ = 532 нм и z = 2 мм, оптимальный радиус отверстия составляет 18,4 мкм.

Вывод из рис. 2: в пределах широкого центрального участка (при 0 ≤ r < 22 мкм) график функции рассеяния от оптимального круглого отверстия с радиусом 25,4 мкм и распределения интенсивности за маской с Гауссовым про-

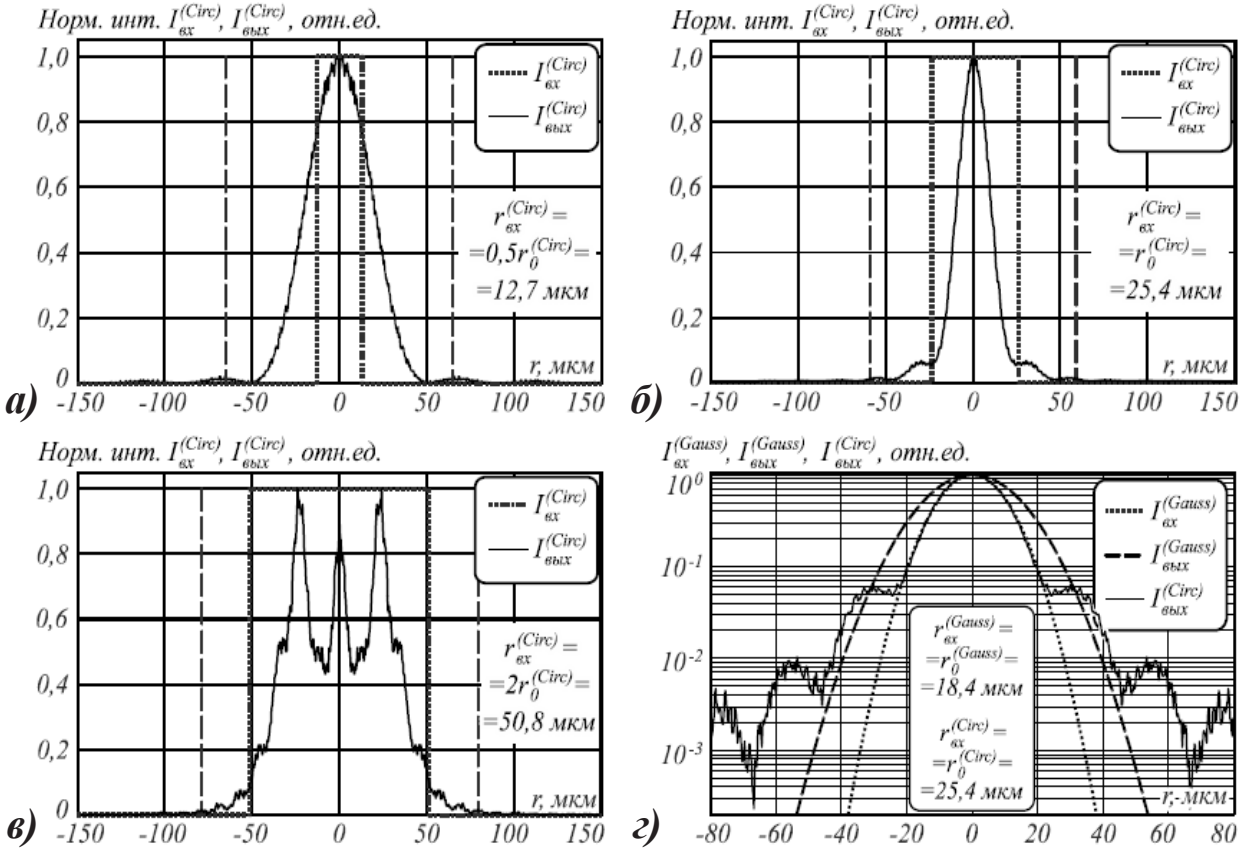


Рисунок 2.
Зависимости распределения входных и выходных световых интенсивностей для бинарной (а-в) и полутоновой (г) масок Гартмана (с одиночным отверстием)

пусканием при оптимальном радиусе отверстия 18,4 мкм практически совпадают. Таким образом, в данном режиме круглое отверстие с бинарным пропусканием можно рассматривать не только как микролинзу, но и как простейший преобразователь дискового распределения интенсивности в Гауссово.

По уровню падения интенсивности до 0,1% (приближенно по уровню одного бита интенсивности света, регистрируемого фотосенсором с 10-ти разрядным АЦП) полный размер функции рассеяния для маски с Гауссовым пропусканием составляет 48,4 мкм. Соответствующий размер для маски с бинарным дисковым пропусканием равен 65,6 мкм.

Интегральное пропускание света маской с Гауссовым пропусканием будет вчетверо меньше пропускания маски с бинарным дисковым пропусканием. Это указывает на то, что Гауссовы маски способны осуществлять более локализованную энергетическую выборку светового поля и обеспечивать, таким образом, более высокую разрешающую способность при сканирующем методе контроля волнового фронта. Имея выигрыш по существенно более высокой концентрации света в центральной (приосевой) области, маски с бинарным дисковым пропусканием проигрывают маскам с Гауссовым пропусканием по степени рассеяния света в периферийной области.

Диафрагмы Гартмана часто располагают в сходящемся пучке света вблизи фокуса телескопа (как это было сделано для космического телескопа «Т-170М»). Детектор света, расположенный по другую сторону от фокуса регистрирует систему пятен, по которой и восстанавливается информация о форме волнового фронта.

МЕТОД ШАКА-ГАРТМАНА

Попытки устранить недостатки метода Гартмана привели к созданию ряда его модификаций. Важнейшим из них является датчик Шака-Гартмана, в котором вместо диафрагмы используется растр из микролинз. Датчик Шака-Гартмана существенно превосходит клас-

сический датчик Гартмана по возможностям работы со световыми полями с низкой интенсивностью. Однако принципиальное ограничение углового и пространственного разрешения по-прежнему остаются. Так же датчик Шака-Гартмана имеет свой специфический недостаток – его динамический диапазон, т.е. диапазон наклонов волнового фронта, которые могут быть измерены с его помощью, сильно ограничен (если локальный наклон волнового фронта на какой-либо из микролинз таков, что соответствующее ему световое пятно в фокальной плоскости оказывается за пределами субапертуры, ограниченной размерами микролинзы, то определить, какому из участков волнового фронта соответствует данный наклон, становится затруднительно).

Принципиальная схема датчика Шака-Гартмана показана на рис. 3. В фокальной плоскости телескопа 2 расположен набор сменных диафрагм (одна из которых (1) показана). Далее расходящийся пучок от звезды проходит через светоделительный кубик 3 и попадает на коллиматор 4, который обеспечивает локализацию выходного зрачка в районе светофильтра 5 и микролинзового массива 6. ПЗС кристалл 7 расположен в фокусе микролинз. Система калибровки состоит из твердотельного лазера 8, работающего на длине волны 532 нм, рассеивающей линзы 9, зеркала 10, диафрагмы 11 и микрообъектива 12, который строит точку на таком же расстоянии от кубика, что и фокальная плоскость телескопа.

Благодаря наличию светоделителя в камеру подсмотра 14 с помощью перестраивающего объектива 13 можно наблюдать резкое изображение реальной звезды в фокальной плоскости, а также калибровочной звезды, построенной микрообъективом. В блоке сменных диафрагм имеются: (1) диафрагма размером 10 мм (для начальной установки звезды), (2) диафрагма размером 1 мм для точной установки звезды, (3) диафрагма размером 13 мкм для возможности абсолютной калибровке по естественной звезде.

Измерения проводятся следующим образом:

1) выполняется калибровка от лазерного источника излучения,

2) снимаются калибровочные кадры (темновой сигнал),

3) делается серия снимков гартманограмм от звезды,

4) для каждого кадра находятся смещения точек относительно калибровочных положений,

5) для каждого кадра выполняется пересчет измеренных смещений в локальные производные волнового фронта по направлению,

6) для каждого кадра выполняется аппрокси-

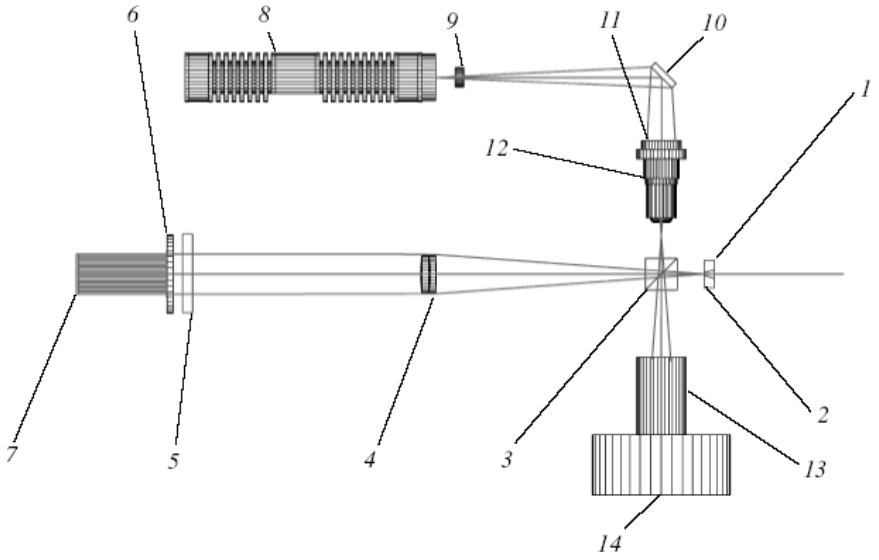


Рисунок 3.
Принципиальная схема датчика Шака-Гартмана

мация совокупности нормальных производных суммой полиномов Цернике. Максимальный порядок полиномов может варьироваться от 11 до 35 в зависимости от общего количества субапертур (пространственного разрешения),

7) выполняется усреднение полученных волновых фронтов по всем кадрам из серии,

8) делаются оценки полного и среднеквадратического отклонения волнового фронта,

9) с помощью двумерного Фурье-преобразования вычисляется функция рассеяния точки (ФРТ),

10) по синтетической ФРТ определяется концентрация энергии в круге.

Второй метод восстановления волнового фронта – двумерное дискретное Фурье-преобразование по заданному набору частот. Частоты по координатам X и Y (в системе координат прибора) выбираются с равномерным шагом от нуля до максимальной частоты, которая соответствует периоду в 5 субапертур. Шаг по частоте задается из расчета максимального количества информации, соответствующего полному количеству субапертур на гартманограмме. Этим методом не удается разделить отдельные аберрации (такие, как кома астигматизм или сферическая аберрация), однако он позволяет выявить более высокочастотные ошибки, по сравнению с разложением в ряд по полиномам Цернике.

Оба метода дают похожие результаты (по интегральным характеристикам, таким как полное отклонение волнового фронта, среднеквадратическое отклонение, а также концентрация энергии в изображении – методы дают отличия в пределах 20%) и могут рассматриваться как дополнение друг к другу.

На рис. 4 показан пример карт волнового фронта по вычислениям двумя способами для иллюстрации того, что они дают примерно одинаковый результат (видно, что метод с преобразованием Фурье дает более высокие пространственные частоты).

Потеря информации о высоких пространственных частотах при методе разложения по полиномам Цернике происходит из-за того, что количество точек, в которых происходит измерение наклона волнового фронта велико (250-1500 в зависимости от относительного отверстия измеряемого телескопа), в связи с чем не применяется усреднение полиномов Цернике по субапертурам, и, соответственно, производится аппроксимация большого количества точек всего 36 модами.

Очень важна стабильность датчика. Стабильность измерений связана, в основном, с механической жесткостью конструкции датчика.

Жесткость можно оценить из стабильности калибровки. Относительные колебания волнового фронта (как по общим наклонам, так и по

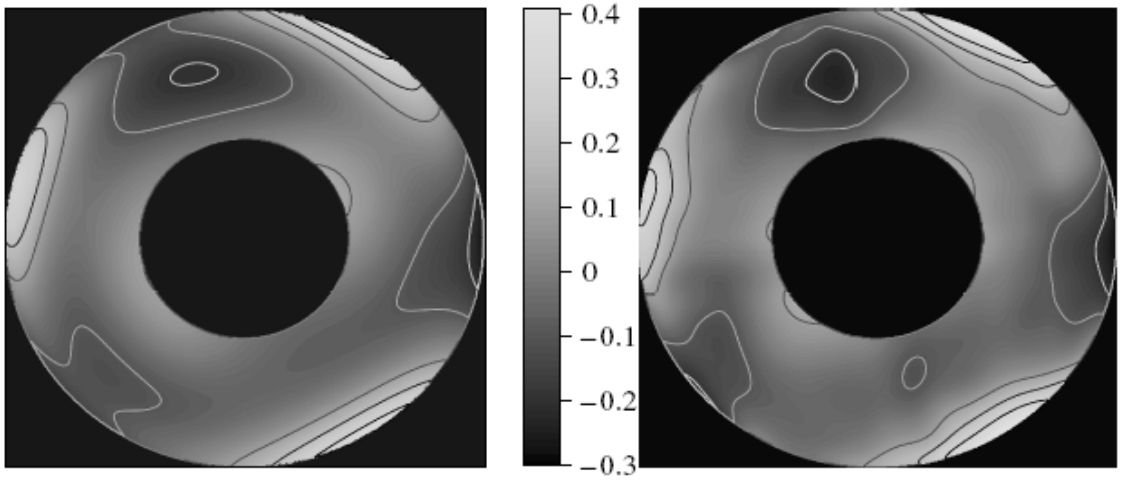


Рисунок 4.
Пример карт волнового фронта, восстановленных аппроксимацией 36 модами Цернике (слева) и дискретным Фурье-преобразованием (справа)

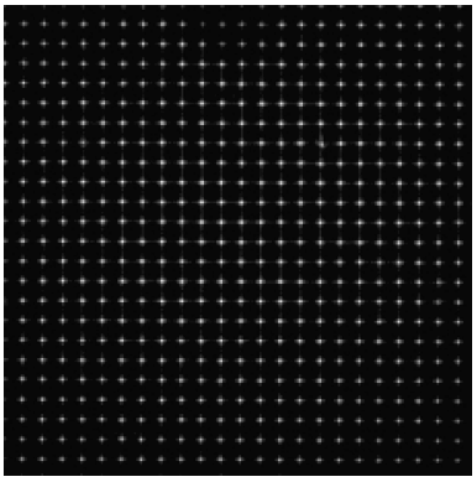


Рисунок 5.
Вид калибровочного кадра,
полученного с 5-мкм диафрагмой

модам более высокого порядка) не превышают абсолютную точность измерений. Для калибровочных кадров, когда нет возмущающих факторов, она составляет ≈λ/50.

Пример калибровочного кадра показан на рис. 5.

По итогам можно сделать выводы для датчиков Шака-Гартмана:

- точность определения отклонений волнового фронта на λ=532 нм, лучше, чем λ/10;
- абсолютная точность измерений составляет величину ≈λ/50 (для достижения необходимой точности необходимо усреднять сотни измерений);
- использование данных методик для исследования качества поверхностей зеркал позволяет получить качество изображений, близкое к дифракционному пределу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты научной работы:

1. Проведено сравнение классических датчиков Гартмана и датчиков Шака-Гартмана;
2. Проведен анализ сканирующих датчиков Гартмана, датчиков Гартмана на основе многоэлементных амплитудных масок с аподизированными апертурами, оптимальных размеров масок Гартмана и Шака-Гартмана;
3. Разработана принципиальная схема датчика Шака-Гартмана;
4. Проведен анализ точности определения отклонений волнового фронта для датчиков Гартмана и Шака-Гартмана.

Список литературы:

1. *Русинов М.М.* Габаритные расчёты оптических систем. М.: Госгеолтехиздат, 1963. – 573 с.

2. Запрягаева Л.А., Свешникова И.С. Расчет и проектирование оптических систем: Учебник для вузов – М.: Логос, 2000. - 584 с.

3. Бакланов А.И. Системы наблюдения и мониторинга: учебное пособие / А.И. Бакланов. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 234 с.

4. Справочник конструктора оптико-механических приборов/В. А. Панов, М. Я. Кругер, В. В. Кулагин и др.; Под общей ред. В. А. Панова. Л.: Машиностроение, 1980. – 571 с.

5. Заказнов Н.П., Кирюшин С.И., Кузичев В.И. Теория оптических систем. М.: Машиностроение, 1992. – 447 с.

6. Конспект лекций по курсу «компьютерные методы контроля оптики»: учебное пособие/ Г.Э. Романова, М.А. Парпин, Д.А. Серегин. – ИТМО, 2011 – *185 с.*

7. Мелькановић А.Ф. Фотографические средства и их эксплуатация. Л.: МО СССР, 1984. – 364 с.

УДК 608.2

РАЗРАБОТКА ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ВОЗВРАЩАЕМОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

ДОНЧЕНКО Д.В.

Публичное акционерное общество «Красногорский завод им. С.А. Зверева», г. Красногорск
3-я научная рота Космических войск Воздушно-космических сил РФ

E-mail: donchenko_den@mail.ru

Аннотация: *в данной статье представлены решения вопроса электроснабжения возвращаемого космического аппарата и результаты моделирования работы гибридной системы электроснабжения на этапе вывода космического аппарата с орбиты.*

Ключевые слова: система электроснабжения, блок суперконденсаторов, аккумуляторная батарея, математическое моделирование, алгоритмы работы ГСЭС, возвращаемый космический аппарат.

DEVELOPMENT OF A HYBRYD ELECTRICAL SUPPLY SYSTEM FOR RETURNABLE SPACE APPARATUS

DONCHENKO D.V.

PJSC «Krasnogorsky plant him S.A. Zvereva», Krasnogorsk

E-mail: donchenko_den@mail.ru

Abstract: *This paper represents development solutions to the issue of power supply of the returned spacecraft and the results of the simulation of the hybrid power supply system at the stage of the withdrawal of the spacecraft from orbit.*

Keywords: power-supply system, supercapacitor unit, rechargeable battery, mathematical modeling, HPSS operation algorithms, returned spacecraft.

ВВЕДЕНИЕ

Возвращаемый космический аппарат (ВКА) предназначен для возвращения экипажа и полезного груза с орбиты на поверхность Земли и обеспечения безопасности экипажа на всех этапах полёта космического аппарата. Для системы электроснабжения ВКА существует ряд особенностей, определённой циклограммой энергопотребления и конфигурацией космического аппарата; к одной из таких особенностей является необходимость в импульсных нагрузках токами силой свыше 30 А в течение небольшого промежутка времени (Т = 15 мс), направленных на подрыв пиросредств на этапе схода с орбиты и возвращения ВКА на Землю. Для реализации нагрузок, описываемых в циклограмме энергопотребления, и обеспечения требований безопасности в настоящее время используется система электроснабжения на основе литий – тионилхлоридных первичных электрохимических источников тока — одноразовая батарея, обладающая рядом недостатков, такими как одноразовость и низкий КПД батареи.

В качестве альтернативы одноразовой батареи предлагается использовать гибридную систему электроснабжения (ГСЭС), основанную на параллельной работе основного источника питания – литий – ионной аккумуляторной батареи (ЛИАБ), и блока суперконденсаторов (БС) для обеспечения мощных импульсных нагрузок. Структурная схема ГСЭС представлена на рисунке 1.1. Использование ГСЭС как основного источника электропитания ВКА позволит решит ряд существующих проблем, к которым относятся избыточные массо - габаритные характеристики, и предоставит возможность повторного использования ВКА после приземления (многоразовость системы).

ЛИТИЙ-ИОННАЯ АККУМУЛЯТОРНАЯ БАТАРЕЯ

В качестве основного источника питания предлагается использовать литий-ионную аккумуляторную батарею с феррофосфатным катодом для обеспечения надежности и оптимальной энергоёмкости батареи. Преимущества использования ЛИАБ в ГСЭС космического аппарата:

Энергетическая эффективность: Уменьшение размеров СБ

Отсутствие «Эффекта памяти»: Отсутствие операции «восстановления»

Модульность и гибкость: возможность после-

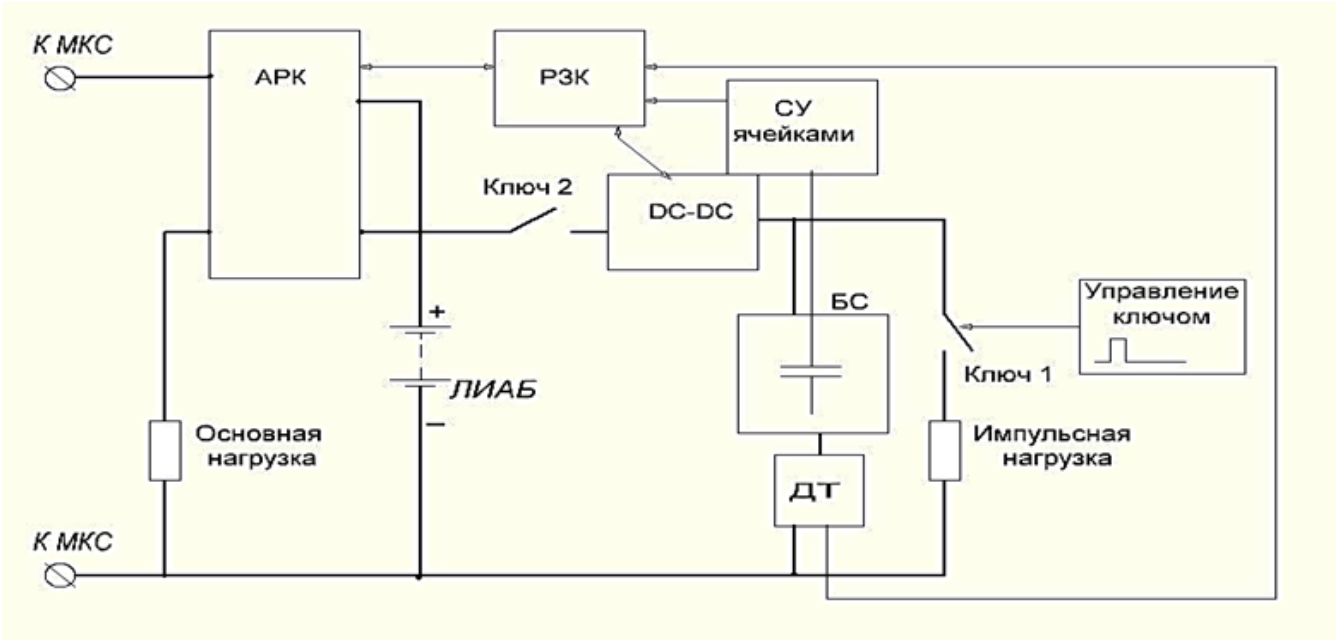


Рисунок 1.1.
Структурная схема ГСЭС

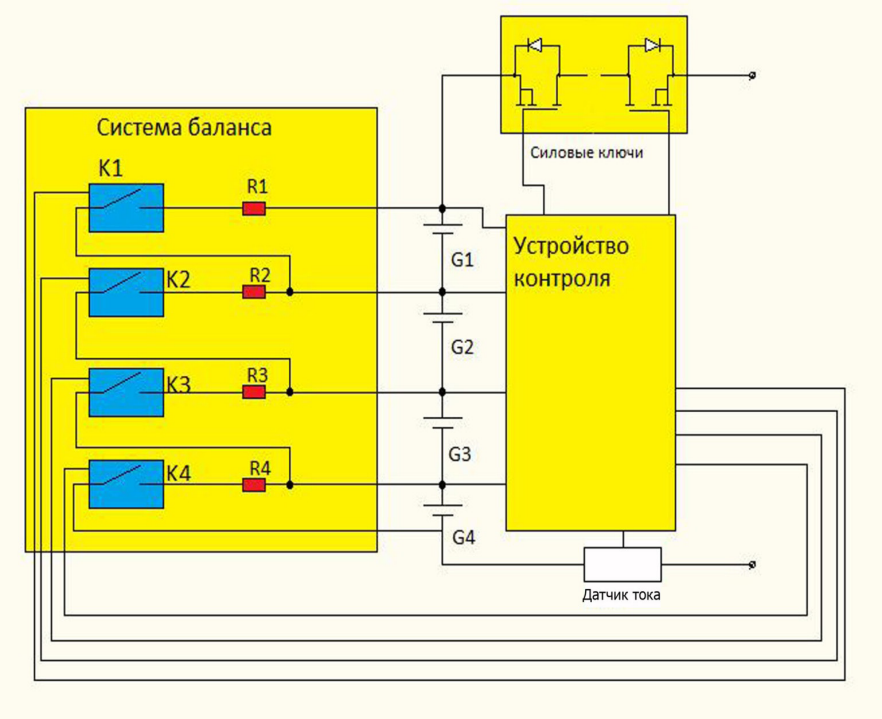


Рисунок 1.2.
Структурная схема системы баланса ЛИАБ

довательно и параллельного соединения.

К недостаткам ЛИАБ можно отнести необходимость балансировки батареи (выравнивания напряжения в аккумуляторах ЛИАБ). Для решения этой проблемы можно применить пассивную, автономную систему баланса, которую можно включить в состав ЛИАБ. Структурная схема такой системы представлена на рисунке 1.2.

Система баланса ЛИАБ работает следующим образом. При достижении порогового значения на одном из блоков аккумуляторов G1 – G4 в устройство контроля (УК) поступает команда на замыкание соответствующего ключа K1 – K4, в результате чего через резистор R1 – R4 проходит ток Ir, ограничивающий ток заряда на данном блоке, и его заряд происходит медленнее. Величину добавочной энергии можно определить по формуле (1):

$$E = Ir \times t_z \qquad (1)$$

Где:

E – добавочная электрическая емкость, А·ч;

Ir – ограничивающий ток, А;

t_z – время заряда, с.

Устройство контроля управляет силовыми ключами, регулирующими ток заряда. Также УК следит за током, протекающим через АБ с помощью датчика тока сенсорного резистора Rs. и управляет током заряда и разряда с помощью силовых ключей. В результате работы такой системы блоки аккумуляторов, в которых выполнялось шунтирование тока заряда резистором, будут заряжены до максимальной емкости. В процессе разряда ЛИАБ система баланса не используется. Как правило, пассивная система баланса не используется при разряде.

БЛОК СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ

Для реализации импульсных нагрузок в циклограмме энергопотребления ВКА в предлагаемой системе ГСЭС используется блок суперконденсаторов, состоящий из последовательно–параллельно соединенных суперконденсаторов и зарядного устройства. Зарядное устройство в свою очередь состоит из DC–DC преобразователя и регулятора заряда конденсаторов (РЗК). РЗК управляется сигналами тока заряда, напряжения конденсатора и сигнала от системы управления ячейками. На рисунке 1.3. показан поток сигналов РЗК.

DC–DC преобразователь ставится между батареей и блоком суперконденсаторов для регулирования скорости заряда БС.

Рисунок 1.3.
Поток сигналов регулятора заряда конденсаторов

На рисунке 1.4 показана зависимость напряжения на ячейке от времени заряда. Пока конденсаторный модуль не достигнет номинального напряжения, регулятор заряда работает в режиме заряда постоянным током. На начальном этапе заряда, когда напряжения на конденсаторах соответствует минимальному значению, ток заряда можно регулировать резистором, сопротивление которого можно высчитать по формуле (2):

$$R = \frac{U\text{ист} - U\text{конд.}}{I\text{опт}} \qquad (2)$$

Где:

$U_{ист}$ – напряжение источника тока заряда (в нашем случае это ЛИАБ)

$U_{конд}$ – напряжение на конденсаторе

$I_{опт}$ – оптимальный ток заряда

Когда какой-либо из конденсаторов достигнет номинального напряжения, зарядный ток уменьшается за счет действия схемы обратной связи. Когда конденсаторный модуль достигает номинального напряжения, регулятор заряда работает в режиме поддержания постоянного напряжения. Это режим окончания процесса зарядки, и система поддерживает на конденсаторах фиксированное номинальное значение напряжения.

Управление ячейками.

На рисунке 1.5 показана схема системы управления ячейками, которая контролирует состояние каждой ячейки, предотвращает избыточную зарядку ячеек, изолирует неисправные ячейки и восстанавливается после сбоя.

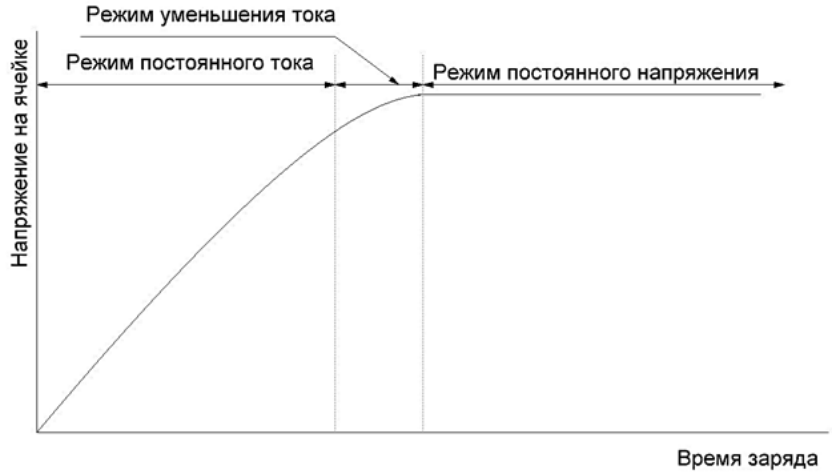


Рисунок 1.4.
График зависимости напряжения на ячейке от времени заряда

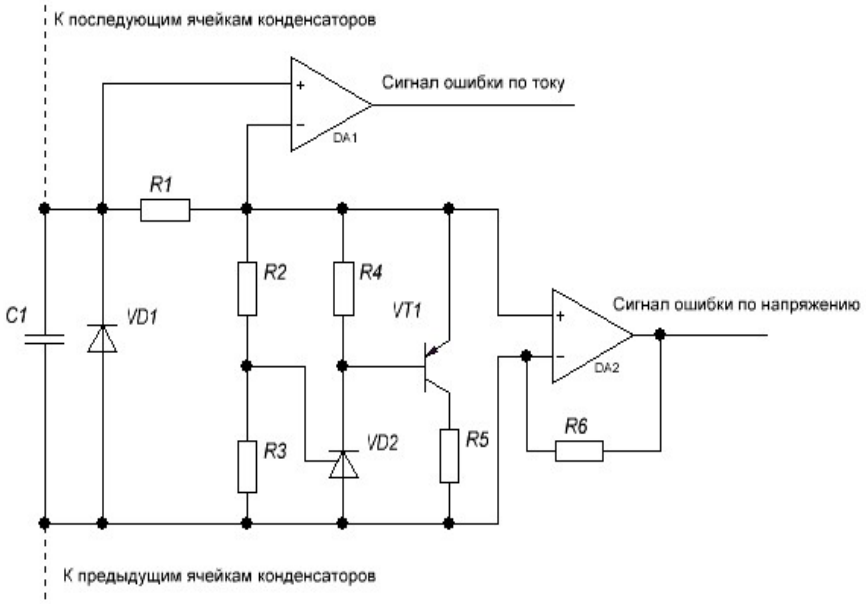


Рисунок 1.5.
Схема управления ячейками

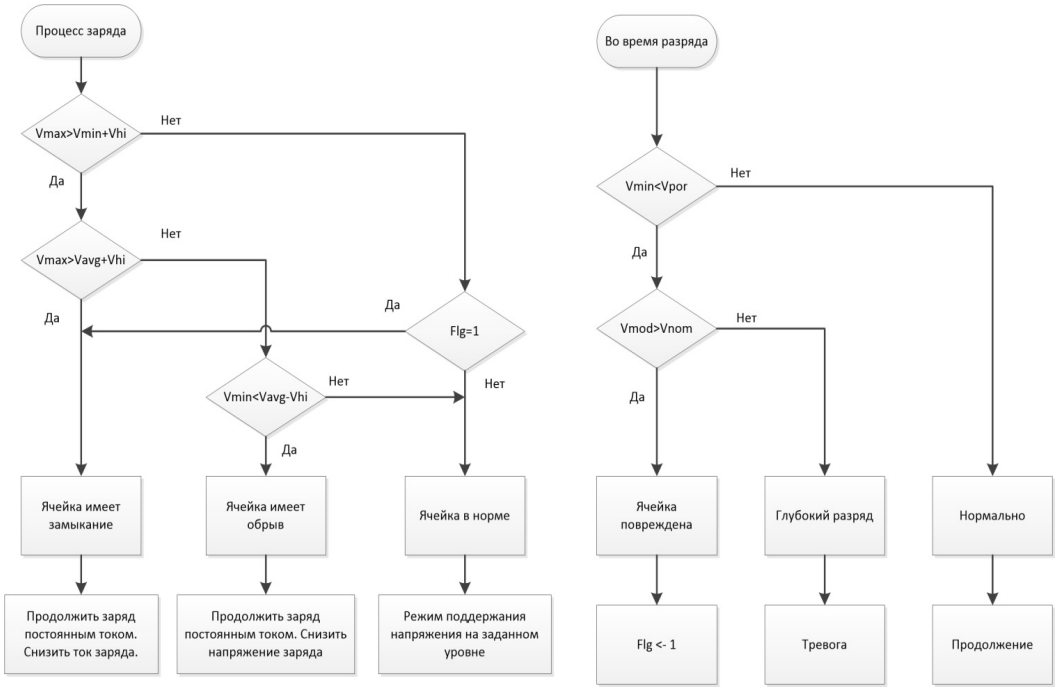


Рисунок 1.6.
Алгоритм обнаружения сбоев

Во время зарядки, когда напряжение на конденсаторе достигает определенного уровня напряжения, включается стабилизатор VD2, который открывает транзистор VT1. Через этот транзистор обводится излишний зарядный ток. Сопротивления R2 и R3 определяет уровень срабатывания схемы контроля напряжения на ячейке. Протекающий через резистор R1 обходной ток создаёт на нём падение напряжения, приводящее к срабатыванию компаратора DA1. Низкий логический уровень на выходе компаратора сигнализирует регулятору заряда о завершении заряда ячейки. Операционный усилитель DA2 с резистором обратной связи R6 используются для контроля состояния ячейки.

Сигналы из системы управления ячейками объединяются и возвращаются в качестве входных данных в АРК, как показано на рисунке 1.5.

Алгоритмы обнаружения отказов. Среди отказов БС вероятны два вида: короткое замыкание ячейки и обрыв ячейки. При сбое в виде обрыва ячейки напряжение на ячейке во время заряда достигает сразу номинального напряжения, в результате чего сразу включаются схема шунтирования и зарядный ток переходит в следующую ячейку. Во время разрядки разрядный ток обходит неисправный элемент через диод VD1.

Если происходит сбой в виде короткого замыкания ячейки, то ток зарядки и разрядный ток проходят через неисправный конденсатор. При этом появляется низкий логический уровень на выходе операционного усилителя DA2, который сигнализирует о состоянии ячейки.

Алгоритм процесса обнаружения отказов во время фаз заряда и разряда показан на рисунке 1.6.

Разряд БС. Если происходит отказ в виде обрыва ячейки, ток разряда обходит ячейку через обходной диод (см. рисунок 1.5). Датчик напряжения отказавшего элемента при этом измеряет прямое напряжение смещения диода, которое ниже напряжения отсечки литий-ионных конденсаторов. Если происходит сбой в виде короткого замыкания ячейки, разрядный ток проходит через неисправную ячейку или обходной диод. Следовательно, датчик напряжения измеряет напряжение, которое меньше, чем прямое напряжение смещения. Следовательно, сбойная ячейка может быть обнаружена следующим образом:

Если наименьшее напряжение ячейки (V_{min}) ниже порогового напряжения (V_{por}), то напряжение модуля (V_{mod}) сравнивается с заданным нормальным рабочим напряжением (V_{norm}). Если V_{mod} больше, чем V_{norm}, ячейка распознается как отказавшая, и устанавливается флаг отказа ячейки (F_{lg} = 1). Тип отказа определяется во время зарядки конденсатора.

Если V_{mod} ниже или равно V_{norm}, то батарея конденсаторов глубоко разряжена. Включается оповещение для принятия мер.

Заряд БС. Если в ячейке происходит сбой в виде обрыва, регулятор системы управления ячейкой будет шунтировать зарядный ток. Датчик напряжения ячейки измеряет номинальное напряжение элемента. В этом случае, если в конденсаторной батарее ячейка с самым высоким напряжением V_{max} выше, чем V_{min} (V_{hi} – определенное напряжение смещения), то V_{max} сравнивается со средним напряжением элемента V_{avg}. Если V_{max}, выше, чем V_{avg}, значит, ячейка имеет обрыв. Однако, когда степень разряда батареи незначительна в начале заряда, трудно отличить ячейку, которая имеет обрыв с помощью напряжения ячейки, потому что все напряжения ячейки имеют достаточно большое напряжение (примерно 4 В). В этом случае, если флаг состояния ячейки был установлен (F_{lg} = 1) во время фазы разрядки, значит, ячейка имеет обрыв. Необходимо уменьшить максимальное зарядное напряжение конденсаторной батареи, поскольку ток зарядки обходится, и потерянная ячейка не нужна для зарядки.

Если происходит сбой ячейки в виде замыкания, зарядный ток проходит через неисправную ячейку. Следовательно, датчик напряжения ячейки измеряет более низкое напряжение, чем другие ячейки. В этом случае, если V_{max} ниже или равно V_{avg}, то с V_{avg} сравнивается V_{min}. Если V_{min}, ниже V_{avg}, значит, ячейка имеет внутреннее замыкание. Необходимо уменьшить ток зарядки, чтобы уменьшить тепловыделение шунтирующих регуляторов. Если эти условия не соблюдаются, то ячейки находятся в нормальном состоянии.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Во время этапа вывода ВКА с орбиты актуальна циклограмма энергопотребления, представленная на рисунках 1.7 и 1.8:

На рисунке 1.9 представлен алгоритм работы ГСЭС на этапе вывода ВКА с орбиты. Началом этапа является момент отстыковки ВКА от орбитальной станции. ЛИАБ обеспечивает электроэнергией нагрузку мощностью 1500 Вт в течение 50 минут.

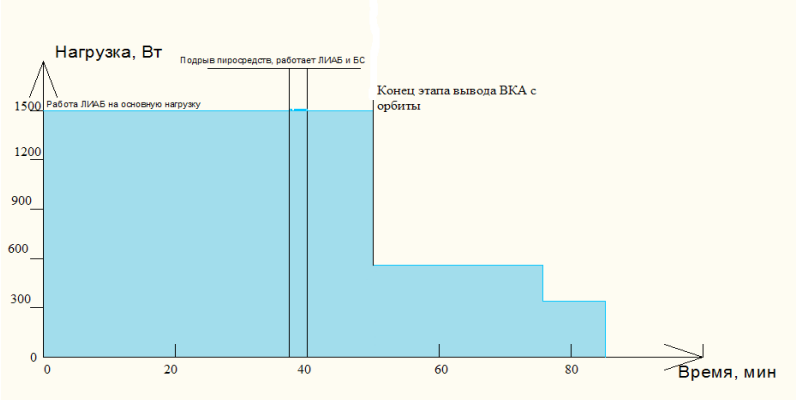


Рисунок 1.7.
Циклограмма энергопотребления

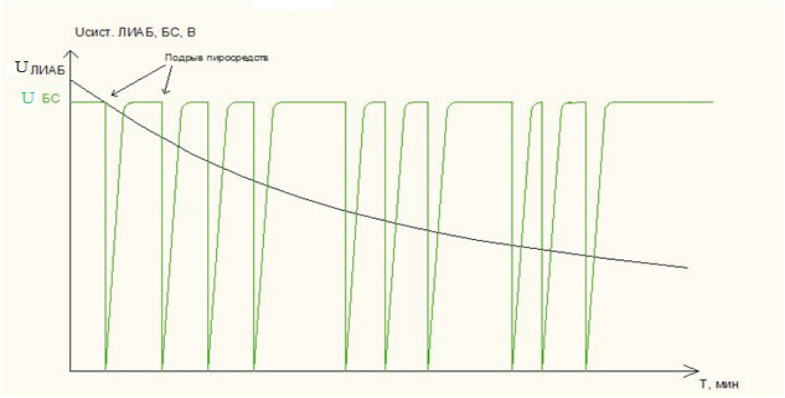


Рисунок 1.8.
Комплексная циклограмма системы

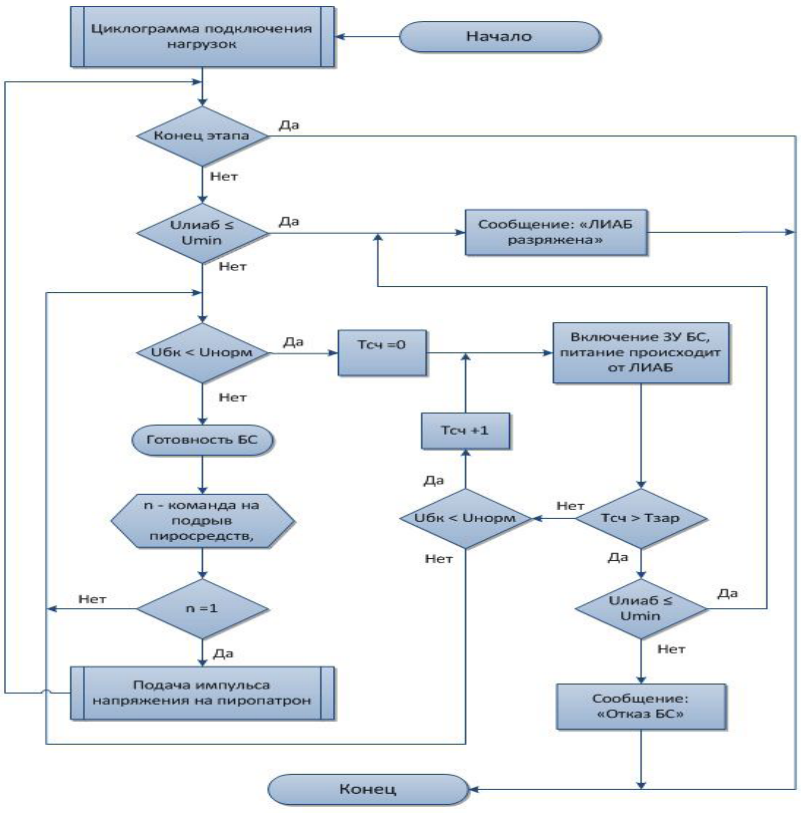


Рисунок 1.9.
Алгоритм работы ГСЭС на этапе вывода ВКА с орбиты

По приходу внешней команды на подрыв пиросредств проверяется готовность БК выдать импульс, после чего замыкается «импульсная» шина, и происходит разряд БС. После разряда происходит заряд БС от ЛИАБ; Тсч регулирует время заряда БС, сообщая тем самым возможные ошибки, такие как отказ работы БС или разряд ЛИАБ. Контроль заряда осуществляется в АРК. В момент окончания циклограммы энергопотребления происходит окончание этапа.

Моделирование описанного выше этапа было проведено на основе представленной на рисунке 1.10 математической модели ГСЭС, разработанной в среде MatLab с использованием библиотек Simulink и Simscape. Модель состоит из канала АРК, обеспечивающего управление системой и осуществляющего контроль заряда и разряда. В блок «Нагрузка» задаются значение электрической нагрузки на ГСЭС, если число взято с отрицательным знаком, в ином случае блок «Нагрузка» будет показывать заряд аккумуляторной батареи. Блоки «Минимальное напряжение» и «Максимальный ток заряда» осуществляют регулирование разряда и заряда ЛИАБ. На выходе модели показываются переходные процессы токов заряда – разряда и изменение напряжения в процессе моделирования.

Модель ГСЭС состоит из трех основных блоков: «Аккумуляторная батарея», «канал АРК» и «Имитация заряда БС».

Блок «Аккумуляторная батарея», представленный на рисунке 1.11, представляет собой модель батареи, состоящую из последовательно соединенных блоков ЭДС и внутреннего сопротивления батареи. С его помощью можно задать аккумуляторную батарею любой емкости и степени заряженности, регулируя блок «C (емкость)» и характеристику ЭДС.

Блок «канал АРК», представленный на рисунке 1.12, с помощью блока «Управление» осуществляет контроль заряда – разряда, преобразование параметров и выдачу информации о модели.

На рисунке 1.13 изображен блок «Имитация заряда БС», представляющий собой добавочную нагрузку на ЛИАБ. Блок состоит из двух ограничителей времени, включающих цикл подрыва пиросредств в определенном временном интервале.

В результате моделирования работы ГСЭС на этапе вывода ВКА с орбиты были получены типовые графики тока разряда и напряжения на ЛИАБ. Результаты моделирования представлены на рисунках 1.14 и 1.15.

В результате моделирования было установлено, что при заданных параметрах ГСЭС в полной мере удовлетворяет требованиям по энергоёмкости для обеспечения электропитанием ВКА на этапе вывода аппарата с орбиты.

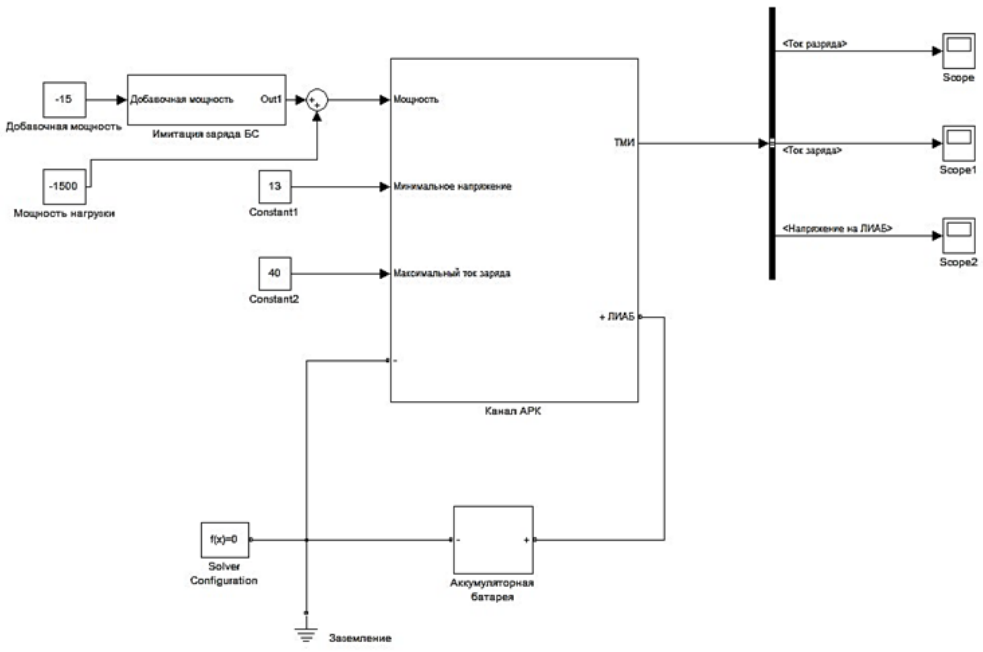


Рисунок 1.10.
Математическая модель ГСЭС

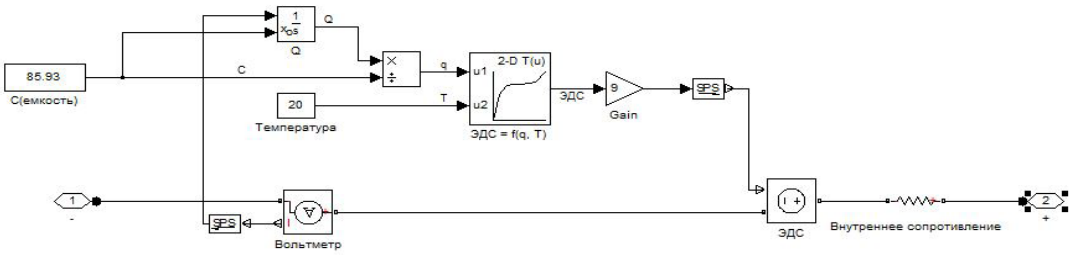


Рисунок 1.11.
Аккумуляторная батарея

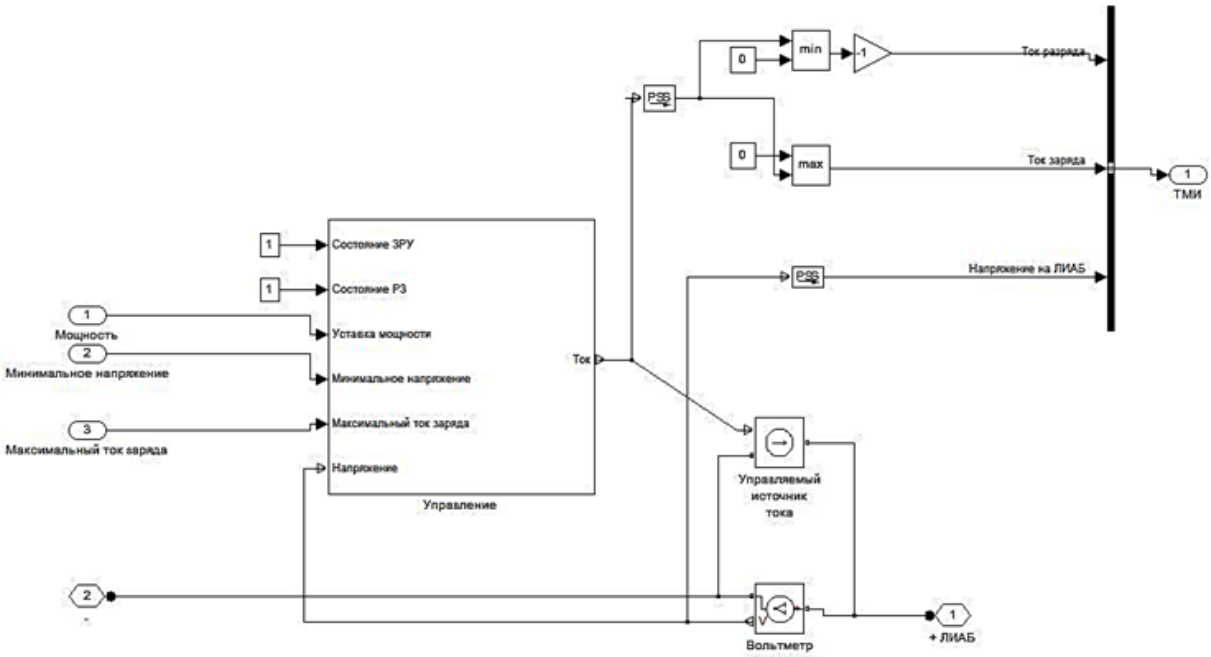


Рисунок 1.12.
Канал АРК

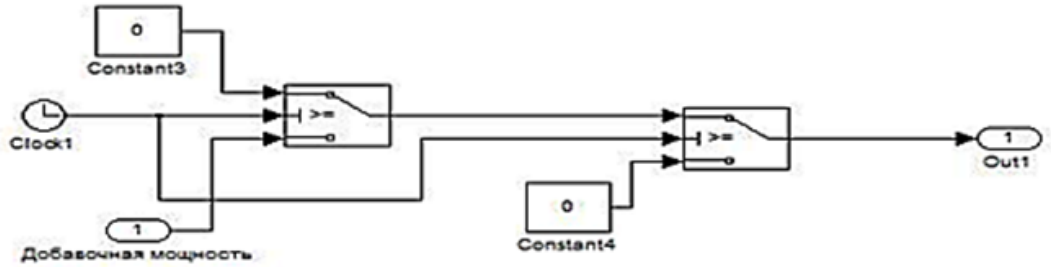


Рисунок 1.13.
Имитация заряда БС

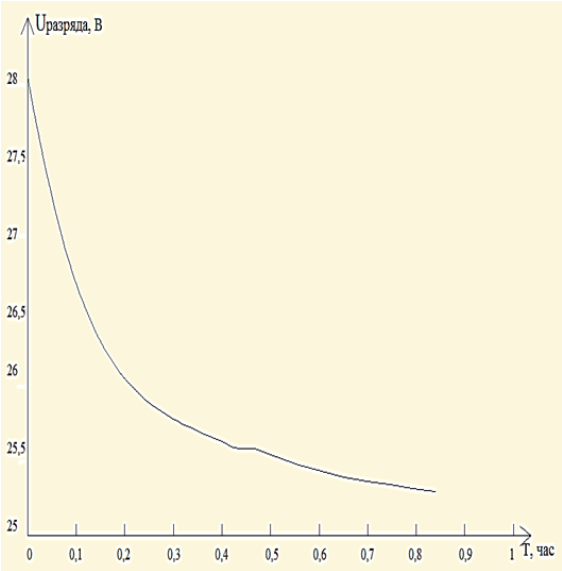


Рисунок 1.14.
Падение напряжения на ЛИАБ

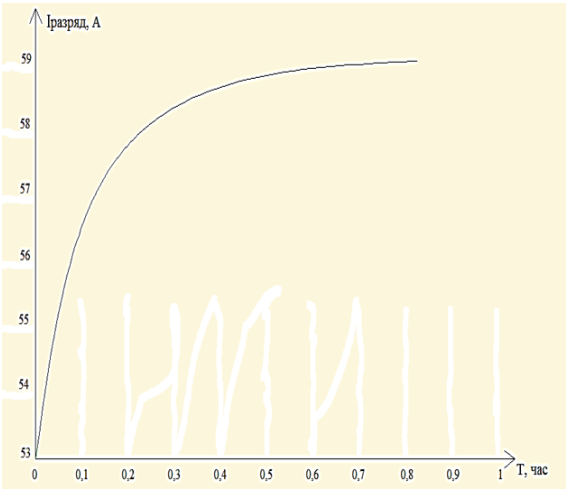


Рисунок 1.15.
Ток разряда

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье рассматривалась возможность использования гибридной системы электроснабжения возвращаемого космического аппарата в качестве альтернативы существующей СЭС. После представления структуры ГСЭС и особенностей её составных частей было проведено моделирование функционирования разрабатываемой ГСЭС на этапе вывода ВКА с орбиты. По результатам моделирования можно судить о работоспособности разрабатываемой системы и возможности её применения в составе возвращаемого космического аппарата. Математическая модель ГСЭС была разработана в среде MatLab.

Список литературы:

1. *Tatsuo Shimizu and Craig I*. Underwood – Power Subsystem Design for Micro – Satellites Using Super – Capacitor Energy Storage, 7th International Energy Conversion Engineering Conference, 5 August 2009

2. Conference: 28th Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites, At Logan, UT, Li – ion battery and supercapacitor Hybrid energy system for low temperature Smallsat applications

3. РКК «Энергия», Разработка предложений по использованию литий-ионных аккумуляторных батарей в составе СЭС ППТС

4. *Сюй Синь*, Математическая модель литий – ионных аккумуляторов

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ООО «ОПТИВАК» В СОВРЕМЕННЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

БЕЛЯЕВ Е.С., КОВАЛЬСКИЙ А.И., МИНЕЕВ В.В., ЛОМАКИН Ю.В., ХОТЕЕНКО В.М., ТРОНЯК Б.Д.*

ООО «Оптивак», Республика Беларусь, г. Сморгонь

****ОАО «Пеленг», Республика Беларусь, г. Минск***

E-mail: optivak2010@tut.by, optis10@mail.ru

Аннотация: *Описано становление и развитие малого предприятия ООО «Оптивак», область его производственной деятельности. Рассмотрены примеры модернизации и создания специальных оптических станков и вакуумной техники. Освещена активная роль заказчиков при выполнении работ по совершенствованию оптического оборудования.*

Ключевые слова: оптический станок, оптический обрабатывающий центр, вакуумная установка, модернизация, технический уровень, метод свободного притира, прецизионная оптика, «жёсткие оси».

Малое предприятие ООО «Оптивак», Республика Беларусь, специализируется на ремонте, модернизации и создании специального оптического технологического оборудования: оптических станков и вакуумной техники.

Начав с модернизации простейших станков и вакуумных установок в гаражных условиях, сегодня фирма способна произвести практически всю номенклатуру оптического оборудования, изготавливаемого ранее на «Сморгонском заводе оптического станкостроения» и других оптико-механических предприятиях Советского Союза.

Только в 1998-2000 гг. в период глубокого падения научно-технического уровня отраслевых институтов, было профинансировано две государственные научно-исследовательские программы Союзного государства.

В рамках этих программ НПО «ОПТИКА» (г. Москва), РУП ОС и ВТ (г. Минск), РУП СЗОС (г. Сморгонь, Беларусь) был разработан и изготовлен целый Комплекс оптического технологического оборудования, в том числе созданы станки с ЧПУ для заготовительных операций и предварительного шлифования [1.2].

Однако результаты работы по программам в тот период не были использованы в полной мере: не привели к серийному изготовлению созданного оптического оборудования в связи с малым спросом. А те незначительные заказы для изготовления оптики выполнялись на имеющемся технологическом оборудовании.

К тому времени моральный и физический износ основного производственного фонда этих предприятий достиг критического уровня, например:

- обновление станочного оборудования составило 20-25 лет;
- станочный парк возрастом 20 лет и более достиг 70%.

Следует отметить, что выполнение гособоронзаказа оптические производства смогли в основном только по освоенным технологиям 80-90 годов прошлого столетия, то есть изготовлением плоской и сферической оптики средней точности с применением на финишных операциях тонкого шлифования и полирования методом свободного притира. А также с использованием алмазной обработки в «жёстких осях» на заготовительных операциях, операциях предварительного шлифования и центрирования.

Внедрение оптических технологий и оборудования нового поколения мировых лидеров в этой области компаний Optotech, Satilson и Shneider [3.4.5] на оптических производствах в России и Беларуси только началось. Так как

это оборудование имеет высокую цену и требует специально обученных кадров, оно приобреталось только для обработки прецизионной оптики.

В сложившихся условиях ООО «Оптивак» решительно воспользовалась преимуществами малого предприятия:

- оперативность в принятии решений на всех стадиях изготовления изделий;
- малые сроки выполнения заказов;
- низкие цены благодаря малым накладным расходам.

Это позволило, при оценке сроков и цены-качества выполнения заказов, выигрывать тендеры и уверенно занять «нишу» по ремонту, модернизации и изготовлению оптических станков и вакуумной техники, работающих как раз по технологиям, освоенных на тот момент на оптических производствах отрасли.

С учетом критерия взаимных технико-экономических интересов «Заказчик-Исполнитель», ООО «Оптивак» за 12 лет с момента создания, осуществило восстановительный ремонт и модернизацию более 30 моделей оптических станков для различных технологических операций. С номенклатурой этих станков можно ознакомиться на нашем сайте https://optovak.ru.

Модернизация и создание новых оптических станков осуществляется по принципу модульного конструирования с применением современных комплектующих изделий: электродвигатели, инверторы, системы ЧПУ, шпиндели, столы линейного перемещения, поворотные столы, направляющие, ШВП подшипники и другие.

Проведения работ по УЧПУ (поставка оборудования, разработка программного обеспечения системы управления, его отладка и запуск) проводятся по договору с дистрибьютором компании Siemens - ООО «Сименс» г. Минск.

В практике нашей работы имеются факты оснащения целых производственных участков станками, прошедшими капитальный ремонт с модернизацией.

На рис. 1 изображен такой участок на одном из частных оптических производств. Имеются такие участки и на крупных государственных предприятиях, например, на ПАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева, Россия; на заводе «Сфера» холдинга «БелОМО», РБ; на ОАО «Пеленг», РБ.

Рисунок 1.
Оптический участок на предприятии НПК ООО «МикроОптика», РФ

Для совершенствования оптических станков и повышения их технического уровня, был применён ряд конструкторско-технологических решений, а именно:

- замена приводов постоянного тока на асинхронные с частотным регулированием (станки всех групп);
- расширение технологических возможностей станков путём замены приводов со ступенчатым регулированием диапазонов режимов в пользу регулируемого асинхронного привода;
- отказ от систем кулачковой автоматики и гидроавтоматики и заменой их на бесступенчато регулируемые электро-механические привода (ШВП, шаговые и серводвигатели, актуаторы) с элементами программирования на рабочим месте (ЦСМ, ЦСП, станки типа Алмаз);
- замена электрошпинделей со смазкой подшипников масляным туманом и охлаждением проточной водой (станки типа Алмаз) на самоохлаждаемые электрошпиндели с консистентной смазкой подшипников;
- внедрение компоновок станков ШП-ПД с уменьшенными габаритами в плане (рис. 2);
- применение на всех станках систем подвода СОЖ на импортных комплектующих или их качественных аналогах из нержавеющих материалов, включая насосную группу, а также прозрачных емкостей из ударопрочного полимера, (рис. 3).
- применение для окраски станков качественных автомобильных эмалей с цветовыми решениями по согласованию с заказчиками.

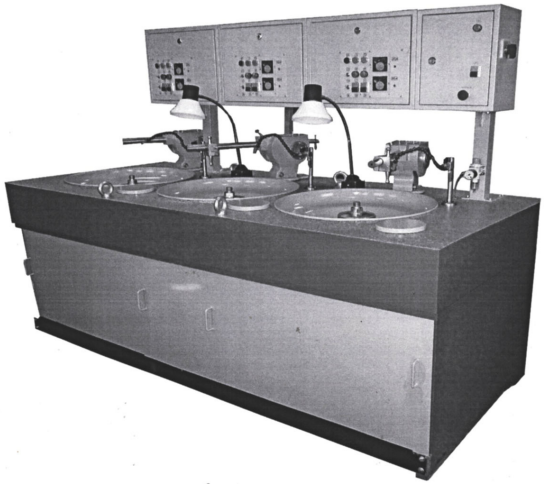


Рисунок 2.
Станок мод. 3ШПД-350

а) *б)* *в)*

Рисунок 3.
Образцы питателей СОЖ для оптических станков:
а) - питатель абразивной суспензии с терморегулированием
б) - питатель абразивной суспензии без терморегулирования с емкостью из монолитного поликарбоната
в) - питатель СОЖ для алмазной шлифовки с отстойником

ОБЗОР ОСНОВНЫХ РАБОТ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ ОПТИЧЕСКИХ СТАНКОВ

1. Станки сферошлифовальные.

В рамках модернизации станков моделей Алмаз-70, Алмаз-250 были проведены следующие работы:

- заменены водоохлаждаемые электрошпиндели со смазкой подшипников масляным туманом на электрошпиндели фирмы «ELTE» (Италия) с воздушным охлаждением и с консистентной смазкой подшипников;
- заменены гидропривода подачи на современные электромеханические программируемые привода-актуаторы;
- введена индикация основных параметров станков: скорости подачи, величины перемещения на рабочей и быстрой подаче, частоты вращения деталей и инструмента, что дало возможность осуществлять простое программирование при помощи клавиатуры и хорошо обозреваемого дисплея.

Предприятие продолжает работы по модернизации станка Алмаз-70 в варианте «автомат». Предусмотрена замена гидрофицированного загрузочного устройства на электромеханический вариант с использованием малогабаритных серводвигателей для поворота рук манипулятора, линейного стола для подъема и опускания манипулятора в позиции «загрузка – разгрузка».

Модернизированный станок Алмаз-250 уже два года эксплуатируется на ОАО «Пеленг», РБ. На рис. 4 и рис. 5 представлены образцы модернизированных станков.

Такой вариант модернизации также перспективен и для станков с кулачковыми приводами, такими как АШС-70, АШС-35, МА-35А

2. Гамма шлифовально-полировальных и полировально-доводочных станков.

Станки этой группы нет необходимости особо представлять, т.к. они общеизвестны и на заводах их находится десятками, а в общем по отраслям до нескольких тысяч единиц. Но если представить, что в структуре общей трудоемкости обработки оптических деталей на долю

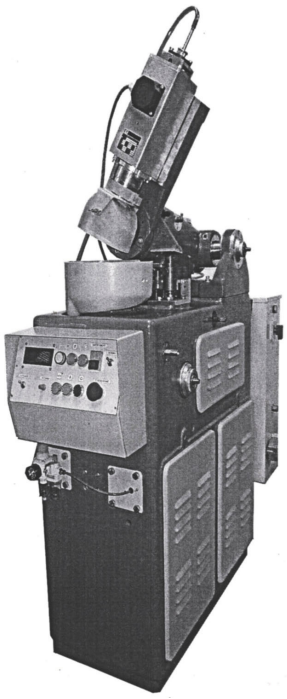


Рисунок 4.
Модернизированный станок мод. «Алмаз-70»

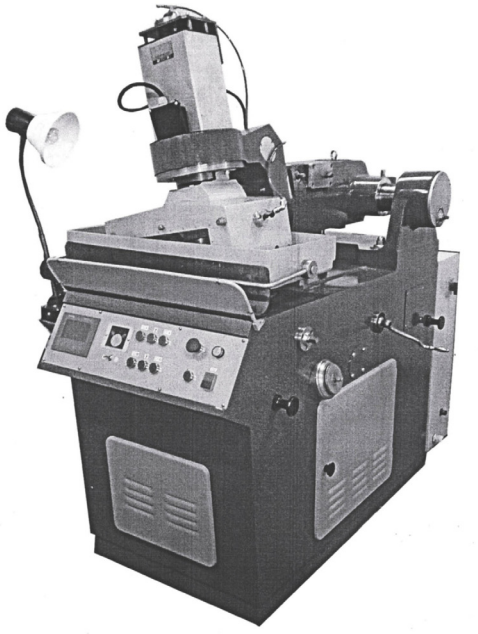


Рисунок 5.
Модернизированный станок мод. «Алмаз-250»

операций шлифования, полирования по методу притира приходится порядка 50% то станет ясно как интенсивно эти станки эксплуатируются, как необходимо их воспроизводство. Вот и в практике нашей работы в структуре всех заказов, доля станков ШП и ПД составляет порядка 80%.

Объём модернизации первоочередно определяет Заказчик совместно с нашими специалистами, но всегда выполняется основополагающие решение, о котором уже изложено выше – замена приводов постоянного тока на асинхронный привод с бесступенчатым регулированием, это позволило расширить диапазон технических характеристик и проведение тем самым операций шлифования, полирования и доводки на одном станке каждого типоразмера, т.е. модели станков ШП и ПД заменить на новую модель ШПД. Это решение распространяется на весь ряд типоразмеров станков с диапазоном обрабатываемых деталей от 6 мм до 500 мм и нашло отражение в республиканском ТУ BY 590690556.001-2018.

В настоящее время созданы станки типа ШПД с компоновочным построением, при котором электрошкаф со встроенным пультом расположен вверху над станиной, при этом, зона обслуживания электроавтоматикой находится спереди со стороны оператора.

Благодаря такому решению кроме удобства работы и обслуживания удалось уменьшить площадь занимаемой станком до 30%, а при планировке стало возможным пристенного расположения станков.

Всё это позволяет существенно сократить производственные площади станочного участка.

С учетом изложенных конструкторско-технических решений, можно утверждать, что станки в варианте ШПД по техническому уровню и технологическим возможностям значительно превосходят станки советского периода и не уступают лучшим образцам ведущих зарубежных производителей.

3. Центрировочные станки

Полуавтоматические станки ЦСМ-10, ЦСМ-50, ЦСМ-50М, ЦСП-100 с кулачковой системой управления подачи алмазного инструмента качественно оправдали себя в условиях серийных производств с ограниченной номенклатурой оптических деталей.

В условиях современного многономенклатурного производства лимитирующим элементом станков становиться кулачковый привод в силу как трудоемкости изготовления самих кулачков, так и трудоемкости проведения наладочных операций. Поэтому была произведена замена кулачкового привода на электромеханический с использованием ШВП и программируемого привода на базе шагового двигателя. При этом в кинематике подача инструмента были исключены все промежуточные звенья (шестерни, червячные передачи), что гарантировало повышение точности центрирования до 3-5 микрон.

В качестве другой задачи модернизации таким же образом был изменен суппорт продольной подачи (механизм осцилляции), что гарантировало возможность обработки торца детали и размерной фаски с заданной точностью.

Таким образом станки ЦСМ-50 (100) и ЦСП-100 получили возможность управляемых перемещений с пульта станка по 2-м координатам (см. рис. 6).

Установленные величины радиальной и продольной подачи, а также величины их перемещений считываются с цифрового индикатора. Это обеспечивает быструю переналадку станков и эффективную работу.

Рисунок 6.
Модернизированный станок ЦСМ-100М

Образец станка ЦСМ-100М в таком варианте модернизации находится в опытной эксплуатации на заводе «Сфера», РБ.

4. Станки для обработки крупногабаритной оптики.

Заказчиком работ, представленных в данном разделе, выступило ОАО «Пеленг», РБ. Основная задача – создание технологической базы для автоматизированной доводки малоразмерным инструментом плоских сферических и асферических поверхностей с большой крутизной оптических деталей и максимальным диаметром 1250 мм.

4.1. Разработка станка модели АД-1250 осуществлялась на базе станка АД-1000 производства СЗОС.

Предстояло из станка с 3-мя управляемыми в прямоугольной системе координат от ЧПУ создать станок для обработки по 5-ти координатам с возможностью работы в прямоугольной и полярной системах. По ТЗ необходимо было обеспечить контроль интерферометром с горизонтальным ходом лучей, при этом деталь должна быть контролироваться без её снятия со станка, т.е. предусмотреть поворот вращающегося стола из горизонтального положения в вертикальное на 90º. Для обработки деталей со значительной крутизной потребовалось иметь управляемую координату наклона планшайбы стола в процессе обработки на ±15 градусов (ось В). Для реализации функции станка по вращению стола и её наклону был использован сварочный поворотно-наклонный стол FTT 1500/MO австрийского производства с доработками под программное позиционирование. В целом станок (рис. 7) представляет собой систему, реализующую управляемые относительные перемещения заготовки и инструмента по пяти координатам:

X, Y, Z – линейные перемещения инструмента;

C – вращение стола;

B – наклон планшайбы стола.

Максимальное количество одновременно управляемых перемещений – 4. Траектория перемещения шпинделя инструмента в прямоугольной или полярных системах координат, а также скорость движения инструмента по поверхности зоне погрешностей детали рассчитывается ЭВМ по результатам оптического контроля и реализуется системой ЧПУ Siemens 840DSE.

Станок АД-1250 более 3-х лет эксплуатируется на ОАО «Пеленг». Результаты эксплуатации вполне удовлетворяют заказчика, но могли бы быть более эффективными если бы рабочие режимы не ограничивались вибрацией всего станка, наводимой работой эксцентриковой насадки.

4.2. Другой пример совершенствования обработки крупногабаритной оптики был определён ТЗ Заказчика.

Следовало модернизировать натурный образец специального полировально-доводочного станка модели ПДА-1000, изготовленного ОАО «ОС и ВТ», РБ и находящегося в эксплуатации в ОАО «Пеленг». Предлагалось убрать со станка устройство для ретуши (не выполняло свои функции) и, сохранив блок кривошипных механизмов для обработки полноразмерным инструментом, встроить конструктив для обе-

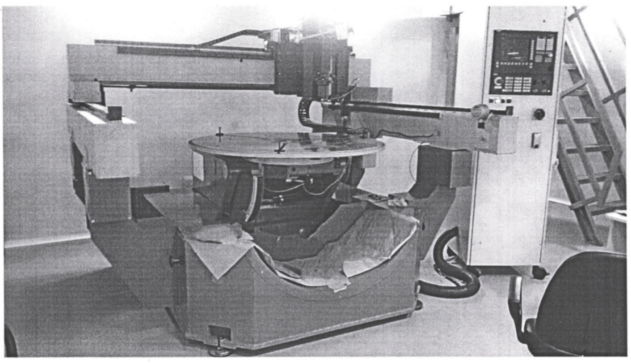


Рисунок 7.
Станок мод. АД-1250

спечения обработки малоразмерным инструментом в программируемом режиме для детали с максимальным диаметром 1250 мм и крутизной рабочей поверхности до 15 градусов. Конструктив модернизированного станка состоит из портала, по которому перемещается стол линейного перемещения (ось X) мод. СТМУ-2 производства ЗАО «Завод мехатронных изделий», РФ с приводом от серводвигателя Siemens. На столе модуля жестко закреплен специальный линейный модуль того же производителя, совершающий перемещение по оси Z. На столе Z размещён поворотный стол – ось B (высокомоментный серводвигатель мод. RT24-268-25 ООО «Рухсервомотор», РБ) с закреплённым на нём шпинделем инструмента и приводом вращения от серводвигателя Siemens (рис. 8). Поворотный стол обеспечивает управляемый наклон оси шпинделя на угол ±15° для того, чтобы ось шпинделя располагалась по нормали к обрабатываемой поверхности.

Для удержания стола от поворота при случайном отключении питающего напряжения дополнительно предусмотрен оригинальный пневмотормоз. На пиноли шпиндельной бабки установлена опытная насадка кривошипного типа с шестеренчатым приводом, которая в отличие от насадки с приводом от кардана имеет значительно меньшую амплитуду вибрации (рис. 9). В качестве силового стола для установки детали в приспособлении и придания ей рабочего поворотно-делительного движения (ось C) в режиме старт – стоп использован синхронный высокомоментный серводвигатель

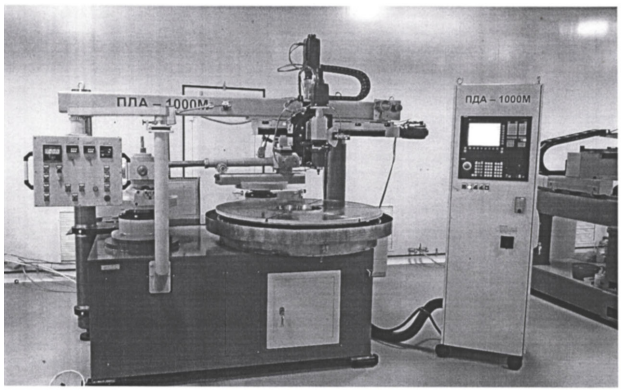


Рисунок 8.
Станок мод. ПДА-1000М

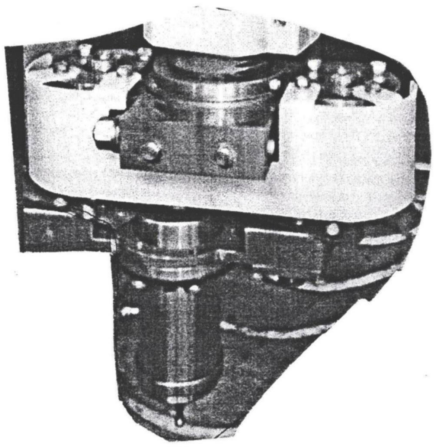


Рисунок 9.
Насадка с шестеренным приводом

(поворотный стол) мод. RT36-1123-25 (диаметр базовой установочной поверхности 1112 мм) производства ООО «Рухсервомотор», РБ.

На планшайбе стола имеются базовые элементы для установки детали в приспособлении для обработки по классическому методу и отдельно для установки детали в оправе при обработке малоразмерным инструментом.

Такое оригинальное компоновочное решение станка позволяет вести полирование деталей методом притира с осцилляцией поводка от двух кривошипов, затем, после отвода поводков из зоны обработки детали производить доводку рабочей поверхности малоразмерным инструментом в полярной системе координат.

В течение последних 5 лет предприятие стало брать заказы на создание специальных станков и обрабатывающих центров, для предприятий ВПК России и Беларуси, а также для обработки изделий медицинского назначение и др.

Приведем примеры некоторых наших разработок.

1. На рис. 10, 11 показан обрабатывающий центр оптический с ЧПУ модели ОЦО-2 для предварительного и тонкого шлифования поверхностей ОД типа тел вращения диаметром до 20 мм (цилиндрических, конических, плоских и сферических поверхностей). Центр горизонтальной компоновки имеет 8 электрошпинделей: два шпинделя изделия; шесть инструментальных шпинделей. Шлифование осуществляется в несколько переходов с перебазировкой детали с одного шпинделя изделия на другой. Управление по двум линейным

координатам X и Y и частоты вращения шпинделей обеспечивается системой ЧПУ Siemens Sinumerk 840DSE.

2. Станок специальный шлифовально-полировальный модели 3ПК-40 (рис. 12) для финишной обработки сферических поверхностей эндопротезов тазобедренного сустава до диаметра 40 мм из различных материалов: нержавеющей стали; сплава кобальт-хром-молибден, специальной керамики.

3х позиционный станок имеет следующие основные отличительные особенности:

- формообразование сферических поверхностей осуществляется по методу свободного притира при вращении шпинделя и осцилляции верхнего звена по круговой траектории с углом от 0 до 60°;

- усилие давление поводка на инструмент осуществляется от пневмоцилиндра по нормали к обрабатываемой сферической поверхности детали, тем самым обеспечивая равномерный съём материала.

Дальнейшее развитие бизнеса нашей фирмы видится по следующим направлениям:

1. Совершенствование конструкции гаммы станков ШПД:

- применение сервопривода для вращения

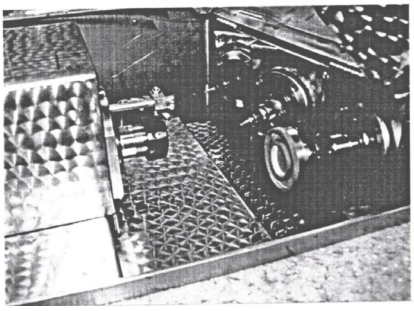


Рисунок 10.
Рабочая зона станка ОЦО-2

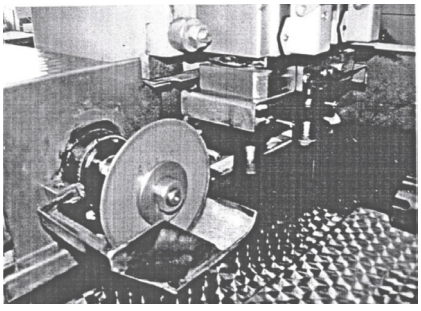


Рисунок 11.
Станок ОЦО-2. Наладка обработки торца детали

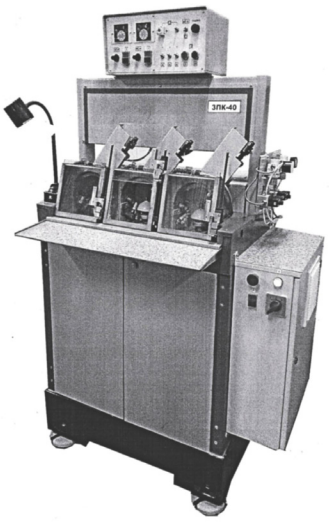


Рисунок 12.
Станок шлифовально-полировальный мод. 3ПК-40

шпинделя и привода механизма осцилляции с исключением червячных редукторов, и ремённой передачи;

- замена пневмокамеры на покупной пневмоцилиндр для обеспечения более точного рабочего усилия.

2. Разработка специальных станков и обрабатывающих центров по ТЗ заказчиков для механической обработки компонентов различного назначения с применением оптических технологий.

3. Создание оптических высокоточных станков для обработки в «жёстких осях» прецизионной оптики (плоской, сферической, со свободной поверхностью) с применением конструкторских решений и комплектующих современных металлорежущих станков особо высокой точности.

Список литературы:

1. *Томаль В.С.* Современное оборудование для оптических производств. Контенант, том 12, №4 2013г., стр. 44-45

2. *Подобрянский А.В.* и другие. К вопросу отечественного оптического станкостроения. Контенант том 16, №2, 2017г., стр. 36-37.

3. *Глухов Ю.А., Подобрянский А.В.* Современное оборудование и технологии для механической обработки оптических деталей. Контенант том 13, №2, 2014г., стр. 43-52.

4. *Петров С.Н.* Современное оптическое производство и некоторые тенденции его развития.

5. *Истомина Н., Корякина Л.* Optatec-2016. Новейшие технологии оптического станкостроения и производства. Фотоника №1, 2017 г.

АВТОМАТИЗАЦИЯ СРЕДСТВ РАЗРАБОТКИ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ, ОСНАСТКИ И ТРАНСПОРТИРОВОЧНОЙ ТАРЫ

МАЛЫШЕВА Т.А., САУРИНА И.А., СЕЛИВАНОВ Д.Ю.

АО «Лыткарискиий завод оптического стекла» (АО «ЛЗОС»)

E-mail: optics95@lzos.ru

Аннотация: *В работе рассматриваются технологические и программные приемы формирования конструкторской документации при помощи разработанных на Лыткаринском заводе оптического стекла про-граммных комплексов. Приведены примеры работы связки программного обеспечения «Калькулятор оптических систем» и продукции компании Autodesk (программные продукты AutoCAD и Inventor). Проиллюстрированы приемы создания параметрических деталей на основании расчетных данных. Показаны возможности утилиты по формированию основного пакета конструкторской и сопроводительной технологической документации на оптические детали. Статья рассматривает приемы формирования вспомогательной оснастки на основании шаблонных моделей и заготовок в программе Autodesk AutoCAD с учетом требований ЕСКД, а также расчета и оптимизации упаковочно-транспортировочной тары.*

Ключевые слова: калькулятор оптических систем, конструкторская документация, технологическая документация, программный комплекс, параметрические модели.

AUTOMATION OF DEVELOPMENT TOOLS OF DESIGN-TECHNOLOGY DOCUMENTATION, EQUIPMENT AND SHIPPING CONTAINER

MALYSHEVA T.A., SAURINA I.A., SELIVANOV D. YU.

JSC “Lytkarino Optical Glass Factory” (LZOS)

E-mail: optics95@lzos.ru

Abstract: *The article discusses the technological and software techniques for the formation of design documentation using software systems developed at the Lytkarino optical glass plant. Examples of the work of the optical calculator software and Autodesk products (AutoCAD and Inventor software) are given. Illustrates techniques for creating parametric parts based on calculated data. The possibilities of the utility for the formation of the main package of design and accompanying technological documentation for optical parts are shown. The article discusses the techniques of forming ancillary equipment on the basis of template models and blanks in the Autodesk AutoCAD program according to the requirements of standards, as well as the calculation and optimization of the packaging and transport packaging.*

Keywords: optical system calculator, design documentation, technological documentation, software package, parametric models.

ВВЕДЕНИЕ

Нынешние потребности участников рынка накладывают определенные временные рамки на сроки подготовки коммерческого предложения. Для поддержания конкурентоспособности на российском и международном рынках, а также основываясь на технической оснащенности и индивидуально - психологический способности сотрудников Лыткаринского завода оптического стекла узкой группой лиц (авторов статьи) была предложена схема оперативного формирования полного пакета конструкторской документации, достаточного для оценки рыночной стоимости изделия, изготовления и передачи результата заказчику, находящемуся на территории Российской Федерации или за её пределами.

Данная статья преследует в своем составе описание целей и приемов работы при формирования полноценного комплекса программных средств по созданию конструкторско-технологической документации на оптические детали, вспомогательные инструменты и приспособления, а также принципы разработки упаковочной тары для обеспечения требуемой сохранности деталей в зависимости от их конфигурации при транспортировке наземным, воздушным или морским транспортом.

ПРИЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ СРЕДСТВ РАЗРАБОТКИ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Основываясь на принципах создания систем автоматизированного проектирования с целью повышения качества и улучшения эффективности рабочего процесса инженерно-конструкторского персонала был предложен и в настоящее время внедряется в производство комплекс программного обеспечения, состоящий из программ и утилит, специально разработанных под нужды оптической промышленности. Принимая во внимание возможности современных комплексов механической обработки деталей с целью сокращения сроков и трудоемкости при проектировании оптических деталей был предложен специализированный пакет программных средств, позволяющий уже на этапе расчета оптических деталей сформировать основу пакета конструкторской документации, а также унифицировать и повторно использовать ранние наработки при стратегическом проектировании деталей, их паспортизации и упаковке.

На рынке программного обеспечения существуют готовые автоматизированные системы технологической подготовки производства, но ввиду узкой специализации оптической промышленности, а также специфики подготовки конструкторской и технологической документации на Лыткаринском заводе оптического стекла при проектировании деталей мелкосерийного производства оптимальным решением стала разработка собственного программного обеспечения, направленного на решения задач конструкторской подготовки производства. Такими средствами стали «Калькулятор оптических систем», лицензированная Лыткаринским заводом оптического стекла, а также утилита «Transcoding Utility», на период 2018 года находящаяся в активной разработке, позволяющая передавать полученные расчетом значения в программы графического и технологического оформления, широко применяемые на рабочих местах.

На текущий момент реализована возможность создания оптических деталей в форме дисков, пластин, линз различных конструкций, пластин биологической защиты, асферических зеркал с параболической и гиперболической основой. На рисунке 1 показан пример расчета двояковыпуклой линзы и последующая передача расчетных данных в программу трехмерного моделирования (рисунок 2).

Дальнейшая работа строится вокруг оформления предварительной версии конструкторской документации. В решении данного этапа используется Transcoding Utility – приложение, позволяющее определить перечень необходимого набора документов и расчетных данных, служащих для итогового выпуска детали (рисунок 3).

Недостающие сведения возможно оперативно подготовить на данном этапе разработки, в частности структура и характеристики оптического покрытия формируются в приложении ThinkLayer (рисунок 4).

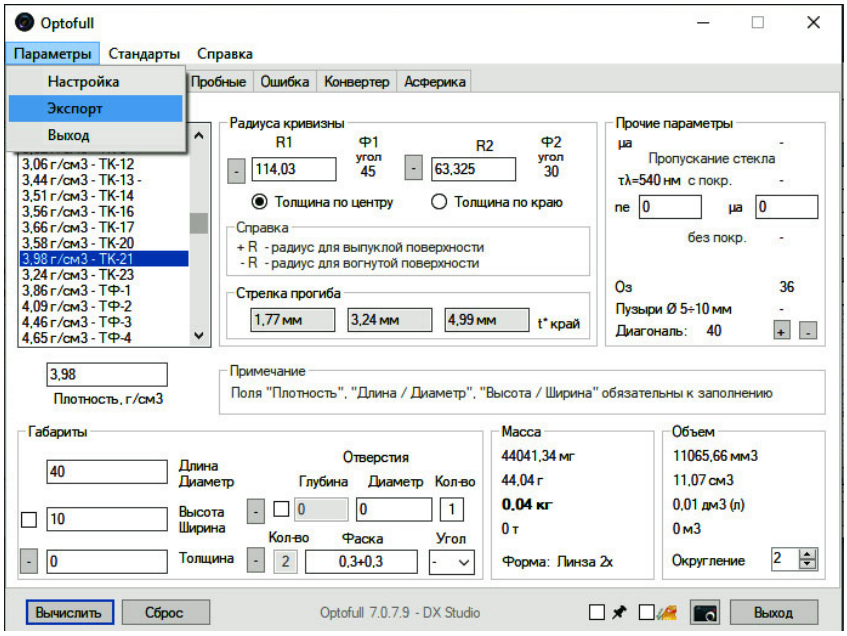


Рисунок 1.

Optofull-Калькулятор оптических систем

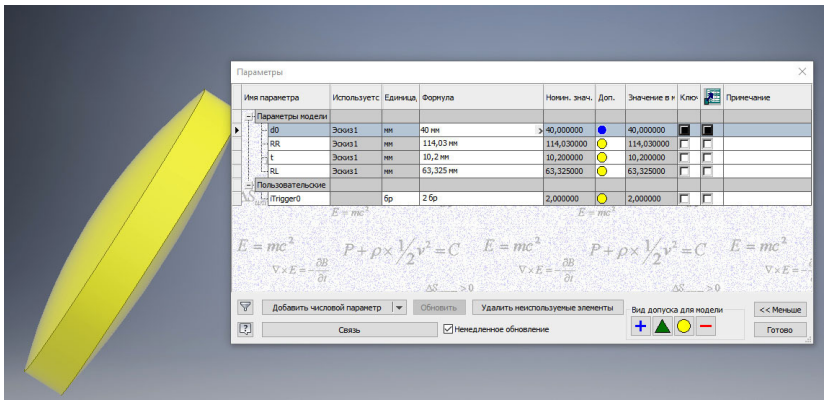


Рисунок 2.

Постмоделирование детали в программе Autodesk Inventor, на основе полученных рассчетом значений

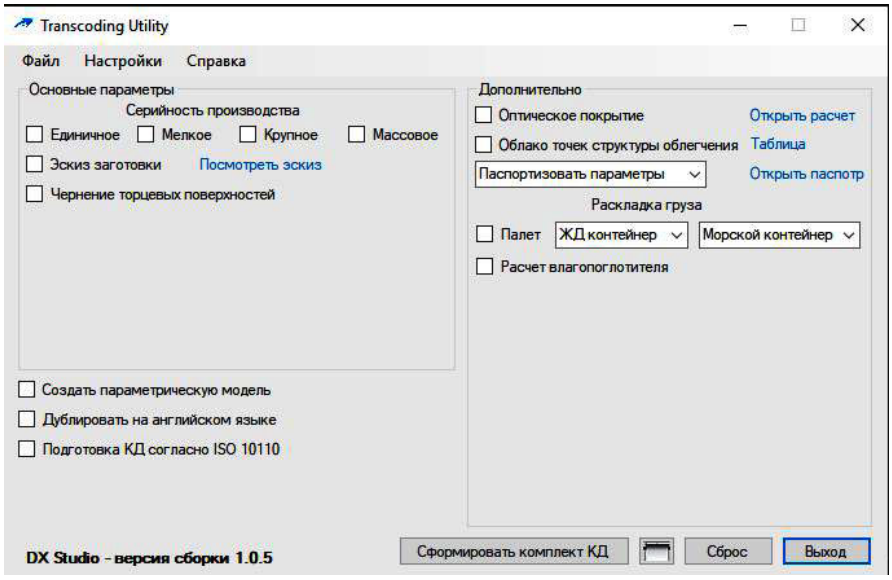


Рисунок 3.

Утилита формирования конструкторско-технологической документации

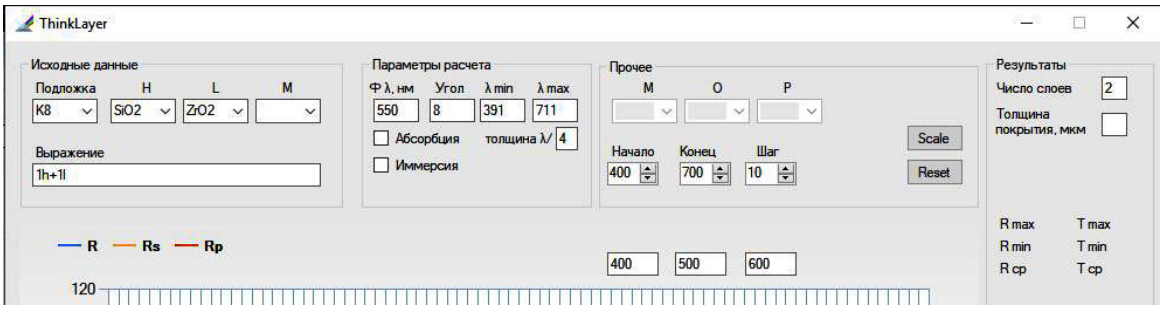


Рисунок 4.

Расчет оптического покрытия в программе ThinkLayer

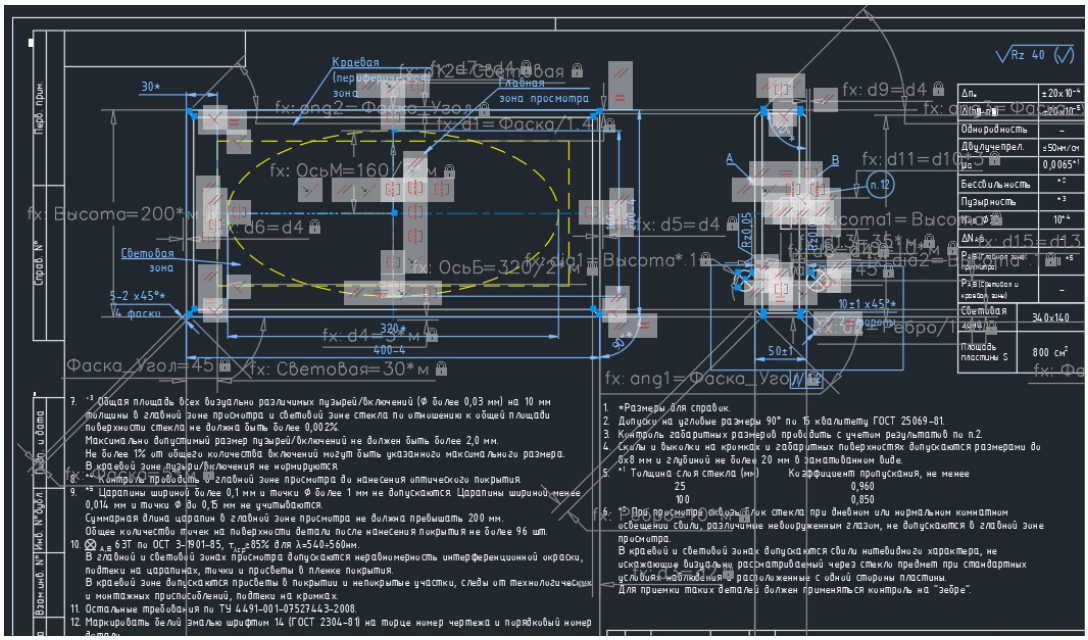


Рисунок 5.

Пример формирования графической и текстовой части чертежа на радиационно-защитную пластину в программе Autodesk Autocad с видимыми аннотациями

Исходя из потребностей конструктора, в зависимости от среды разработки, может формироваться параметрический двумерный чертеж на основании всех собранных данных, к примеру в программе Autodesk Autocad (рисунок 5).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе были рассмотрены наиболее важные и показательные этапы и приемы формирования конструкторско-технологической документации, а также пакета сопроводительных документов с учетом современных тенденций в развитии систем автоматизированного проектирования на условиях, приближенных к реализации на производственных мощностях Лыткаринского завода оптического стекла.

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОТЕЛЬНОЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ КАСКАДНОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОДОГРЕЙНЫМИ КОТЛАМИ

ГАЛЕНИН Д.В.

Публичное акционерное общество «Красногорский завод им. С.А. Зверева», г. Красногорск
3-я научная рота Космических войск Воздушно-космических сил РФ

E-mail: galenin.den2013@yandex.ru

Аннотация: *в данной статье представлены разработанная функциональная схема автоматизированной котельной с применением каскадного управления водогрейными котлами и программным обеспечением, написанным для универсального контроллера Inline ILC 170 фирмы Phoenix Contact.*

Ключевые слова: автоматизация, котельная, каскадное управление, универсальный контроллер, водогрейный котел.

ВВЕДЕНИЕ

Современное развитие мировой энергетики неразрывно связано с рядом актуальных проблем, среди которых можно выделить главную - энергосбережение. Данный фактор затрагивает множество аспектов человеческой деятельности, начиная от уменьшения его техногенного влияния на природу, заканчивая повышением эффективности экономического развития стран и государств. Проведение энергосберегающих мероприятий позволяет снизить потребление энергии от 30% до 50%. Значительная часть такого позитивного эффекта приходится на теплоснабжение зданий [1].

В частности, для повышения энергосбережения котельных предлагается внедрение автоматизированных сетей управления технологическими процессами с применением каскадного регулирования работы водогрейных котлов.

Благодаря этому появляется возможность регулирования теплоносителя в системе отопления в зависимости от температуры наружного воздуха, наличия людей в помещениях и времени года, что позволяет экономить тепловую энергию в весенние и осенние периоды сезона, праздничные дни и каникулы [2].

При отключении систем отопления в выше описанное время автоматизированные сети разрешают поддерживать эксплуатацию циркуляционных насосов и регулирующих клапанов путем их кратковременного включения [3].

А для повышения рациональности использования водогрейных котлов применяется каскадное управление. Принцип такого управления заключается в том, что выход первого водогрейного котла является входом второго, и при нехватке мощности происходит включение второго котла. Если мощности всё равно не хватает, то в дело вступает третий котел, четвертый т.д. Такой подход призван уменьшить износ используемых элементов системы

Использование автоматизированных систем теплосетей позволяет совершенствовать режим отопления зданий, создавая комфортные условия для полноценного проживания и функционирования.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ КОТЕЛЬНОЙ

Условные обозначения функциональной схемы автоматизации котельной приведены на рис. 1., а сама функциональная схема – на рис. 2.

Узел учета тепловой энергии котельной состоит из следующих элементов и оборудования [4]:

- тепловычислитель теплосчетчика СПТ 944;
- расходомеры;
- датчики температуры.

Принцип работы данной котельной заключается в следующем:

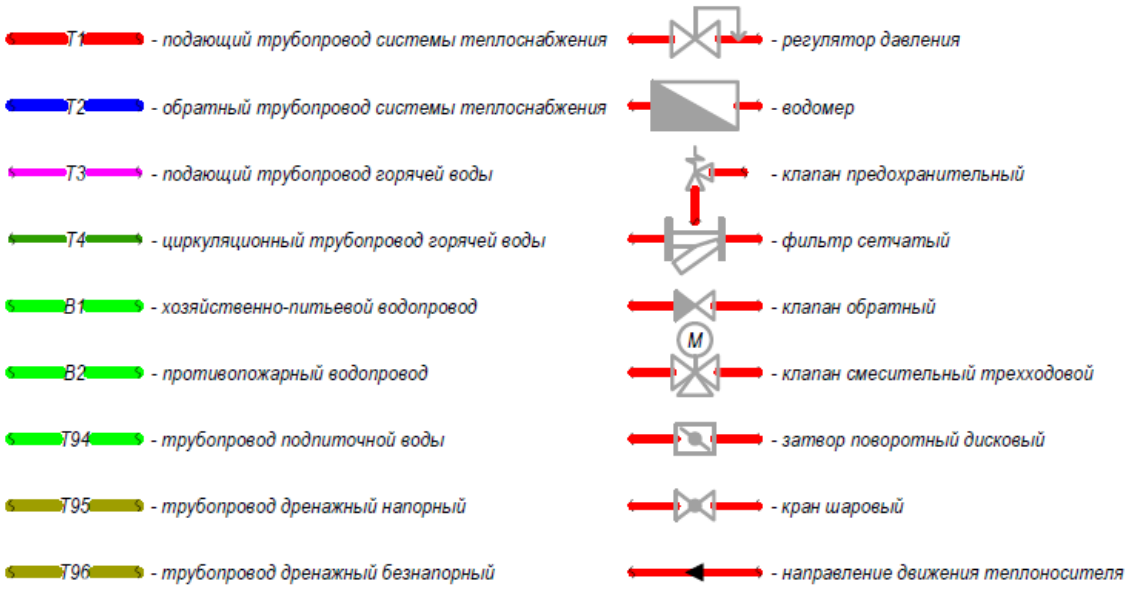


Рисунок 1.
Условные обозначения схемы

Выработка тепла осуществляется при помощи четырех двухступенчатых водогрейных котлов, включенных в каскад. Каждый котел снабжен персональной двухступенчатой «умной» газовой горелкой, обладающей встроенным программируемым логическим контроллером. Этот контроллер отвечает за включение ступеней работы данного устройства, а также получает информацию об авариях, возникающих при работе водогрейного котла, за эксплуатацию которого он отвечает.

Защитой котлового контура являются пластинчатые теплообменники, поскольку теплоноситель, поступающий извне, обладает неизвестными характеристиками и может существенно навредить работе котлов. Для предотвращения возникновения подобных ситуаций и применяется защитный контур из пластинчатых теплообменников.

Помимо пластинчатых теплообменников для очищения воды и уменьшения ее жесткости используется установка умягчения непрерывного действия. Помимо установки также применяется специальный комплекс дозированного реагента для выполнения поставленной задачи.

Котловой контур управляется при помощи каскадного регулирования за счет использования температурно-временных интегралов. Применяется датчик температуры всего котлового контура, который и выступает в качестве каскадного регулятора системы [5].

В данной системе автоматизации котельной единственным контроллером является Inline ILC 170 фирмы Phoenix Contact. Он управляет насосами с преобразователями частоты (ПЧ) и без, аналоговыми регулирующими клапанами (КЗР) ГВС и СО, подпиткой, каскадным включением котлов. Контроллер способен выполнять такое количество операций, поскольку является модульным [6].

К контроллеру подключены:

• датчики температуры К1.1-К1.4, измеряющие температуру до каждого котла;

• датчики температуры К2.1–К2.4, измеряющие температуру после каждого котла;

• датчики давления К3.1 – К3.18 на нагнетании и всасывании трубы насосов;

• насосы К4.1 – К4.6 на подающих, обратных и подпитывающих трубопроводах;

• датчики температуры К5.1 – К5.6 на подающих и обратных трубопроводах;

• датчики давления К6.1 – К6.2 на подающем и обратном трубопроводах ГВС;

• датчики давления К6.3 – К6.4 на подающем и обратном трубопроводах СО;

• датчики давления газа К7.1-К7.2 до отсеченного клапана и после;

• электроприводы М1-М8 регулирующих клапанов.

САР СО котельной состоит из следующих элементов и оборудования:

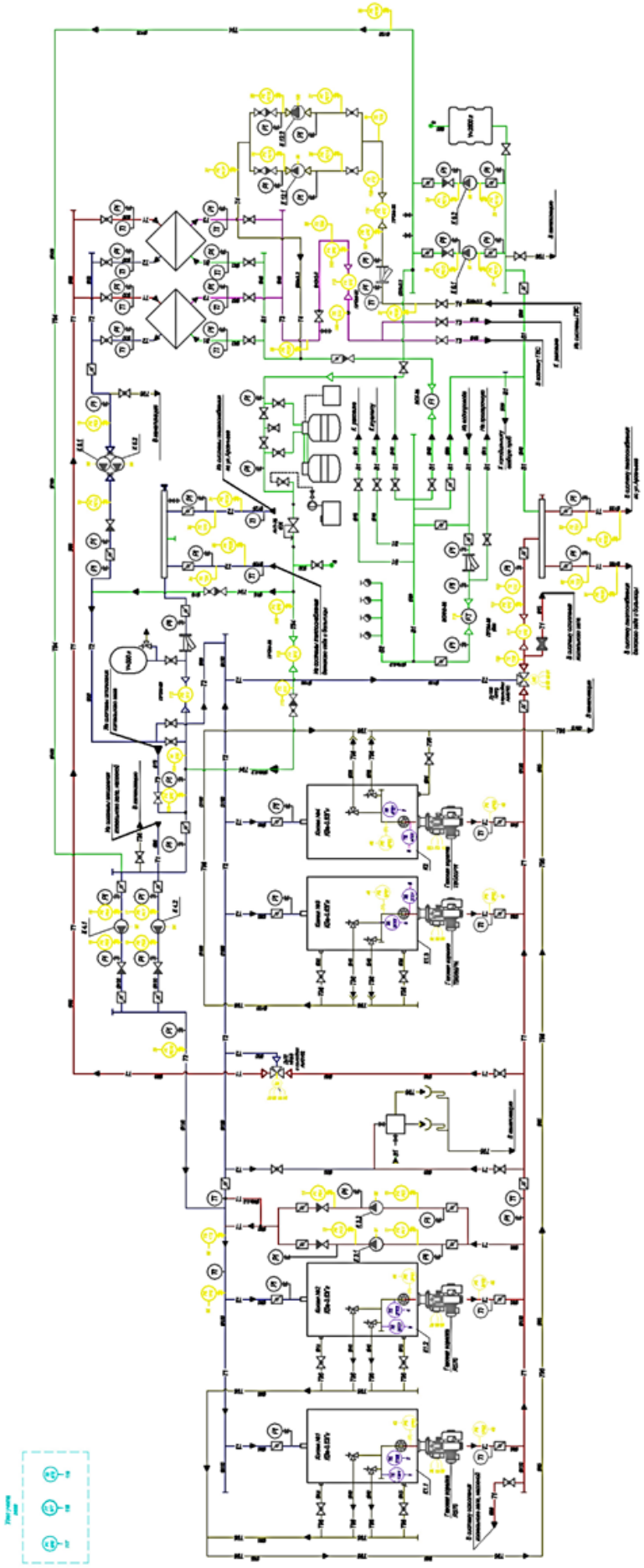


Рисунок 2.
Схема автоматизированной котельной

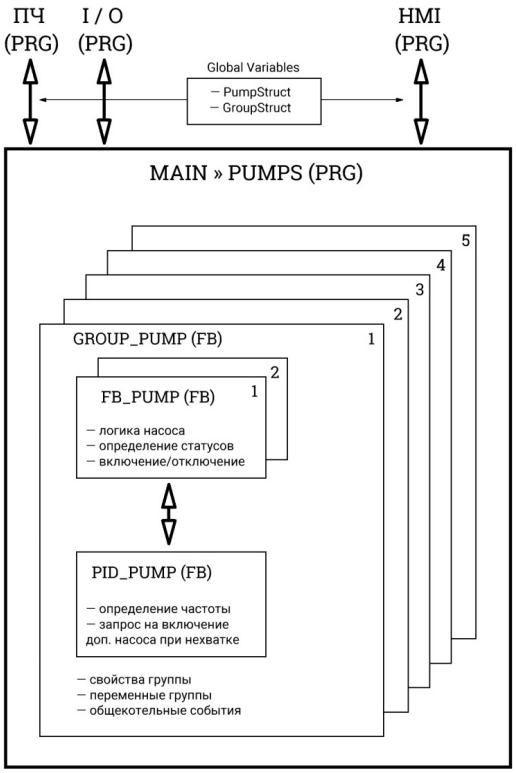


Рисунок 3.
Схема взаимодействия элементов ПО между собой

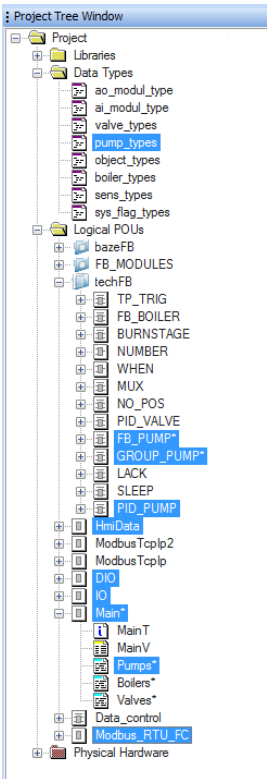


Рисунок 4.
Дерево программного проекта (выделено относящееся к насосам)

• универсальный контроллер Inline ILC 170;
• датчики давления;
• одноходовые дублирующие насосы;
• обратные клапаны;
• моноблок циркуляционных насосов;
• датчики температуры.

САР ГВС котельной состоит из следующих элементов и оборудования:

• универсальный контроллер Inline ILC 170;
• пластинчатый теплообменник;
• одноходовые дублирующие насосы;
• моноблок циркуляционных насосов;
• регулирующий трехходовой клапан с электроприводом;
• датчики давления;
• датчики температуры;
• измерительные приборы TI, PI, установленные по месту.

При расширении водогрейных котлов избыток воды скапливается в расширительных баках, при их заполнении излишек теплоносителя выводится через канализацию.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ УПРАВЛЕНИЯ КОТЕЛЬНОЙ

Данное программное обеспечение (ПО) для контроллера Inline ILC 170 фирмы PHOENIX Contact написано в среде CoDesys на языках ST и FBD, используя справочные руководства и опыт практического использования современных средств автоматики.

Схема связи элементов программы между собой приведена на рис. 3.

где I/O – входы и выходы; HMI – человеко-машинный интерфейс (панель оператора); PumpStruct и GroupStruct – структуры записи и чтения.

ПО осуществляет выполнение следующих функций:

- каскадное управление водогрейными котлами;
- управление работой насосов и отслеживание их неисправностей;
- управление работой клапанов;
- настройку ПИД-регулятора насосов и преобразователей частоты;
- передачу данных на панель оператора из

Name	Type	Usage	Description
⊟ VarInput			
work	BOOL	VAR_INPUT	Состояние запущен
flt	BOOL	VAR_INPUT	Состояние авария
notConn	BOOL	VAR_INPUT	Ошибка соединения
manuMode	BOOL	VAR_INPUT	Кнопка ручной режим
manuRun	BOOL	VAR_INPUT	Кнопка запустить в ручном
jog	BOOL	VAR_INPUT	Кнопка запустить в тестовом
stop	BOOL	VAR_INPUT	Кнопка остановить группу
sensErr	BOOL	VAR_INPUT	Ошибка датчика
sysFull	BOOL	VAR_INPUT	Система заполнена
heatType	BOOL	VAR_INPUT	Отопление
lack	BOOL	VAR_INPUT	Нехватка давления
sleep	BOOL	VAR_INPUT	Сон
delay	BOOL	VAR_INPUT	Задержка
turn	BOOL	VAR_INPUT	Переход
main	BOOL	VAR_INPUT	Флаг главный
addit	BOOL	VAR_INPUT	Флаг дополнительный
pIn	REAL	VAR_INPUT	Давление на входе
pInErr	BOOL	VAR_INPUT	Давление на входе ошибка
pOut	REAL	VAR_INPUT	Давление на выходе
pOutErr	BOOL	VAR_INPUT	Давление на выходе ошибка
pMax	REAL	VAR_INPUT	Максимальное давление на выходе насоса
dPmin	REAL	VAR_INPUT	Задание минимального перепада
manuFreq	REAL	VAR_INPUT	Задание частоты в ручном режиме
fixFreq	REAL	VAR_INPUT	Задание фиксированной частоты
autoFreq	REAL	VAR_INPUT	Задание частоты в авто режиме (выход ПИД)
localMode	BOOL	VAR_INPUT	ПЧ в местном
mtrWinding	BOOL	VAR_INPUT	Состояние обмотки двигателя
contactor	BOOL	VAR_INPUT	Состояние контактора
ON	BOOL	VAR_INPUT	
eStop	BOOL	VAR_INPUT	
QF	BOOL	VAR_INPUT	
res	BOOL	VAR_INPUT	
⊟ Var			
tonDry	TON	VAR	Таймер контроля запуска
tofDry	TOF	VAR	Таймер контроля запуска
ctuDry	CTU	VAR	Таймер контроля запуска
excess	HYS	VAR	Таймер контроля запуска
dryRun	HYS	VAR	Таймер контроля запуска
tofExcess	TOF	VAR	Таймер контроля запуска
ctudExcess	CTU	VAR	Таймер контроля запуска
tonWork	TON	VAR	Таймер контроля запуска
tonAcc	TON	VAR	Таймер разгона
tondP	TON	VAR	Таймер контроля перепада
tonNotConn	TON	VAR	Таймер контроля соединения
workOff	TP	VAR	Таймер задержки включения по отсутствию Работы
dPOff	TP	VAR	Таймер задержки включения по отсутствию перепада
lackR	R_TRIG	VAR	Таймер контроля соединения
mainR	R_TRIG	VAR	Таймер контроля соединения
⊟ VarOutput			
NextMain	BOOL	VAR_OUTPUT	Следующий
NextAddit	BOOL	VAR_OUTPUT	Следующий
run	BOOL	VAR_OUTPUT	Команда Пуск
alr	BOOL	VAR_OUTPUT	Авария
resPID	BOOL	VAR_OUTPUT	
freqSp	REAL	VAR_OUTPUT	
status	INT	VAR_OUTPUT	Состояние
state	INT	VAR_OUTPUT	Состояние

Рисунок 5.
Объявление переменных в FB_PUMP

ПЧ и дискретных и аналоговых входов элементов системы [7].

Управление насосами осуществляется при помощи нескольких функциональных блоков, связь между которыми поддерживается при помощи PumpStruct и GroupStruct. Сама структура проекта, с выделением элементов, относящимися к насосам, представлена на рис. 4.

В функциональном блоке (ФБ) FB_PUMP управления насосом определяется, какой насос должен работать и на какой частоте. Сначала прописываются проверки на возможные аварии [8].

Объявление переменных в этом функциональном блоке представлено на рис. 5.

Ниже представлен фрагмент кода, в котором вызываются функции, осуществляющие контроль параметров, нарушение которых повлечет за собой возникновение аварий [9].

```
(*1 Контроль сухого хода*)
   dryRun      (in:= pIn, sp:= 0.8, hy:= 0.4);
   tonDry      (IN:= dryRun.Q AND NOT pInErr);
   tofDry      (IN:= tonDry.Q);
   ctuDry      (CU:= tofDry.IN);
(*2 Контроль превышения выходного давления*)
   excess      (in:= pOut, sp:= pMax, hy:= 0.6);
   tofExcess   (IN:= NOT excess.Q AND NOT
pOutErr);
   ctudExcess  (CU:= tofExcess.IN);
(*3 Таймер контроля запуска*)
   tonWork     (IN := run AND NOT work AND
NOT manuMode, PT:= T#20s);
(*4 Контроль перепада давления*)
   tonAcc      (IN := work, PT:= T#2m);
   tondP       (IN := tonAcc.Q AND (pOut-pIn
< dPmin) AND NOT (pInErr and pOutErr), PT:=
T#1m);
(*5 Контроль соединения*)
   tonNotConn  (IN := notConn, PT := T#5s);
(*6 Автоквитирование*)
    (*задержки перед следующим включени-
ем*)
   workOff  (IN := tonWork.Q, PT:= T#1m);
   dPOff    (IN := tondP.Q, PT:= SEL(heatType,
T#30m, T#10m));
      IF res THEN
      workOff  (IN := FALSE, PT:= T#0s);
      dPOff    (IN := FALSE, PT:= T#0s);
   END_IF;
```

Рассмотрим работу фрагмента данного блока на примере функций, осуществляющих контроль превышения выходного давления. В этом блоке есть три функции: excess, tofExcess и ctudExces. Первая функция имеет входные параметры: вход датчика давления, максимальное возможное давление и диапазон давления (от минимального к максимальному). Вторая функция следит за работой первой и является таймером задержки отключения. Последняя функция – это счетчик, который считает, сколько раз происходило превышение выходного давления.

```
(*7 Статус-состояние*)
   IF NOT QF                          THEN
status := 23;
   ELSIF eStop                        THEN
status := 24;
   ELSIF localMode                    THEN
status := 16;
   ELSIF tonNotConn.Q                 THEN
status := 18;
   ELSIF NOT mtrWinding               THEN
status := 22;
   ELSIF contactor AND tofDry.Q       THEN
status := 21;
   ELSIF contactor                    THEN
status := 20;
   ELSIF flt                          THEN
status := 17;
   ELSIF jog                          THEN
status := 15
   ELSIF tofDry.Q                     THEN
status := 14;
   ELSIF tofexcess.Q                  THEN
status := 13;
   ELSIF manuMode AND manuRun         THEN
status := 12;
   ELSIF manuMode                     THEN
status := 11;
   ELSIF sensErr AND fixFreq=0.0      THEN
status := 10;
   ELSIF workOff.Q                    THEN
status := 9;
   ELSIF dPOff.Q                      THEN
status := 8;
   ELSIF stop                         THEN
status := 7;
```

```
    ELSIF main AND turn                    THEN
status := 6;
    ELSIF NOT sysFull AND heatType         THEN
status := 4;
    ELSIF delay                            THEN
status := 3;
    ELSIF sleep    OR NOT ON               THEN
status := 2
    ELSIF sensErr AND fixFreq>0.0          THEN
status := 10;
    ELSIF main OR (addit AND lack)         THEN
status := 1;
   ELSE                                    status
:= 0;
    END_IF;
    IF       NOT QF                        THEN
state := 3;
    ELSIF    flt OR NOT mtrWinding         THEN
state := 2;
    ELSIF    work OR contactor             THEN
state := 1;
    ELSE                                   state := 0;
```

Логика данного кода состоит в следующем: каждой аварии или определенному режиму работы насоса присваивается определенный статус, например, при возникновении сухого хода высвечивается статус 14, при аварии ПЧ – 17, а при нормальной работе -1. Соответственно идет проверка по коду по следующему принципу: если на строчку приходит FALSE, то переходим на следующую строчку, если нет, то включается статус, к которому эта строчка привязана.

КАСКАДНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВОДОГРЕЙНЫМИ КОТЛАМИ

Каскадное управление водогрейными котлами осуществляется при помощи температурно-временных интегралов. Принцип работы аналогичен двухпозиционному реле: если температура упала ниже температуры уставки, то включается дополнительный котел, если температура поднимается выше, то котел отключается [10]. Не забываем про гистерезис (нейтральная зона).

Наглядно это представлено на рис. 6.

Листинг программы, отвечающий за каскадное управление водогрейными котлами, представлен ниже.

```
VAR
      integral :CASCADE;
      Tsp    :REAL;
      T1     :REAL;
      i, j   :INT;
      main   :BYTE:=1;
      amount :BYTE:=0;
      run    :BYTE;
      nonorm :BYTE;
      boiler :ARRAY[0..num] OF BOOL;
      alarm  :ARRAY[0..num] OF BOOL;
END_VAR
(*Сбрасываем переменные для нового расчета*)
nonorm := 0;
run := 0;
(*Определяем сколько котлов в нерабочем состоянии*)
```

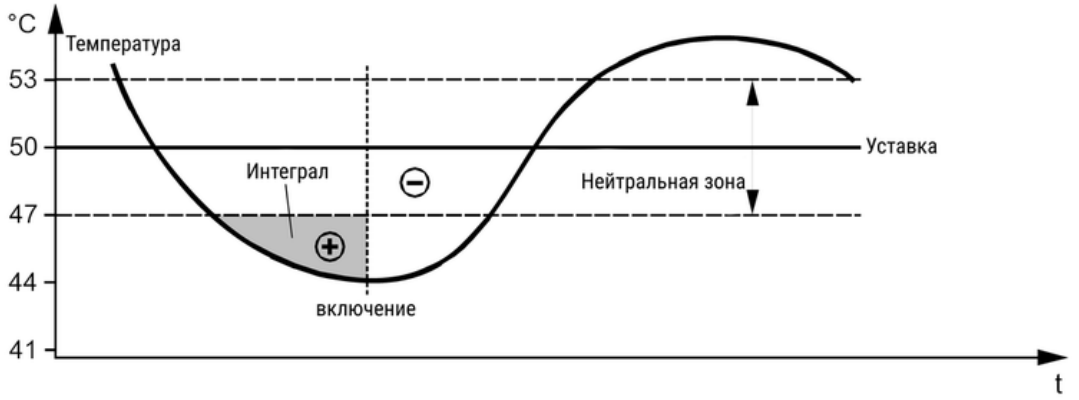


Рисунок 6.
Температурно-временной интеграл

```
FOR i:=0 TO num DO
      nonorm := nonorm + WHEN(alarm[i]);
END_FOR
(*Вычисляем интеграл*)
integral(diff   := Tsp-T1,
         stopOn  := (amount=num-nonorm),
         stopOff := (amount=0));
(*Определяем необходимое число котлов*)
amount := amount + WHEN(integra.PLUS) -
WHEN(integra.MINUS);
(*Назначаем основной котел*)
WHILE alarm[main] AND nonorm < num DO
main := NEXT(main, num); END_WHILE
(*Запускаем необходимое число котлов,
остальные останавливаем*)
FOR i := main TO main+num-1 DO
      j := SEL(i>num, i, i-num);
      IF NOT alarm[j] AND run < amount
      THEN boiler[j] := TRUE; run := run+1;
      ELSE boiler[j] := FALSE;
      END_IF
END_FOR
```

ВЫВОД

По результатам проделанной работы можно сделать следующие выводы: была разработана автоматизированная система управления процессами, протекающими в котельной;

Написано программное обеспечение для контроллера Inline ILC 170 фирмы PHOENIX Contact, осуществляющего управление котельной.

При разработке системы управления котельной было использовано каскадное управление водогрейными котлами, что позволяет эконом до 27% газа по сравнению с переключениями котлов вручную.

Результаты внедрения данной системы представлены на рис. 7-8.

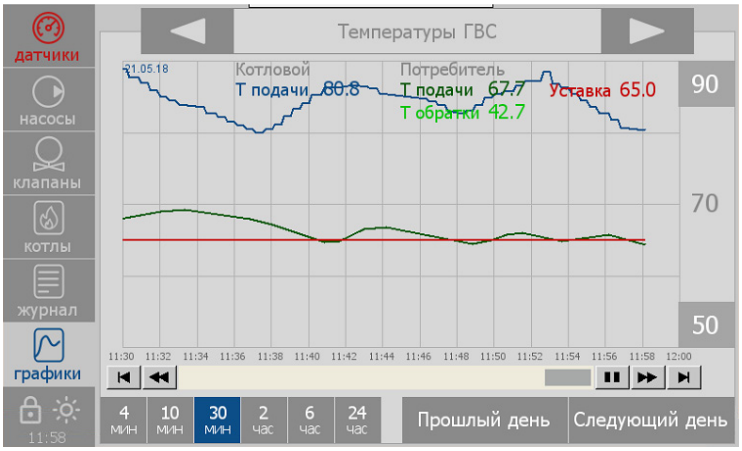


Рисунок 7.
Работа ГВС котельной спустя 30 минут

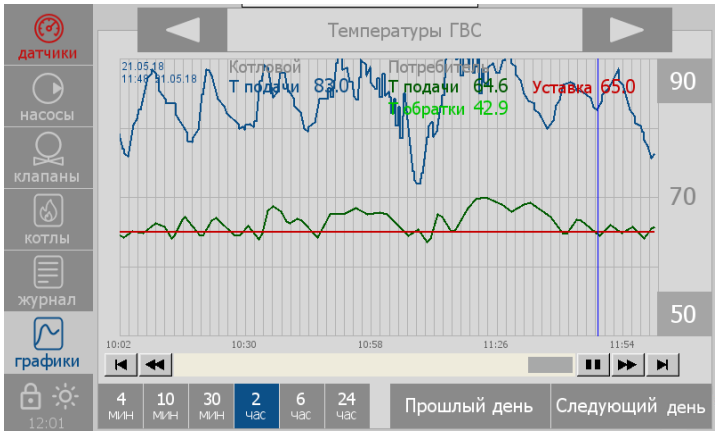


Рисунок 8.
Работа ГВС котельной спустя 2 часа

Список литературы:

1. *Потапенко А.Н.* Особенности имитационного моделирования управления процессом теплоснабжения зданий с учетом экспериментальных данных / А.Н. Потапенко, А.С. Солдатенков, А.О. Яковлев // Сб. докл. междунар. науч.-практич. конф..Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в стройиндустрии (XVIII научные чтения). –Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2007. – с. 98-101.

2. *Потапенко А.Н.* Управление процессом теплоснабжения зданий с возможностью имитационного моделирования / А.Н. Потапенко, А.С. Солдатенков, А.О. Яковлев // Сб. докл. Междунар. науч.- практич. конф.: Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в стройиндустрии (XVIIIнаучные чтения). – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2007. – с.102-106.

3. *Солдатенков А.С.* Инновации в автоматизированных системах централизованного и децентрализованного теплоснабжения зданий образовательного назначения / А.С. Солдатенков, Е.А. Потапенко, А.О. Яковлев // Известия Самарского научного центра. Российской академии наук. – 2010. – Т.12. №4 (3). – с. 618-622.

4. *Сканави А.Н*. Отопление / А.Н. Сканави, Л.М. Махов. – Москва: Изд-во АСВ, 2002. - 576 с.

5. *Шилькрот Е.О.* Эффективность систем отопления и вентиляции зданий / Е.О. Шилькрот // Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика (АВОК). – 2003. – №4. – с. 6-11.

6. *Потапенко А.Н*. Датчики и регуляторы в системах теплоснабжения: учебное пособие / А.Н. Потапенко – Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. – 251 с.

7. *Солдатенков А.С.* Математическое моделирование системы управления теплопотреблением комплекса зданий: монография/А. С. Солдатенков. -Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. -176 с.

8. *Галенин Д.В*. Расчет и построение переходной характеристики «датчик - объект управления» по заданному каналу регулирования с раскрытием структуры контроллера ECL COMFORT 310/ Д.В. Галенин, С.С. Бобенко// Международная научно-практическая конференция. -Чехия, 2017. -С. 31-35.

9. *Галенин Д.В*. Современные контроллеры в автоматизированных системах теплоснабжения / Д.В. Галенин, С.С. Бобенко//Международная научно-практическая конференция. -Казахстан, 2017. -С. 47-52.

10. *Галенин Д.В.* Разработка локальной системы автоматического регулирования подачи газа в горелочное устройство парового котлоагрегата / Д.В. Галенин, С.С. Бобенко//Международная научно-практическая конференция. -Молдаваия, 2017. -С. 17-22.