

Государственный военно-промышленный комитет  
Республики Беларусь

**7-я МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
ПО ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИМ ПРОБЛЕМАМ,  
ПРОБЛЕМАМ ОБОРОНЫ И БЕЗОПАСНОСТИ,  
ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИЙ ДВОЙНОГО  
ПРИМЕНЕНИЯ**

(Минск, 20–22 мая 2017 г.)

Сборник научных статей

В трех частях

Часть 1



МИНСК  
ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЧЕТЫРЕ ЧЕТВЕРТИ»  
2017

УДК 623(082)  
ББК 68.8я43  
С28

**7-я Международная** научная конференция по военно-техническим проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения (Минск, 20–22 мая 2017 г.) : сборник научных статей. В 3 ч. Ч. 1 / Государственный военно-промышленный комитет Республики Беларусь. — Минск : Четыре четверти, 2017. — 404 с.

ISBN 978-985-581-106-1 ч. 1

В сборник включены материалы 7-й Международной конференции по военно-техническим проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения (20–22 мая 2017 г., Минск, Беларусь), на которой представлены доклады по военно-техническим аспектам обороны и безопасности, теории вооружения и военной техники, перспективным решениям создания, модернизации и утилизации ВВТ, а также использованию технологий двойного применения.

**УДК 623(082)**  
**ББК 68.8я43**

The collection includes materials of the 7th International scientific conference for military and technical issues, defence and security problems, application of double-purpose technologies (May 20–22, 2017, Minsk, Belarus), that presents reports on military and technical aspects of defence and security, theory of weapons and military hardware, perspective solutions for production, modernization and utilization of weapons and military equipment, and also on application of double-purpose technologies.

**ISBN 978-985-581-106-1 (ч. 1)**  
**ISBN 978-985-581-105-4**

© Оформление. ООО «Лаборатория интеллекта», 2017



## ОГЛАВЛЕНИЕ

### ДОКЛАДЫ ПЛЕНАРНОГО ЗАСЕДАНИЯ

---

#### **ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПЕРЕДАЧИ. ОПЫТ СОЗДАНИЯ В ОАО «МЗКТ» И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

Белабенко Д.С. 9

#### **НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КООПЕРАЦИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ОСЭ ПРИ РАЗРАБОТКЕ БАК РАЗЛИЧНОГО УРОВНЯ. ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ**

Быков И.М., Кулага В.В. 17

#### **ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ РАЗЛИЧНОГО УРОВНЯ И ПУТИ РЕШЕНИЯ**

---

#### **О НОРМАТИВНОЙ ПРАВОВОЙ БАЗЕ РАЗРАБОТКИ, ПРОИЗВОДСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ БАК**

Анохин А.М. 21

#### **КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ РАЗНОТИПНЫХ СЕНСОРОВ В ОБЪЕКТАХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ВОЙСК**

Вайтюлевич М.М., Васковская Л.Ф., Грищенков М.Л., Осущенко П.А. 27

#### **О МЕТОДИЧЕСКОМ ПОДХОДЕ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОБЛИКА СИСТЕМЫ БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИИ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Вервейко Б.М., Гирис О.Б., Гогин А.А., Ежов С.Ю. 28

#### **ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ СВЯЗИ С БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ НА БОЛЬШИХ РАССТОЯНИЯХ И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

Гогин А.А., Ежов С.Ю. 40

#### **САМОНАВОДЯЩИЙСЯ БЕСПИЛОТНЫЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ АВИАЦИОННОГО БЕСПИЛОТНОГО КОМПЛЕКСА**

Гриднев Ю.В., Яцына Ю.Ф., Пручковский С.В. 47

#### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРУППОВОГО ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ В УСЛОВИЯХ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ**

Давыдовский А.Г., Андреев А.И. 55

#### **СИСТЕМА ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ**

Дьяков Д.А., Говин А.А. 64

#### **ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОТОМ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА**

Кулага В.В. 66



<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРЕХСТЕПЕННОГО ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО СТЕНДА ДЛЯ НАСТРОЙКИ БОРТОВЫХ СИСТЕМ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА И ПОЛУНАТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА НАВЕДЕНИЯ</b> Левадный А.Н.	72
<b>КОМПЛЕКСНЫЙ ТРЕНАЖЕР ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ОПЕРАТОРОВ БЕСПИЛОТНОГО АВИАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА</b> Пручковский С.В.	76
<b>ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ</b> Романёнок С.Н., Рогачевский К.Е.	83
<b>МЕТОДОЛОГИЯ ВНЕШНЕГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТАКТИЧЕСКИХ БАК</b> Сахарук Д.А., Шабанов В.П.	90
<b>О РАДИОЛОКАЦИОННОЙ «ЗАМЕТНОСТИ» БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, ПРОИЗВОДИМЫХ В НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ</b> Семак Ю.И.	92
<b>ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ</b> Сивашко С.Б., Лисичкин А.В.	97
<b>МАЛОГАБАРИТНЫЕ УПРАВЛЯЕМЫЕ СТАБИЛИЗИРОВАННЫЕ ВИДЕОСИСТЕМЫ В СОСТАВЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ СЕРИЙНО ВЫПУСКАЕМЫХ В НАН БЕЛАРУСИ</b> Щавлев А.А., Левадный А.Н., Яцына Ю.Ф.	103
<b>МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ БЕСПИЛОТНЫЕ АВИАЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ</b> Яцына Ю.Ф.	111
<b>КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ</b>	
<b>Артиллерийский метеорологический комплекс АМК-01, как автономный универсальный элемент переносной автома- тизированной системы управления огнем артиллерийских подразделений</b> Абраменко В.Г., Вальковский Г.В., Почечуев С.Д., Стрибук П.В.	118
<b>ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВОЙСК В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ</b> Аладко А.Е.	126





<b>НОВЫЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ, СОЗДАННЫЕ ОАО «МНИПИ»</b> Володкевич А.А., Фирман М.Г.	130
<b>ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СРЕДСТВ РЕГИСТРАЦИИ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ СИЛОВЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК</b> Гришин С.А., Климентовский В.В.	140
<b>БАЗОВЫЙ СТРУКТУРНЫЙ КРИСТАЛЛ МН2ХА010 – СРЕДСТВО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОКАНАЛЬНЫХ АНАЛОГОВЫХ МИКРОСХЕМ ДЛЯ ЖЕСТКИХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ</b> Дворников О.В., Дятлов В.Л.	146
<b>КОМПЛЕКТ МНОГОКАНАЛЬНЫХ АНАЛОГОВЫХ МИКРОСХЕМ НА ОСНОВЕ БАЗОВОГО СТРУКТУРНОГО КРИСТАЛЛА МН2ХА010</b> Дворников О.В., Дятлов В.Л.	152
<b>АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБО- РАТОРНЫХ РАБОТ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ И ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ</b> Заневский Д.В., Шостак С.А.	158
<b>ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ РАДИАЦИИ ДЛЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ</b> Кожемякин В.А., Полищук В.П.	164
<b>МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИ- КОВЫХ ИЗДЕЛИЙ В ПРОЦЕССЕ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ</b> Лисенков Б.Н., Грицев Н.В.	174
<b>АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ, ВОЗМОЖНОСТЕЙ И ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ИДЕОЛОГИЧЕСКОЙ РАБОТЕ С ЛИЧНЫМ СОСТАВОМ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ</b> Русаков А.С.	182
<b>БЕЛОРУССКОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ СИСТЕМ УЧЕТА И КОНТРОЛЯ В ВООРУЖЕННЫХ СИЛАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ</b> Сытова С.Н., Дунец А.П., Коваленко А.Н., Мазаник А.Л., Сидорович Т.П., Черепица С.В., Семашко А.А., Дегтерюк Г.Г.	187
<b>СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА С ПОВЫШЕННЫМИ ТРЕБОВАНИЯМИ К СПЕКТРАЛЬНОЙ И ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОДНОРОДНОСТИ СВЕТОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК</b> Трофимов Ю.В., Лишик С.И., Поседейко В.С., Цвирко В.И., Керножиц- кий Е.В., Челябин А.Е., Першукевич П.П., Бегунов П.С.	196
<b>ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКАЯ ПЕРИМЕТРОВАЯ ОХРАННАЯ СИСТЕМА «ЗУБР-ИНТЕЛЛЕКТ»</b> Чернышёв В. П., Альгина Е.Г., Поляков А.В.	201

---

## СРЕДСТВА ПОДВИЖНОСТИ ВООРУЖЕНИЯ

---

- РАСЧЁТНОЕ ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЬНОГО РЯДА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ДЛЯ СЕМЕЙСТВА ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ ОАО «МЗКТ». ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА FLOWVISION ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЛОПАСТНОЙ СИСТЕМЫ**  
Белабенко Д.С., Романенко С.А., Шмелев В.В. 203
- РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ГМП И ПРЕДПОСЫЛКИ ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ.**  
Белабенко Д.С., Башарков А.С., Севрук В.С. 217
- СТАБИЛИЗИРОВАННЫЙ ПРИВОД ОТБОРА МОЩНОСТИ МОБИЛЬНОЙ МАШИНЫ**  
Бобровник А.И. 222
- УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ПОДВЕСКОЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ ЗАДАННОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ПЛАТФОРМЫ ШАССИ**  
Бойков В.П., Жданович Ч.И., Мамонов М.И. 228
- ПОДВЕСКА МНОГОЦЕЛЕВОГО АВТОМОБИЛЯ С АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ ГАШЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ НА ОСНОВЕ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ МАГНИТОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ ДЕМПФИРУЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ**  
Бурьян В.А., Николаев Ю.И., Ефремов В.Л., Сосно А.В., Коробко Е.В., Кузьмин В.А., Билык В.А., Хитриков С.В. 230
- СРЕДСТВА ПОДВИЖНОСТИ ВООРУЖЕНИЯ ОАО «МЗКТ» - СОСТОЯНИЕ, НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ И ПУТИ РАЗВИТИЯ**  
Бурьян В.А., Николаев Ю.И., Гринюк В.С., Ячник А.Н. 234
- ЛЕГКОБРОНИРОВАННЫЕ АВТОМОБИЛИ. ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ И НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ**  
Гарах В.А., Поплавский Д.Э., Рудович В.М. 242
- КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЬНОГО РЯДА ЛЕГКОБРОНИРОВАННЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ОАО «МЗКТ»**  
Гарах В.А., Поплавский Д.Э., Рудович В.М. 246
- ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ ПОКРЫТИЙ И ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ И ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**  
Девоyno О.Г., Соколов И.О. 251
- МЕТОДИКА ИДЕНТИФИКАЦИИ ДОРОЖНЫХ УСЛОВИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛАМИ МНОГООСНЫХ МОБИЛЬНЫХ МАШИН**  
Дубовик Д.А., Мыльников Е.В., Савченко В.В. 256



<b>НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЕССТУПЕНЧАТЫХ ГИДРООБЪЁМНО-МЕХАНИЧЕСКИХ ТРАНСМИССИЙ ТРАНСПОРТНО- ТЯГОВЫХ МАШИН</b>	
Дубовик Д.А., Прибыльский В.И.	265
<b>ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РЕГУЛИРУЕМОЙ ГИДРОПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ПОДВЕСКОЙ КОЛЕСНОГО ШАССИ</b>	
Ефремов А.Ю., Кусков К.Н., Шанталосов О.Л.	276
<b>ПРОЕКТИРОВАНИЕ НЕСУЩИХ И СИЛОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ МАШИН С ПРИМЕНЕНИЕМ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ</b>	
Ивченко В.И., Шмелев А.В.	279
<b>РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОТИВОМИННОЙ ЗАЩИТЫ ЛЕГКОБРОНИРОВАННОГО АВТОМОБИЛЯ МЗКТ-490100</b>	
Раевский С.В., Кисельков А.Л.	289
<b>РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРЕДПОСЫЛКИ ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИИ МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ ГМП С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА KissSoft/KissSys</b>	
Раевский С.В., Романенко С.А., Васильев В.В.	292
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ТРАНСМИССИИ МНОГООСНОГО АВТОМОБИЛЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ МАТНСАД</b>	
Раевский С.В., Семенов Р.А.	294
<b>ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ НАГРУЖЕННОСТИ АГРЕГАТОВ ТРАНСМИССИИ КОЛЕСНОЙ МАШИНЫ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕРОВНОСТЕЙ ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ</b>	
Сидоров С.А., Сонич О.А.	296
<b>ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТРЕБОВАНИЙ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫХ К ОБРАЗЦАМ ВОЕННОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ</b>	
Шостак В.Г., Назин А.Е.	298
<b>МОДЕРНИЗАЦИЯ, РЕМОНТ И УТИЛИЗАЦИЯ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ</b>	
<b>ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ВООРУЖЕНИЮ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ</b>	
Батеновский М.В., Чугай К.Н., Степченков О.В.	303
<b>МЕТОДИКА ПОИСКА РАЦИОНАЛЬНОГО МАРШРУТА ВЫПОЛНЕНИЯ ВОИНСКОЙ ПЕРЕВОЗКИ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОТИВНИКА НА МОСТОВЫЕ СООРУЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВОЙ КАРТЫ МЕСТНОСТИ</b>	
Демидов П.Г., Бобрицкий С.М.	309



**РАЗРАБОТКА СОЕДИНИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ДЛЯ  
КОМБИНИРОВАНИЯ ТАБЕЛЬНЫХ ИМУЩЕСТВ КРАТКОСРОЧНЫХ  
МОСТОВ**

Доломанюк Р.Ю., Махаев К.В.

314

**АНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ  
ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ В ОПЕРАЦИИ**

Дубина Ю.В., Шакуро А.А.

318

**ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ ВЗРЫВОВ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ  
БОЕПРИПАСОВ В МЕСТАХ ИХ ХРАНЕНИЯ ДЛЯ ОТДЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ  
И СООРУЖЕНИЙ**

Качко В.А., Тумар В.А.

325

**РАЗВИТИЕ СИСТЕМ ПРИВодОВ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ  
ТРАНШЕЙНЫХ МАШИН**

Котлобай А.Я., Котлобай А.А., Герасимюк А.И., Юнусов Ю.Ш.

334

**НАПРАВЛЕНИЯ СНИЖЕНИЯ МАТЕРИАЛОЕМКОСТИ  
ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРИВодОВ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ  
ИНЖЕНЕРНЫХ МАШИН**

Котлобай А.Я., Котлобай А.А., Грубеляс В.В.

344

**РЕМОНТ ДЕРЕВЯННЫХ И МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ СТРЕЛКОВОГО  
ВООРУЖЕНИЯ**

Марданов А.В., Малашков Д.В., Токаревский А.В.

351

**ВИРТУАЛЬНЫЙ СИМУЛЯТОР ТММ-3**

Миронов Д.Н., Иодо С.В.

354

**ОБНАРУЖЕНИЕ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ БИСТАТИЧЕСКИМИ  
РАДИОЛОКАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ В ПОЛЕ ПОДСВЕТА  
ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СПУТНИКОВ**

Савенко С.А. , Гладейчук В.В. , Чугай К.Н.

362

**МАШИНА ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОМОЩИ НА БАЗЕ АВТОМОБИЛЯ  
УАЗ-390945**

Тарасенко П.Н.

365

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАГЛУБЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

Чугай К.Н. , Демьянюк Д.В. , Максимович Е.С.

373

**ФОРМИРОВАНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В  
РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ**

Чугай К.Н. , Демьянюк Д.В. , Савенко С.А.

381

**ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ  
МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ И УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ  
АВИАТЕХНИКИ ИЗ СПЛАВОВ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И УЛУЧШЕНИЯ ИХ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ, ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ  
СВОЙСТВ**

Юркевич С.Н., Алифанов А.В., Люцкевич А.И., Юркевич К.С.

388



## ДОКЛАДЫ ПЛЕНАРНОГО ЗАСЕДАНИЯ

УДК 629.113-585

### ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПЕРЕДАЧИ. ОПЫТ СОЗДАНИЯ В ОАО «МЗКТ» И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

**Белабенко Д.С.**

*Открытое акционерное общество «Минский завод колесных тягачей»*

**Опыт создания ГМП.** ОАО «МЗКТ» имеет более полувековой опыт разработки, изготовления и испытания гидромеханических передач (ГМП). В 1960-ых годах на спецпроизводстве МАЗ (в настоящее время ОАО «МЗКТ») была разработана ГМП-543, которая стала первым образцом данного вида трансмиссий собственного производства, применяемая в составе колесных тягачей. ГМП-543 рассчитывалась на мощность 525 л.с., имеет 3 передачи переднего хода и одну передачу заднего хода. Трансмиссия оснащена командной гидравлической системой управления.

В 1970-ых годах, шагая в ногу со временем, на колесных тягачах появилась новая ГМП-547 с четырьмя передачами переднего хода и двумя передачами заднего хода. Трансмиссия рассчитывалась на мощность до 710 л.с. ГМП оснащена автоматической электрогидравлической системой управления.

В 1980-ых годах ГМП-547 была модернизирована для возможности установки на тягачи с мощностью двигателя до 800 л.с.

Для оценки технического уровня производимой техники целесообразно применять удельные показатели. В частности для ГМП такими показателями можно считать удельные мощность, входной и выходной крутящие моменты, количество передач и диапазон передаточных чисел. Для простоты можно рассматривать один параметр, например, удельную мощность (отношение максимальной передаваемой мощности к массе ГМП).

Сравнение ГМП ОАО «МЗКТ» разработанных в период до 1980-ых годов по удельной мощности показано в таблице 1.

*Таблица 1 – Сравнение ГМП ОАО «МЗКТ»*

Модель ГМП	Удельная мощность, кВт/кг
ГМП-543	0,422
ГМП-79221	0,387
ГМП-74131	0,442

Для зарубежных ГМП, разработанных на момент 1984 года, (Allison CLBT 750, DF-8961, CLBT 6061; Twin Disc TAC 61-3101; ZF 4PW200K2; Clark

16000, 8000, 5000, 3000) аналогичный показатель находился в диапазоне от 0,3 до 0,5 кВт/кг [1] (Рисунок 1).

Дальнейшее развитие автомобилестроения потребовало от производителей сокращать металлоемкость продукции, улучшать топливную экономичность, повышать качество переходных процессов. Поэтому в 1990-ых годах на ОАО «МЗКТ» была начата разработка ГМП перспективного семейства. За основу разработки была принята кинематическая схема по патенту General Motors № 4070927 от 4 июня 1976, действие которого истекло в 1996 году. Кинематическая схема позволяет реализовать шесть передач переднего хода и одну передачу заднего хода.

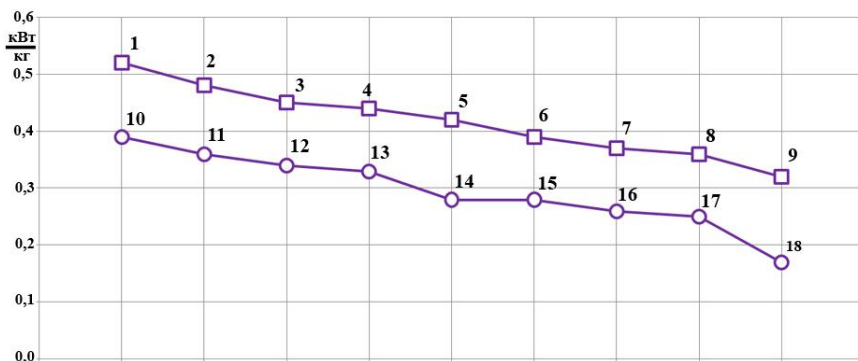


Рис. 1 – Удельная мощность отечественных и зарубежных ГМП

1 – Allison CLBT 750 (5+1); 2 – Twin Disc TAC 61-3101 (5+1); 3 – Allison DF-8961 (6+1); 4 – Clark 16000 (4+4); 5 – Clark 8000 (4+4); 6 – Allison CLBT 6061 (6+1); 7 – Clark 5000 (4+4); 8 – Clark 3000 (4+4); 9 – ZF 4PW200K2 (4+2); 10 – МАЗ 4+1; 11 – БЕЛАЗ 3+1; 12 – МАЗ 3+1; 13 – БЕЛАЗ 5+2; 14 – БЕЛАЗ 4+4; 15 – МоАЗ 4+4; 16 – БЕЛАЗ 6+2; 17 – МоАЗ 6+2; 18 – ДорМАЗ 6+3.

Стоит отметить, что данная схема, разработанная более 40 лет назад, не потеряла актуальности и по сей день. Она успешно применяется не только на ГМП компании Allison, но и в конструкции ГМП EcoLife компании Zahnradfabrik [2]. Японские производители в последнее время патентуют данную схему для установки ГМП на легковые автомобили с передним приводом и поперечной установкой двигателя.

Управление передачей осуществлялось автоматической электронно-гидравлической системой. Система управления была основана на применении дискретных электрогидравлических клапанов, имела гидравлическую защиту от включения более одной передачи. ГМП имеет аварийную гидравлическую систему управления с механическим приводом, которая позволяет включить первую передачу переднего хода и передачу заднего хода при выходе из строя электронной системы управления. С целью обеспечения требований Министерства обороны конструктивно элементы гидравлической системы и системы управления размещены снаружи, чтобы обеспечить их замену без демонтажа ГМП. В конструкции ГМП имеется задний насос, приводимый от выходного



вала, что позволяет осуществлять буксировку автомобиля без отсоединения карданного вала от ГМП и запускать двигатель методом буксировки.

В 2000-ых годах ОАО «МЗКТ» изготовило и провело испытания опытного образца ГМП-3361, рассчитанной на мощность 330 л.с. и передачу входного крутящего момента 1300 Н·м. После окончания дорожных испытаний в составе шасси в объеме 40000 км конструкция была доработана и рекомендована для серийного производства.

К 2010 году модельный ряд ГМП был расширен за счет разработки новых передач 4361, 5561, 6561 на мощность 430, 550 и 650 л.с. соответственно. При этом была модернизирована система управления. Взамен дискретных электрогидравлических клапанов были установлены пропорциональные электрогидравлические модули. Алгоритм управления переключением передач был изменен для учета дополнительной информации, поступающей от трех датчиков частоты вращения (взамен одного, применявшегося ранее), семи датчиков давления (взамен двух, применявшихся ранее). Была внедрена система диагностики ГМП, позволяющая отслеживать давления в бустерах, главное давление, давление смазки, режим работы гидродинамического трансформатора (ГДТ), передаточное число редуктора и др.

Сравнивая технический уровень ГМП перспективного семейства с зарубежными аналогами (Рисунок 2) можно отметить, что показатель удельной мощности для него находится в пределах 0,4...0,7 кВт/кг [3]. Причем, большие значения относятся к ГМП, передающим большую мощность. Такая зависимость обуславливается максимальной унификацией модельного ряда. Поэтому в качестве практически достижимого технического уровня для ГМП ОАО «МЗКТ» можно считать величину 0,6...0,7 кВт/кг.

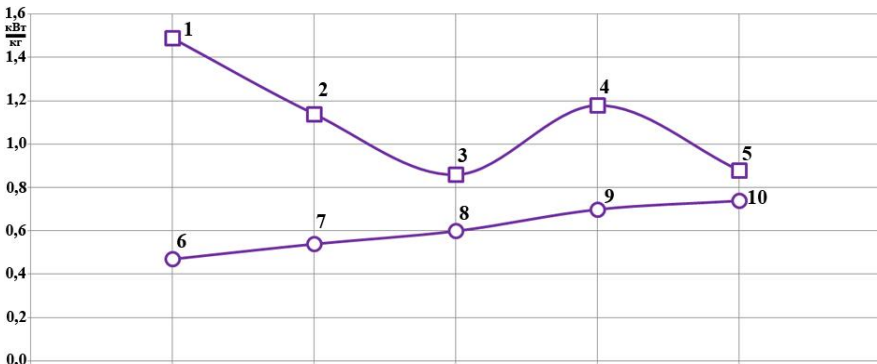


Рис. 2 – Удельные мощности современных ГМП производства ОАО «МЗКТ» и компании Allison

1 – 2100 Series; 2 – 3200 Series; 3 – 3200 Series \*; 4 – 4000 Series; 5 – 4000 Series \*; 6 – ГМП 2361\*; 7 – ГМП 3361\*; 8 – ГМП 4361\*; 9 – ГМП 5561\*; 10 – ГМП 6561\*;

\* с учётом установленной коробки отбора мощности.

При этом для зарубежных аналогов того же мощностного диапазона, построенных по той же кинематической схеме удельная мощность находится в диапазоне 0,8...1,2 кВт/кг [4] (Рисунок 2). Конечно, необходимо также учитывать конструктивные особенности ГМП ОАО «МЗКТ», обеспечивающие выполнение требований Министерства обороны и утяжеляющие трансмиссию. Таким образом, ориентиром для производителей аналогичных ГМП можно считать показатель удельной мощности равный 1 кВт/кг.

К 2017 году модельный ряд ГМП ОАО «МЗКТ» расширен за счет трансмиссии на мощность 230 л.с. (ГМП-2361). Завершено проектирование ГМП-8582 на мощность 850 л.с. На данный момент ОАО «МЗКТ» занимается адаптацией ГМП модельного ряда к вновь разрабатываемой технике собственного производства и других производителей. Потребителем ГМП ОАО «МЗКТ» являются производители Российской Федерации, поставляющие свою продукцию Министерству обороны: ОАО «КАМАЗ», ОАО «АЗ» УРАЛ», ОАО «МК» Витязь», ООО «ВИЦ».

Перспективы развития ГМП. ОАО «МЗКТ» ведет работы по увеличению количества потребителей ГМП. Перспективными являются направления по применению ГМП на технике ОАО «ИФ ЛРЗ», ХК «АвтоКрАЗ», ОАО «НПК «Уралвагонзавод», ОАО «МАЗ», ОАО «РИАТ», ОАО «БЕЛАЗ».

Главными мировыми тенденциями по развитию ГМП можно считать снижение расхода топлива, уменьшение массы, увеличение количества передач. Основными направлениями работы ОАО «МЗКТ» по совершенствованию ГМП являются: улучшение качества переходных процессов, развитие модельного ряда ДГТ, снижение металлоемкости конструкции.

Отличие между направлениями разработок зарубежных компаний и ОАО «МЗКТ» в области ГМП обусловлено рядом объективных факторов, которые рассматриваются ниже.

Из опыта эксплуатации автомобильной техники известно, что в среднем примерно 3,5% энергии, получаемой при сгорании топлива, рассеивается при торможении автомобиля. Это значит, что, например, превышение массы ГМП ОАО «МЗКТ» на 100 кг по сравнению с лучшими зарубежными аналогами приведет к увеличению расхода топлива автомобиля массой 40 тонн на 0,01%. При более высокой массе автомобиля значение будет еще меньше.

Это позволяет таким компаниям как Voith при более высокой массе ГМП и более старой конструкции конкурировать на рынке ГМП для автобусов с компаниями Allison и Zahnradfabrik.

Значения удельных мощностей ГМП DIWA компании Voith показаны в таблице 2. Основным направлением по снижению расхода топлива автомобилей с современными ГМП является совершенствование системы управления. Алгоритм системы управления настраивается на минимальный расход топлива при выполнении требуемых тягово-динамических показателей. Настройка может иметь различную степень сложности. Она может быть индивидуальной или автоматической в зависимости от топографии местности. Причем, топография может учитываться как благодаря датчикам, установленным на ГМП, так и благодаря глобальным картам местности, получаемым от GPS [5].





Таблица 2 – Удельные мощности ГМП DIWA

Модель ГМП	Удельная мощность, кВт/кг
D 851.2	0,685
D 863	0,891
D 854.2	0,607
D 864	0,790

Анализ зарубежных ГМП показывает, что работы по снижению расхода топлива за счет применения современных алгоритмов управления возможны для транспортных средств, движущихся по известному маршруту, разведанной местности или по типовым участкам дороги.

Техника ОАО «МЗКТ» и других производителей, на которую устанавливаются ГМП производства ОАО «МЗКТ», предназначена для движения по бездорожью, пересеченной местности, труднопроходимым участкам. В таких условиях двигатель почти все время работает на высоких оборотах и развивает мощность близкую к максимальной. К тому же зарубежные алгоритмы управления ГМП обеспечивают экономию топлива не сами по себе, а при наличии двигателя с электронным управлением.

Система управления ГМП ОАО «МЗКТ» позволяет производить настройку двух режимов автоматического переключения передач. Режимы отличаются точками переключения передач, а, следовательно, и максимально допустимой к использованию мощностью на каждой передаче. Более ранние точки переключения передач позволяют выводить двигатель на режимы с уменьшенным расходом топлива.

Значительное снижение массы ГМП возможно осуществить только при массовом выпуске ГМП, когда дорогие и высокопроизводительные технологии литья и штамповки окупаются за счет значительного количества выпускаемой продукции. Можно отметить, что компании Allison и Zahnradfabrik постоянно стремятся снизить массу своих трансмиссий. Даже снижение массы на несколько килограммов считается достижением, так как при годовом выпуске более 100000 единиц ГМП приводит к экономии сотен тонн металла и снижает затраты производства.

Увеличение количества передач в редукторе ГМП является одной из тенденций, которая просматривается на примере ведущих производителей в этом секторе автомобилестроения. Учитывая достаточность для конкурентоспособности трех-четырех передач на примере ГМП DIWA компании Voith, можно предположить, что рост количества передач имеет своей целью не столько снижение расхода топлива и получение других технических преимуществ, сколько маркетинговый ход для переоснащения рынка и расширения его доли за счет вытеснения более мелких производителей ГМП и других трансмиссий. Например, компания Allison позиционирует свою разработку TC-10 (десятиступенчатая ГМП) в качестве замены механическим коробкам передач с ручным и автоматизированным управлением на рынке автопоездов США [6], [7], [8].

Качество переходных процессов ГМП определяется как конструкцией исполнительных механизмов, гидравлической системы, так и алгоритмом управления электромагнитами гидравлических клапанов. В последнее время среди патентов ведущих мировых производителей ГМП появились изобретения относящиеся к исполнительным механизмам, что подтверждает сохранение актуальности по модернизации гидравлической системы с целью повышения качества переходных процессов. Анализ обзора зарубежных алгоритмов управления переключением передач в ГМП [9] и проведенные опытные работы показали, что одним из составляющих элементов повышения качества переходных процессов является материал фрикционных накладок. Применяемые за рубежом фрикционные диски с накладками на целлюлозной основе позволяют более точно контролировать момент начала срабатывания фрикциона. В ГМП ОАО «МЗКТ» применяются металлокерамические диски с накладками из материала МК-5. Отличительной особенностью этого материала является хорошая износостойкость, но при этом коэффициент трения скольжения в несколько раз ниже коэффициента трения покоя. Данная особенность учтена в алгоритме, который радикально отличается от применяемых в зарубежных ГМП.

Как было сказано выше, техника ОАО «МЗКТ» предназначена для движения по пересеченной местности, что накладывает ограничения на режимы работы ГДТ. Импортные аналоги ГМП, применяемые на автомобилях, предназначенных для перемещения по дорогам с хорошо прогнозируемым маршрутом, используют режим разблокированного ГДТ только на первой (иногда на второй) передаче, что позволяет экономить топливо. При этом импортные ГДТ конструктивно ориентированы не на получение максимального коэффициента полезного действия (КПД), а на уменьшение габаритов, массы и стоимости. ГМП ОАО «МЗКТ» предусматривает более широкое использование режима разблокированного ГДТ, что требует ориентацию на повышенный КПД в ущерб массово-габаритным показателям и стоимости, которая будет окупаться при эксплуатации. В связи с вышеописанным на ОАО «МЗКТ» ведется работа по расширению модельного ряда ГДТ с целью оптимального совмещения их характеристик с применяемыми двигателями.

Как видно из вышеприведенного материала, снижение металлоемкости продукции является необходимым направлением, но ограничивающимся коммерческими требованиями. Таким образом для потребителя автомобильной техники с ГМП доходы, затраты и прибыль, связанные с ее эксплуатацией можно условно изобразить в виде графика, представленного на рисунке 3.

Графики показывают отличие двух групп производителей ГМП, которые представляют разный технический уровень по удельному коэффициенту мощности. Применение ГМП компаний Allison и Zahnradfabrik, позволяют повысить грузоподъемность за счет меньшей массы трансмиссии, что равносильно увеличенным доходам потребителя. В свою очередь конкуренция Voith и ОАО «МЗКТ» в качестве поставщиков ГМП возможна при одинаковой прибыли для потребителя.

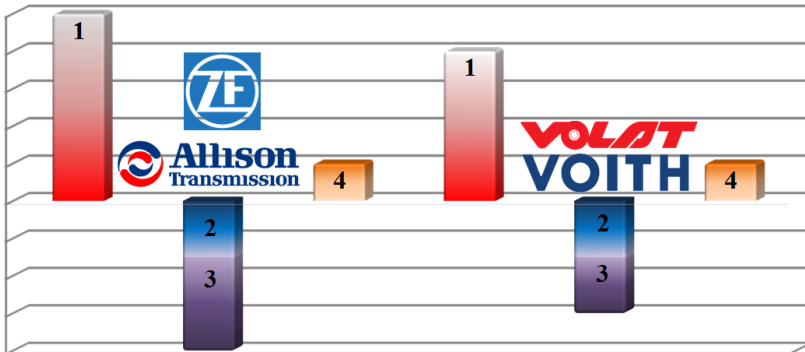


Рис. 3 – Затраты и прибыль потребителей автомобильной техники с ГМП

1 – доход; 2 – затраты связанные с применением ГМП; 3 – затраты связанные с применением ГМП конкретного производителя; 4 – прибыль

Поэтому кроме повышения дохода, за счет снижения массы ГМП, может рассматриваться направление по снижению затрат. Затраты потребителя, в рассматриваемом случае, можно разделить на зависящие от типа трансмиссии и от производителя трансмиссии. Как было показано выше удельная мощность применяемых ГМП незначительно влияет на затраты, связанные с расходом топлива и их можно считать одинаковыми для всех производителей современных ГМП.

Поэтому переменная часть затрат, зависящая от производителя ГМП, является одним из ключевых факторов в повышении прибыли потребителя. Переменные затраты учитывают не только фактические расходы (например, на техническое обслуживание и ремонт), но и риски связанные с применением ГМП того или иного производителя. Например, компания Zahnradfabrik предлагает дополнительные услуги по исследованию автобусного парка потребителя с целью минимизации затрат [2]. То есть продается продукт, который может снизить затраты только потенциально.

Одним из видов снижения для потребителя рисков является сотрудничество с производителями ГМП, имеющими опыт в определенном секторе автомобилестроения. Например, компания Voith производит ГМП для автобусной техники, компания Zahnradfabrik – для легковых автомобилей и автобусной техники, компания Allison – для грузовых автомобилей (поставляет ГМП для автобусной техники). ОАО «МЗКТ» имеет пятидесятилетний опыт применения ГМП на технике, эксплуатируемой Министерством обороны, которая требует простоты в обслуживании и находится в тяжелых условиях работы с практически постоянной передачей максимальной мощности двигателя.

Одним из проектов, воплощающих в себе реализацию стратегических направлений по улучшению качества переходных процессов, применению новых моделей ГДТ и снижению массы, является разработка первой модели нового поколения ГМП на мощность 300 л.с. ГМП имеет кинематическую схему аналогично примененной в ГМП существующего модельного ряда. В настоящее

время идет изготовление опытного образца для проведения испытаний. Значение удельной мощности указанной ГМП, рассчитанное по конструкторской документации, составляет 1,1 кВт/кг.

### Список литературы:

1. Красневский, Л.Г. Трансмиссии транспортных и тяговых машин большой единичной мощности (обзор конструкций и перспектив развития): оперативно-информационные материалы / Академия наук БССР, Институт проблем надёжности и долговечности машин. – Минск: ИНДМАШ АН БССР, 1984. – 52 с.
2. EcoLife – экономическое чудо. Меньше расходов. Более высокая эффективность. – Германия: ZF Friedrichshafen AG, 2011. – 16 с.
3. VOLAT. Гидромеханические передачи [Электронный ресурс] / ОАО «МЗКТ». – Режим доступа: <http://www.volatdefence.com/katalog/373/1557/>. – Дата доступа: 24.08.2016.
4. Автоматические коробки передач Allison [Электронный ресурс] / ООО «НДГС». – Режим доступа: <http://www.ndgs.ru/Transmissions>. – Дата доступа: 16.08.2016.
5. DIWA Excellence. Анализ эксплуатационных данных. – Германия: Voith Turbo, 2008. – 2 с.
6. Allison Transmission. Tractor. [Electronic resource] / – Mode of access: <http://www.allisontransmission.com/transmissions/vocational-applications/tractor>. – Date of access: 11.05.2016.
7. Double transition shift control in an automatic powershifting transmission: Pat. 2015/0032347 A1 US, Int.Cl. F16H 61/02 John Andrew Byerly, John P. Kresse, Mark A. Rains, Jeffrey K. Runde; Allison transmission Inc. – №2015/0032347A1; filed May. 1, 2014; pub. Jan. 29, 2015.
8. Method of optimizing vehicle performance based on countershaft acceleration: Pat. 2015/0314786 A1 US, Int. Cl. B60W 30/188 John P. Kresse, Avery T.Sheets; Allison transmission Inc. – №2015/0314786A1; filed Jul. 13, 2015; pub. Nov. 5, 2015.
9. Красневский, Л.Г. Прецизионное управление автоматическими трансмиссиями: итоги 50 лет развития / Л.Г. Красневский, С.Н. Поддубко // Механика машин, механизмов и материалов. – 2015. — № 4. – С. 5–12.



УДК 629.7.01

## НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КООПЕРАЦИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ОСЭ ПРИ РАЗРАБОТКЕ БАК РАЗЛИЧНОГО УРОВНЯ. ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ

**Быков И.М., Кулага В.В.**

*ОАО "АГАТ – системы управления" – управляющая компания холдинга "Геоинформационные системы управления"*

На сегодняшний день беспилотная авиационная техника наиболее широко представлена системами для ведения воздушной разведки, решения задач радиоэлектронного противодействия, нанесения ударов по объектам в глубине территории противника, целеуказания огневым средствам и оценки результатов их применения. Использование беспилотных летательных аппаратов (далее – БЛА) для обеспечения органов военного управления непрерывными оперативными данными в реальном времени становится общепринятым стандартом. Использование БЛА в локальных военных конфликтах все чаще становится темой оперативных новостей различных СМИ.

Неоспоримо, что беспилотные авиационные комплексы (далее – БАК) различных типов имеют хорошую финансовую привлекательность. Так, по мнению авторитетного издания «Авиэйшн уик», объем мирового рынка БАК в ближайшем десятилетии составит более 30 млрд. дол. США (рисунок 1), а это огромные деньги, что, конечно же, понимают ведущие производители БЛА – США, которые пытаются всяческими мерами, в том числе и на уровне международного законодательства воспрепятствовать развитию отрасли беспилотной авиации в небольших государствах, к которым относится и Республика Беларусь.



Рисунок 1

Ни для кого не является секретом, что получение огромных прибылей невозможно без соответствующих финансовых вложений в развитие отрасли, так,

по мнению ведущих экспертов, правительство и крупнейшие корпорации в США до 2026 года, только на научные разработки, планируют потратить более 11,2 млрд. дол. США, что, ориентировочно, составляет почти четверть ВВП Республики Беларусь в 2016 году.

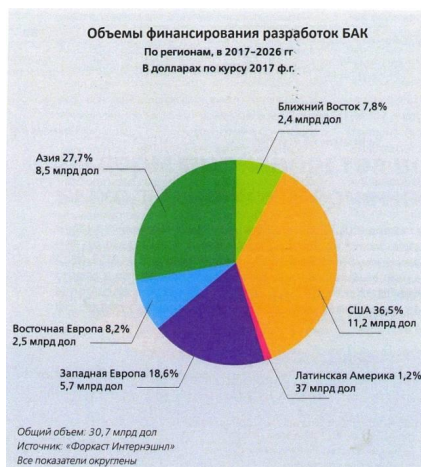


Рисунок 2

Ни одно из предприятий ОСЭ Республики Беларусь себе такого позволить не может, и мы вынуждены искать альтернативные подходы при создании беспилотных авиационных комплексов и их элементов. Здесь видится тесная кооперация предприятий ОСЭ Республики Беларусь с предприятиями других государств, по своему финансовому уровню, схожими с нашим государством, и между собой. Помимо международного сотрудничества немаловажную роль играет сотрудничество и между предприятиями ОСЭ внутри страны и здесь необходимо отметить четкую координацию при разработке и изготовлении элементов для БАК со стороны органа Государственного управления – ГВПК.

Создание авиационной техники является высокотехнологичным и наукоемким процессом, который подразумевает собой жесткий контроль качества на всех стадиях производства и испытаний производимой продукции со стороны военных представителей. Все понимают, что для производства беспилотников и их систем не могут быть допущены "кустари" и "самоделкины" не способные, в будущем, сопровождать свои разработки, а это должны быть "серьезные" предприятия, обладающие соответствующими государственными разрешениями (лицензиями).

Республика Беларусь – небольшое государство и очень важно минимизировать внутригосударственную конкуренцию предприятий в этой области, что позволит наиболее эффективно использовать финансовые средства, выделяемые в рамках государственной поддержки разработок по целевым государственным научно-техническим программам. В Республике Беларусь существует четкое разделение и определены головные (профильные) организации по разра-



ботке основных систем БАК военного назначения. Определено, что разработкой планера ведает – ОАО "558 АРЗ", разработкой НПУ – "АГАТ – системы управления" – управляющая компания холдинга "Геоинформационные системы управления", разработкой целевых нагрузок для БЛА: "КБ Радар"; ОАО "Атомтех"; ОАО "Пеленг" и ООО "ЛЭМТ", разработкой ПНК – ООО "Кванд ИС"; ООО "НТЛаб" и наше предприятие.

Успешным примером такой тесной научно-технической кооперации предприятий ОСЭ явилось создание первого в нашей стране БАК оперативно-тактического уровня – "Гриф-100".

Развитие бизнеса невозможно без совершенствования существующей нормативно-правовой базы, обеспечивающей законность разработок и использования БАК. В 2016 году на Государственном уровне принят «Воздушный кодекс», которым узаконивается использование БАК в воздушном пространстве нашего государства и в котором предусмотрены меры по обеспечению безопасности наших граждан в условиях использования БЛА. Каждый гражданин должен быть уверен, что "ему на голову" не упадет какой-нибудь беспилотник. Для этого, в том же 2016 году, в ГВПК создано 2 органа сертификации: ОАО "558 АРЗ", отвечает за сертификацию БЛА и ОАО "АГАТ – системы управления" – управляющая компания холдинга "Геоинформационные системы управления" – за сертификацию наземных пунктов управления и целевых нагрузок (далее – ЦН). Уже сегодня поданы заявки на проведения сертификационных исследований несколькими отечественными разработчиками БАК.

Также активно решаются вопросы по коммерциализации услуг с использованием БАК, так 10 ноября 2016 Главой Государства было подписано распоряжение, в соответствии с которым двум предприятиям ОСЭ разрешено использование БАК в коммерческих целях. И это только начало развития данного направления бизнеса, подтверждением этому служит создание в Республике Беларусь федерации беспилотчиков, которая ставит перед собой цели по развитию сферы оказания услуг нашим гражданам с использованием БЛА и радиоуправляемых моделей.

В качестве направлений развития предприятий ОСЭ в области БАК, которые позволят нам как-то конкурировать на рынке с ведущими мировыми производителями является развитие "узких" наукоемких направлений. Все прекрасно понимают, что нам трудно конкурировать с мировыми лидерами в области оптических систем разведки, в области создания планеров и малогабаритных систем передачи информации, однако и мы можем занять свою нишу. В Республике Беларусь вкладываются огромные средства в развитие информационных технологий, и данному направлению уделяется особое пристальное внимание со стороны Президента страны. Наши ВУЗы ежегодно выпускают сотни высококвалифицированных специалистов в области информационных технологий и разработки ПО, и наша задача привлечь данных молодых специалистов на наши предприятия, обеспечить их интересной работой по созданию конкурентоспособного продукта. Первые шаги в ОАО "АГАТ – системы управления" – управляющая компания холдинга "Геоинформационные системы управления" уже сделаны. У нас на предприятии активно ведутся разработки собственной технологии созда-

ния систем автоматического управления БЛА самолетного типа, обеспечивающих полет самолета на всех стадиях: взлет, полет по маршруту, посадка по самолетному на ВПП. В рамках данных разработок на предприятии создано программное обеспечение (далее – ПО) системы управления полетом БЛА и ПО имитационного моделирующего стенда (далее – ИМС) полета БЛА. Благодаря созданию ПО ИМС мы можем оперативно, без большого количества дорогостоящих летных испытаний, производить настройки и выбирать оптимальные законы управления для, практически, любых БЛА самолетного типа. В работе секции по БАК будет сделан подробный доклад про данную разработку.

Следующим перспективным направлением видится создание помехозащищенных пилотажно-навигационных комплексов на базе использования отечественных помехозащищенных многосистемных приемников спутниковых навигационных систем (далее – СНС). Принято считать, что основным способом борьбы с небольшими беспилотными летательными аппаратами является радиоэлектронное противодействие системам навигации и связи данных БЛА. В последние годы появились новые подходы к постановке помех приемникам СНС и это надо учитывать. Как правило, навигация БЛА малого и среднего класса основана на использовании корректирующих сигналов от СНС и при отсутствии данной коррекции погрешность определения координат может достигать десятки километров за 1 час полета, что влечет за собой срыв выполнения поставленных боевых задач, а зачастую и потерю БЛА.

Малогабаритный помехозащищенный приемник СНС в совокупности со специально разработанным программным обеспечением явится основой создания надежных навигационных систем для БЛА, найдет свое применение в системах управления полетом БЛА и будет востребован разработчиками БАК.

Большая номенклатура БЛА, используемых в ВС различных государств, приводит к необходимости разработки и использования унифицированных средств управления этими БЛА и сопряженными с ними системами сбора информации и огневыми комплексами. Перспективным видится создание универсального мобильного наземного пункта управления БАК, выполненного на подвижном шасси. Данный пункт управления должен содержать автоматизированные рабочие места (далее – АРМ) для управления БЛА, АРМ для управления целевыми нагрузками БЛА, АРМ для обработки и передачи полученной разведывательной информации на взаимодействующие командные пункты, а также, в обязательном порядке должна быть предусмотрена возможность встраивания данного пункта управления в единую АСУ любого государства, т.е. для передачи данных должны использоваться открытые протоколы информационного обмена, которые могут быть модифицированы под протоколы, используемые Заказчиком в соответствующем звене управления.

В заключении, хочу высказать свое мнение, что в ближайшем будущем наиболее востребованными будут микро БЛА с минимальной стоимостью и без систем посадки. Данные БЛА будут предназначаться для решения разовых задач по разведке объектов или нанесению точечных ударов небольшой силы и будут активно использоваться различными диверсионно-разведывательными подразделениями.





# ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ РАЗЛИЧНОГО УРОВНЯ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

## О НОРМАТИВНОЙ ПРАВОВОЙ БАЗЕ РАЗРАБОТКИ, ПРОИЗВОДСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ БАК

**Анохин А.М.**

*ООО «Мидивисана»*

Одним из основных проблемных вопросов разработки и применения БАК является несовершенство нормативной правовой базы, регламентирующей данные процессы.

### **1. Воздушный кодекс Республики Беларусь [1].**

Ряд положений Воздушного кодекса, касающиеся беспилотной авиации, не совсем корректны, что в дальнейшем оказывает влияние на подзаконные акты и, в конечном счете, затрудняет развитие этого направления.

В качестве примера некоторые из таких положений и пути решения проблемы изложены в таблице 1. При необходимости, полный перечень данных положений и предложения по ним могу предоставить на обсуждение.

*Таблица 1.*

№ пп	Статья ВК	Положение ВК	Замечание	Путь решения
1	ст.1 абз. 18	беспилотный летательный аппарат - воздушное судно, предназначенное для выполнения полета без экипажа на борту	БЛА не предназначен «для выполнения полета», он предназначен для мониторинга, аэрофотосъемки и т.д. в процессе полета.	Определение изложить: «беспилотный летательный аппарат – воздушное судно, предназначенное для выполнения мониторинга местности, аэрофотосъемки и других задач в процессе выполнения полета без экипажа на борту»
2	ст.1 абз. 57	сертификация в области экспериментальной авиации - деятельность специально уполномоченного органа в области экспериментальной авиации по подтверждению соответствия объектов сертифи-	Экспериментальное ВС, двигатель, оборудование, их обслуживание, ремонт и т.д. – это ЭКСПЕРИМЕНТ, т.е. что-то новое и неизведанное, а сертификат – это свидетельство соответствия ка-	абзац исключить

		кации требованиям, установленным авиационными правилами и иными нормативными правовыми актами, за исключением технических нормативных правовых актов в области технического нормирования и стандартизации.	АП, на которые идет ссылка в данном определении, показывает, что устанавливаемые требования носят неопределенный характер. Даже нет возможности определить, с какого момента в процессе создания ЛА он переходит в статус экспериментального.	
3	т.42-1	с Оператор беспилотного летательного аппарата непосредственно управляет беспилотным летательным аппаратом и принимает необходимые меры по обеспечению безопасности полета беспилотного летательного аппарата	Неопределенный термин «непосредственно управляет». Что он предусматривает? В современных документах есть определения «автоматическое управление», «автоматизированное управление» и «дистанционное управление», относящиеся к БЛА. Операторы БЛА с автоматическим и автоматизированным управлением не занимаются «непосредственным» управлением.	Заменить слова «непосредственно управляет» на «осуществляет управление»
4	т. 43-1	с Оператор беспилотного летательного аппарата имеет право: отступать от требований авиационных правил в экстремальной ситуации, грозящей гибелью граждан, для спасания их жизни;	Положение механически перенесено из пилотируемой авиации. В беспилотной авиации ситуация, грозящая гибелью граждан (на земле) уже находится вне всяких авиационных правил, так что отступать не от чего.	Положение исключить
5	ст.88	Статья 88. Воздушное судно, терпящее или потерпевшее бедствие. Воздушным судном, терпящим бедствие, признается воздушное судно, жизни и (или) здоровью пассажиров и членов экипажа которого угрожает непосредственная опасность либо с которым потеряна связь и его местонахождение неизвестно. Воздушным судном, потерпевшим бедствие, признается воздушное судно, разрушенное или получившее повреждение при	Понятие «бедствие» относится к угрозе жизни экипажа или пассажиров (в том числе и при потере связи). Беспилотные летательные аппараты не терпят бедствие! Они могут сломаться, разбиться, при этом они могут представлять угрозу другим летательным аппаратам или объектам на земле, но это не бедствие в смысле данного положения ВК. В некоторых случаях оператор имеет возможность даже преднамеренно уничтожить БЛА	Слова: «(за исключением беспилотного воздушного судна)» из третьего абзаца перенести в название статьи



		рулении, взлете, полете или посадке, а также воздушное судно, осуществившее вынужденную посадку вне аэродрома (посадочной площадки). Воздушное судно, терпящее или потерпевшее бедствие (за исключением беспилотного воздушного судна), подлежит немедленному поиску и спасанию.		
--	--	--	--	--

Эти и другие, не отражающие действительность, положения необходимо учесть при разработке проекта Закона о внесении изменений им дополнений в Воздушный кодекс. Такая работа сейчас ведется, однако не со всеми предложениями можно согласиться.

Например:

Основная беда некорректности положений как Воздушного кодекса, так и практически всех дальнейших нормативных правовых актов (на них я остановлюсь ниже) в том, что они механически перенесены из пилотируемой авиации без учета специфики беспилотной.

Вот несколько примеров такого переноса

## **2. АВИАЦИОННЫЕ ПРАВИЛА организации и выполнения полетов государственных воздушных судов Республики Беларусь [2]**

Глава 3 п.9 Оператор обязан:

«знать порядок использования документов аэронавигационной информации, своевременно осуществлять сверку рабочих экземпляров данных документов с контрольными;»

Это требование к командиру экипажа Боинга или транспортного самолета, на борту которых есть рабочие экземпляры и с ними работает штурман экипажа. Даже в пилотируемой авиации летчики одноместных самолетов (если не служат в штурманской службе) смутно себе представляют, что это такое «документы АНИ». Оператору БЛА, который выполняет полеты в отведенных для этого зонах (и еще долго так будет) нет необходимости их знать и сверять и не зачем этим документам находиться на его рабочем месте (Глава 12 п.81).

Там же:

«осматривать, проверять и принимать БЛА перед полетом согласно РЛЭ»

Это командир экипажа перед тем, как сесть в самолет, осматривает его и принимает у техника, т.к. дальше он летит в этом самолете, а техник остается на земле. Оператор БЛА не принимает БЛА, а остается на земле вместе с техником и у него на НПУ имеются свои средства контроля за работоспособностью систем.

Там же:

«в экстремальной ситуации, приводящей к гибели людей, для спасения их жизни отступать от требований, изложенных в авиационных правилах;»

Пример перенесения некорректного положения из ВК, но уже не как право, а как обязанность.

Глава 14 п.100:

«Во всех случаях (!) высота полета БЛА не должна быть менее минимально допустимой высоты полета, которую определяет оператору его непосредственный командир (начальник) в зависимости от уровня подготовки и натренированности оператора в полетах на малых и предельно малых высотах...»

Это положение «перекочевало» из НПП еще советского периода. Для летчика есть разница лететь на высоте 50, 200 или 1000м и необходима специальная подготовка. Минимальная высота полета устанавливается для БЛА (не для оператора) исходя из возможности включения посадочных систем в нештатной ситуации. Для оператора, управляющего в автоматическом или автоматизированном режимах, нет особой разницы, на какой высоте выполняется полет.

Подобных примеров из данного документа можно привести довольно много.

### **3. АВИАЦИОННЫЕ ПРАВИЛА организации и выполнения полетов экспериментальных воздушных судов Республики Беларусь [3]**

В этот документ перенесены те же позиции, что и в АП-72. Это и по «непосредственному» управлению БЛА, и по документам АНИ, и по экстремальной ситуации, и по многим другим позициям.

Но имеются и свои непонятные положения.

Глава 2 п. 4:

«К серийным относятся экспериментальные ВС, изготовленные по результатам выполнения опытно-конструкторских работ (до исключения их из Государственного реестра экспериментальных воздушных судов Республики Беларусь), а также государственные и (или) гражданские ВС, временно переданные в организации для проведения испытаний.»

Авторы документа не знают, что одним из основных результатов ОКР является комплект РКД, по которому в дальнейшем изготавливаются серийные изделия? Т.е., **все** серийные изделия изготавливаются по результатам ОКР.

Согласно стандартов, регламентирующих разработку военной техники, в процессе ОКР могут разрабатываться макеты, экспериментальные образцы, опытные образцы.

Возможно, в данном определении речь идет об опытных образцах? Но тогда они изготавливаются не по результатам ОКР, а в процессе ОКР и никакого отношения к серийным образцам не имеют.

Да и сами понятия «экспериментальный» и «серийный» несовместимы, т.к. если изделие пошло в серию, то ни о каком эксперименте над ним (т.е. отклонение от РЭ) не может быть и речи.

В связи с тем, что документы ЭА разработаны в основном для пилотируемой авиации с отдельными позициями или с оговорками для БЛА, по ряду неоговоренных позиций имеются неподходящие для БА требования.

Возможно ли ряд таких документов разрабатывать отдельно для пилотируемой и отдельно для беспилотной авиации?

### **4. Государственный военный стандарт Республики Беларусь СТБ В 2411-2015 [4]**



Все то, что говорилось до этого, усложняет деятельность беспилотной авиации, но как-то работать можно. Однако, с вводом в действие 1 декабря 2015г. СТБ В 2411-2015, разработка новых беспилотников, без нарушения требований этого стандарта, становится проблематичной.

В стандарте нарушены положения Воздушного кодекса.

В классификации упущены такие существенные для БАК признаки, как максимальная дальность обмена информацией, максимальная дальность полета, взлетный вес БЛА и т.д. Однако в этом же документе говорится о «легких БЛА ближнего действия» и «легких БЛА малой дальности», т.е. используются признаки, не предусмотренные собственной классификацией.

Имеются требования, которые нереально выполнить.

Например:

Требование, чтобы планер БЛА был защищен от попадания влаги вовнутрь.

В планере **необходимы** технологические отверстия для охлаждения двигателя, оборудования и т.д., а защищать от влаги необходимо только чувствительные к ней элементы.

Требование наличия электрической металлизации частей БЛА.

Для БЛА из композитов требование бессмысленно, его выполнение приводит к ухудшению летных характеристик.

Требование к системе посадки об обеспечении «надежного и быстрого контроля» за правильностью укладки парашютов.

В мире не существует парашютов, позволяющих проконтролировать правильность укладки, когда они находятся в уложенном состоянии. Данный контроль осуществляется в процессе укладки.

И таких несуразностей в стандарте я определил 19.

Для разрешения сложившейся ситуации на нашем предприятии было проведено совещание с представителями Министерства обороны, на котором принято решение о необходимости внесения изменений в данный стандарт.

В июле 2016г. Управление применения и развития беспилотных авиационных комплексов Вооруженных Сил проводило научно-практический семинар по проблемам БА. На семинаре поднимался вопрос о необходимости изменения СТБ и представитель Госкомвоенпрома согласился с этим. Соответствующий пункт был внесен в Решение семинара, Предложения по внесению изменений и дополнений в СТБ В 2411-2015 направлены в адрес Управления в августе 2016г.

Никаких действий в этом направлении не предпринято.

В результате, у предприятий нет возможности разрабатывать новую технику, Министерство обороны может остаться в будущем со старыми БЛА, или будет вынуждено закупать их за рубежом.

## **5. ОТТ «Беспилотные авиационные комплексы. Общие технические требования» (проект)**

С целью разработки данного документа в военной академии проведена целая НИР. Сейчас идет процесс доработки и согласования этого проекта. Однако, в результате того, что не была создана рабочая группа с привлечением специалистов по разработке, производству и эксплуатации БАК, а был принят

принцип запроса предложений по изменениям и дополнениям в предлагаемый вариант, содержание документа еще требует длительной доработки.

### **Выводы:**

1. Необходимо организовать внесение изменений и дополнений в Воздушный кодекс. В настоящее время такая работа ведется. Необходимо, чтобы в ней принял участие более широкий круг профессионалов.

2. Подзаконные нормативные правовые акты, касающиеся деятельности беспилотной авиации, требуют основательной переработки с учетом реальных проблем разработки, производства и эксплуатации БАК.

3. Руководителям всех уровней необходимо учитывать, что при разработке таких документов главным критерием должно быть качество, а не сроки выполнения. Быстро хорошо не бывает!

4. С целью четкого обозначения предмета, для которого создается нормативная правовая база, необходимо разработать единую классификацию БАК. За основу можно принять предлагаемую в проекте ОТТ после ее переработки с участием специалистов.

### **Список литературы:**

1. Воздушный кодекс Республики Беларусь (в редакции Закона Республики Беларусь «О внесении изменений и дополнений в Воздушный кодекс Республики Беларусь» 4 января 2014 г. N 127-3).

2. Авиационные правила организации и выполнения полетов государственных беспилотных летательных аппаратов Республики Беларусь, утвержденные Постановлением Министерства обороны Республики Беларусь от 04.12.2009 №72.

3. Авиационные правила организации и выполнения полетов экспериментальных воздушных судов Республики Беларусь, утвержденные Постановлением Государственного военно-промышленного комитета Республики Беларусь от 15.12.2015 №9.

4. Государственный военный стандарт Республики Беларусь СТБ В 2411-2015 «Военная техника. Беспилотные авиационные комплексы. Общие технические требования и методы испытаний».



УДК 681.03.06:621.396.96

## КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ РАЗНОТИПНЫХ СЕНСОРОВ В ОБЪЕКТАХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ВОЙСК

**Вайтюлевич М.М., Васковская Л.Ф., Грищенко М.Л., Осушенко П.А.**

*ОАО «АГАТ- системы управления - управляющая компания холдинга «Геоинформационные системы управления»*

Одним из перспективных направлений повышения эффективности системы противовоздушной обороны (ПВО) является интеграция пассивных средств комплексов радиотехнической разведки (РТР) и активных радиолокационных систем разведки радиотехнических войск (РТВ). Основой такой интеграции является наличие на средствах воздушного нападения противника бортовых средств радиолокации, связи, навигации, работающих на радиоизлучение. В отличие от активной радиолокации РТВ, средства РТР являются пассивными и осуществляют приём радиотехнических сигналов, излучаемых активными радиоэлектронными средствами, не излучая собственных сигналов. Средства РТВ и РТР осуществляют обнаружение целей и определение их характеристик, основываясь на разных свойствах целей. Каждое из них при применении в отдельности определяет ограниченный набор характеристик целей, недостаточный для организации эффективного противодействия средствами войск ПВО и военно-воздушными силами. Совместный сбор и обработка информации о целях, получаемой от средств радиолокации РТВ и от средств обнаружения и оценки параметров радиоизлучений РТР, позволит более качественно обнаруживать и более полно оценивать определяющие эффективность боевых действий параметры целей. Одним из важнейших результатов комплексирования средств РТР и РТВ является предоставление возможности классификации типов целей.

Решение задачи классификации типов целей обеспечит выявление самолетов тактической и стратегической разведки, разведывательно-ударных комплексов, крылатых ракет, дистанционно пилотируемых летательных аппаратов и т.п. для их своевременного уничтожения.

В докладе рассматривается возможность получения в КСА 7В960 РТВ информации от станций и комплексов РТР класса «Кольчуга». Предлагается способ сопряжения и алгоритм комплексной обработки в КСА радиолокационной информации и информации, принятой от изделия «Кольчуга» для классификации аэродинамических целей. Разработанные предложения являются основой для практического решения актуальной проблемы распознавания классов целей в КСА РТВ.

УДК 629.7:519.8:351.864

## **О МЕТОДИЧЕСКОМ ПОДХОДЕ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОБЛИКА СИСТЕМЫ БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИИ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**Вервейко Б.М., Гирис О.Б.**

*ГУ «Научно-исследовательский институт Вооруженных Сил Республики Беларусь»*

В настоящее время востребованы разработка, создание и развитие беспилотных летательных аппаратов (БЛА) различного функционального назначения, объединяемых в подразделения беспилотных авиационных комплексов (БАК) и предназначенных для решения задач в боевых действиях на тактическом, оперативном, оперативно-стратегическом, стратегическом уровнях вооруженных сил.

Существует обоснованное мнение [1, 6, 9, 10, 14, 15, 19], что первой и главной особенностью работ нынешнего этапа разработки, создания и развития БЛА, БАК беспилотной авиации является необходимость кропотливого согласования оперативно-тактических требований (ОТТ), концепций применения, обоснования их облика в структуре некоторого формирования беспилотной авиации на уровне вооруженных сил.

Анализ публикаций [1–16, 19–21] подтвердил, что для повышения боевых возможностей (эффективности) ведения боевых действий (операций) группировок войск (сил) вооруженных сил на стратегическом, оперативном, тактическом уровнях одним из перспективных направлений является развитие беспилотной авиации вооруженных сил и применение БЛА, БАК различного функционального назначения по плану применения вооруженных сил в составе системы «типы БЛА – парк (типы) БАК – ВФ БпА вооруженных сил» (далее для краткости «БЛА – БАК – ВФ БпА» (рисунок 1).

Поскольку развитие беспилотной авиации актуально и перспективно, ниже рассмотрим основные понятия, определения, возможную структуру системы «БЛА – БАК – ВФ БпА», необходимые для определения ее облика.

Под БЛА в дальнейшем понимается воздушное судно, предназначенное для выполнения полета без экипажа на борту [7, 14] состав подсистем типового БЛА (3.6. Многофункциональный БЛА) показан на рисунке 1. Как показал анализ [6–12] БЛА (3.1–3.6), в зависимости от типа (типажа), позволяют решать при подготовке и в ходе боевых действий (боевого применения) на качественно новом уровне широкий перечень функциональных задач, (см. рисунок 1), связанных с выполнением ими функций [6–10], задаваемых БАК и целевой нагрузкой.



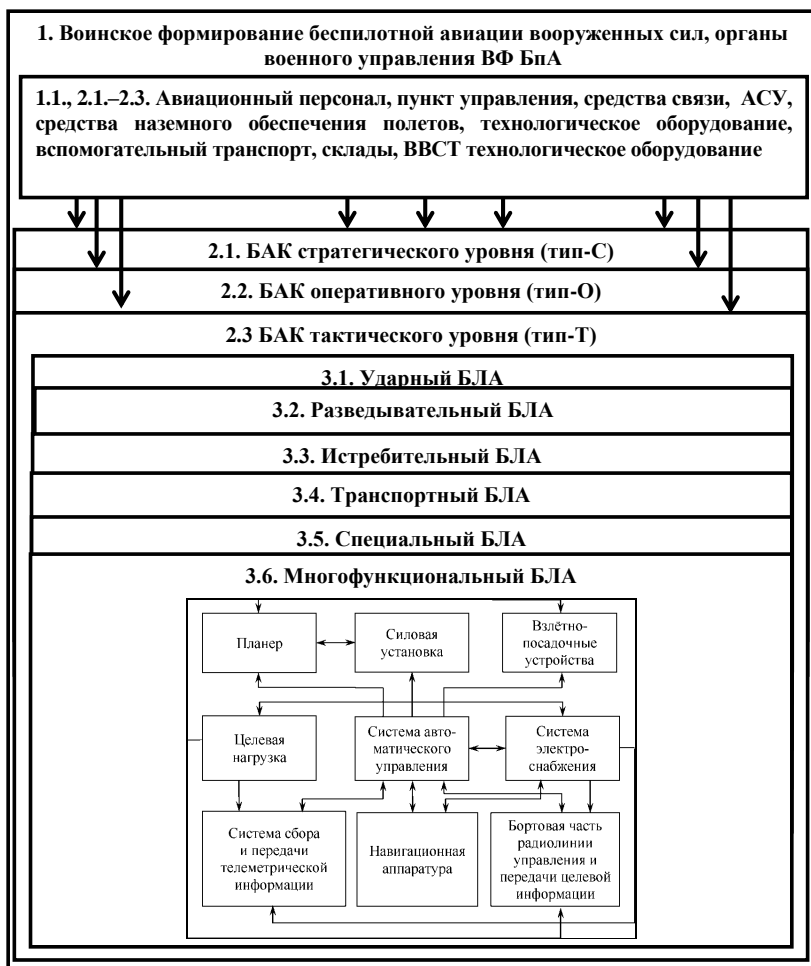


Рис. 1 – Иерархическая структура ВФ БЛА вооруженных сил

Под целевой нагрузкой понимается совокупность устанавливаемых на БЛА сменных систем различного назначения, позволяющих выполнять задачи по функциональному назначению [7].

Цель БЛА совпадает с целью целевой (полезной) нагрузки и определяет его функциональное назначение:

3.1) ударный - поражение наземных (надводных) стационарных и подвижных объектов и целей противника с использованием авиационных средств поражения (АСП);

3.2) истребительный - поражение всех типов воздушных целей, сопровождение ударных самолетов, а также для действий по наземным и надводным объектам;

3.3) разведывательный - ведение воздушной разведки местности и погоды;

3.4) транспортный - выполнение транспортных задач;

3.5) специальный - решение специальных задач (радиоэлектронной борьбы, применяемые для вывода из строя наземных и воздушных средств связи и управления противника, постановка радиопомех; РХБ разведка, целеуказание огневым средствам, постановка дымовых помех и др.;

3.6) многоцелевой – сочетающий выполнение задач с различными совмещенными целевыми нагрузками.

Возможный вариант структуры любого типа БЛА (3.1–3.6) по аналогии со структурой БЛА в работе [15], может быть представлен схемой на рисунке 1 в составе многофункционального БЛА 3.6.

БЛА принято считать боевой единицей в составе беспилотного авиационного комплекса (БАК).

БАК (2.1–2.6) и БЛА (3.1–3.6) образуют систему вооружения воинского формирования беспилотной авиации ВФ БПА (1–1.1) (см. рисунок 1).

БАК представляет собой совокупность функционально связанных и совместно используемых по предназначению: БЛА, системы наземного управления, обеспечения, технического обслуживания и подготовки к полету [7].

Тип БАК (2.1–2.3) определяется уровнем решаемых задач и, как правило, используемым типажом его БЛА (3.1–3.6). Цель БАК совпадает с целью используемого типажа БЛА.

По уровню решаемых задач БАК (БЛА) принято разделять на [7]: 2.1) стратегические; 2.2) оперативные; 2.3) тактические.

Функциональное назначение БАК (БЛА) определяется типом БЛА [7, 14, 15]. Состав типов БЛА, относящихся к некоторому БАК при внутреннем проектировании принято называть парком.

В систему требований к БЛА, БАК в части функциональных, необходимо добавить пространственно-временные требования [12], так как в реальных условиях боевые действия ведут временные формирования (группировка) ВФ БПА, образуя временные контура управления, выполнения БЛА, БАК своих функциональных задач по назначению и по уровням решаемых задач [2, 6, 12].

Подразделение БАК (отряд, эскадрилья, включающие расчеты требуемых типов БЛА 3.1 –3.6) обычно принимается за тактическую единицу [2] и используется в зависимости от целевой нагрузки, объектов действия, условий обстановки для выполнения задач по плану войск (сил) в составе воинского формирования (группировки) вооруженных сил (ВФ БПА) или самостоятельно.

ВФ БПА вооруженных сил, создается для выполнения конкретных задач (с применением типажа БЛА, БАК в конкретной среде, с определенным противником), поскольку воинское формирование мирного времени в большинстве ситуаций таких задач не решает.



Таким образом, БАК (2.1–2.3), БЛА определенного типажа (3.1–3.6) являются системой вооружения, состоящей на вооружении системы более высокого уровня: ВФ БпА (1–1.1),

ВФ БпА предназначено для организации управления и обеспечения выполнения задач по плану группировок войск (сил) вооруженных сил [1, 2, 6, 10, 14].

Цели ВФ БпА совпадают с целями парка БАК. Для достижения целей на вооружении ВФ БпА состоит требуемое число БАК с заданным рациональным типажом БЛА.

ВФ БпА предназначено для решения задач группировки вооруженных сил, группировок видов и родов войск вооруженных сил с требуемой эффективностью, когда применение других сил и средств невозможно или нецелесообразно. В общем случае в качестве показателя для оценки боевой эффективности ВФ БпА должен использоваться критерий характеризующий все ее три уровня функционирования при выполнении задач по предназначению в определенных условиях обстановки. В качестве критерия должен использоваться результат функционирования с учетом потерь (затрат ресурса и времени, затраченного на достижение результата [23].

ВФ БпА вооруженных сил должно реализовывать основные функции (воздушная разведка, целеуказание огневым средствам, радиоэлектронное подавление, радиоэлектронное, огневое поражение, объектов противника и др.) с максимально возможной вероятностью в течение заданного времени (к заданному времени) при сохранении боеспособности (иметь уровень потерь, расход ресурсов не ниже заданного).

Задачей статьи является разработка методического подхода к решению актуальной задачи по определению облика системы беспилотной авиации «БЛА – БАК – ВФ БпА» военного назначения.

Исходными данными приняты предложенные выше положения, основные понятия и определения, предложенная ее обобщенная структура см рисунок 1. При формировании подхода по обоснованию облика ВФ БпА по аналогии с [15] считаем, что воинское формирование БпА (1–1.1) (боевая система), представляет собой иерархию из трех относительно самостоятельных подсистем. На схеме рисунка 1 авиационный персонал, пункт управления, средства связи, АСУ, средства наземного обеспечения полетов, технологическое оборудование, вспомогательный транспорт, склады, ВВСТ технологическое оборудование ВФ БпА (1.1), БАК (2.1–2.3) объединены в позиции (1.1., 2.1.–2.3).

БЛА с заданным типажом и сформированным на их основе парком БАК приняты на вооружение ВФ БпА, организационно и функционально связаны.

ВФ БпА вооруженных сил предназначено для осуществления полетов БЛА в воздушной (воздушно-космической) среде с целью выполнения задач обеспечения, боевых, специальных стратегического, оперативного, тактического уровней.

Подчеркнем, что применение вариантов перспективной системы «БЛА – БАК – ВФ БпА» в современных операциях (боевых действиях) в оперативно-стратегической, оперативной, тактической глубине связывается с устранением

дефицитов боевых возможностей группировок войск (сил) вооруженных сил [6, 10, 11, 14, 15, 17].

Повышение боевых возможностей достигается, как показал анализ [1, 2, 6, 10, 11, 15], обеспечением ВФ БпА (см. рисунок 1) приемлемых уровней показателей «эффективность – потери (стоимость)» при:

решении боевых задач в условиях активного противодействия противника;

увеличении значимости фактора минимизации потерь летного состава; решении боевых задач авиационной поддержки сухопутных войск по поражению наземных (надводных) объектов, главным образом малоразмерных и подвижных;

выполнении боевых и специальных задач, как в операциях, так и в ходе систематических боевых действий ВВС;

выполнении ряда специальных задач в интересах войск (сил) оперативных командований, командования ВВС и ПВО по поражению объектов авиационной и противовоздушной группировок противника, коммуникаций и транспортных средств, морских и воздушных десантов;

уничтожении отдельных важных целей и объектов противника (самый распространенный на сегодня вариант – уничтожение лидеров террористов, полевых командиров или отдельных групп террористов или сепаратистов, а также отдельных складов оружия или опасных веществ);

необходимости обозначения целей, демонстративных действий.

Известно [6], что управление применением типов БЛА в составе подразделений БАК существенно расширяет возможности и диапазон условий действий авиации по высоте, скорости, маневру, времени полета, по способам разведки и наблюдения. Применение структуры организации ВФ БпА вооруженных сил (см. рисунок 1) позволяет исключить дублирование и четко распределить области боевого применения, задачи, условия боевого применения функциональных задач, объекты действия по уровням типов БЛА и БАК и пилотируемой авиации на основе оперативно-тактических нормативов применения войск (сил), авиации, оружия и согласованных технических требований [6, 11].

Такая организация структуры ВФ БпА обеспечивает оперативное, качественное включение типов БЛА и БАК в контуры управления, целеуказания (артиллерии, авиации, разведке), связи, обмена данными. Но ужесточает оперативно-тактические требования (ОТТ), ряд тактико-технических требований к качеству и полноте разработки типов БЛА, БАК, общего интерфейса комплексов автоматизации огневых подразделений, органов разведки, связи, управления, РЭБ.

Система управления ВФ (группировкой) БпА вооруженных сил представляет собой совокупность объектов управления (БЛА, БАК), органов управления эскадрильями (отрядами), подразделений, обеспечивающих полеты БЛА, средств связи и автоматизации.

Эффективное управление парком БАК, типов БЛА невозможно без широкого использования авиационным персоналом ВФ (группировки) современных средств автоматизации сбора, хранения, передачи и обработки информации.



Как показано в работах [6, 11, 15, 19] управление системой «БЛА – БАК – ВФ БпА» на уровне вооруженных сил влечет изменения в способах управления, в тактике и оперативном искусстве. Эта тенденция имеет место при ведении операций практически во всех вооруженных силах США. Россия, Китай, Израиль, Европейский союз и др).

Так в структуре иерархии подразделений армии США «взвод – рота – батальон – бригада – дивизия», реализующих применение системы «типы БЛА – парк БАК – беспилотная авиационная система (БАС)» [11] уставными документами определено применение БЛА, БАК, беспилотных авиационных систем (БАС) в батальонах и более низких звеньях (до 25 км, время использования 1-2 ч, используется БАК RQ-11В "Рейвн" (разведка и наблюдение, обеспечение ситуационной осведомленности и безопасности, обнаружение и сопровождение целей, оценка результатов применения оружия на дальности прямой видимости до 10 км). Взаимодействие малоразмерных и более крупных БАК при более широком совместном использовании данных позволяет радиоэлектронную разведку, РЭБ, обнаружение объектов в дневное время, обнаружение химических, биологических, радиологических и взрывчатых веществ, оказание материально-технической помощи в пострадавших районах. В перспективе: совершенствованием технологий материалов, источников энергоснабжения и систем управления данными, расширит роль робототехнических систем при их применении на поле боя.

В бригадах БАК, БЛА разных типов применяются для выполнения задач на средней дальности (менее 125 км) при средней продолжительности полета (от 5 до 10 ч) при взаимодействии с сухопутными войсками и другими авиационными средствами. Основным средством для выполнения задач поддержки действий бригадных тактических групп (ВСТ), бригад наблюдения за полем боя, бригад огневой артиллерийской поддержки и сил специального назначения сухопутных войск служит БАК "Шэдоу", который выполняет задачи тактической разведки, наблюдения, целеуказания и оценки степени повреждений в ходе боевых действий и представления информации командирам армейских бригад и наблюдения, обеспечения прямой радиорелейной связи для эффективного решения задач обнаружения и сопровождения целей, обеспечения ситуационной осведомленности, оценки результатов применения оружия и увеличения дальности связи в пределах прямой видимости, обеспечения взаимодействия БЛА и самолетов боевых авиационных бригад.

На уровне дивизии и выше БАК, БЛА разных типов применяются для выполнения оперативных, оперативно-тактических боевых задач непосредственной и общей поддержки на увеличенной дальности (200 км и больше), большой продолжительности полета (16 ч или более). БАК MQ-1С и MQ-5В "Хантер" обеспечивают доставку для поддержки боевых действий оружия различного типа к целям и нанесение ударов по целям, разведку, наблюдение, целеуказание и оценку повреждений в ходе боевых действий на уровне дивизии и более высоких уровнях. (Примечание: БАС в большинстве вооруженных сил зарубежных стран является синонимом понятия воинского формирования беспилотной авиации вооруженных сил). Таким образом, охват выполнением боевых задач

БЛА, БАК, БАС армии США на всех уровнях (тактический, оперативный, стратегический по нашей терминологии) повышают эффективность целенаправленного боевого применения, но при этом повышают ОТТ, связанные с обязательным согласованным планированием и интеграции разных звеньев подразделений и формирований в системе «взвод – рота – батальон – бригада – дивизия – армия».

При разработке методического подхода следует учитывать указанные аспекты в организации и применении ВФ БпА вооруженных сил и формировании ее облика. Выявление взаимосвязи, взаимовлияния методов применения, алгоритмов управления позволит определить ОТТ к БЛА, БАК, ВФ БпА, нарабатывать алгоритмы действий органов военного управления и должностных лиц, определить содержание, формы взаимодействия с АСУ и другими системами при применении ВФ БпА по единому плану с войсками и силами (рисунок 2) [9].

Под обликом БпА с учетом определений данных выше, общего определения облика ВВТ [21] будем понимать определенным образом структурированную совокупность ее взаимосвязанных подсистем, находящихся во взаимодействии между собой и системами вышестоящих уровней: группировок войск (сил) (ГВС) вооруженных сил, в соответствии с выполняемыми задачами в операции.

Актуальность исследований типажа БЛА, БАК, облика БВ БпА обусловлена [14, 15, 19]:

1) ростом потребностей вооруженных сил в расширении типажа указанного вида ВВТ в современной войне;

2) несоответствием уровню предъявляемых к ним современных требований;

3) увеличением количества работ (НИОКР) и, как следствие, увеличением доли затрат на БЛА, БАК в общем объеме военных ассигнований;

4) решением аналогичных задач силами и средствами видов и родов войск (сил) ВС в ходе боевых действий.

Таким образом, разработка методического подхода проведения исследований, связанных с обоснованием оперативно-тактических, тактико-технических, технико-экономических требований, типажа, облика и путей развития БЛА, БАК авиационной группировки (воинского формирования) беспилотной авиации вооруженных сил представляет актуальную военно-научную задачу.

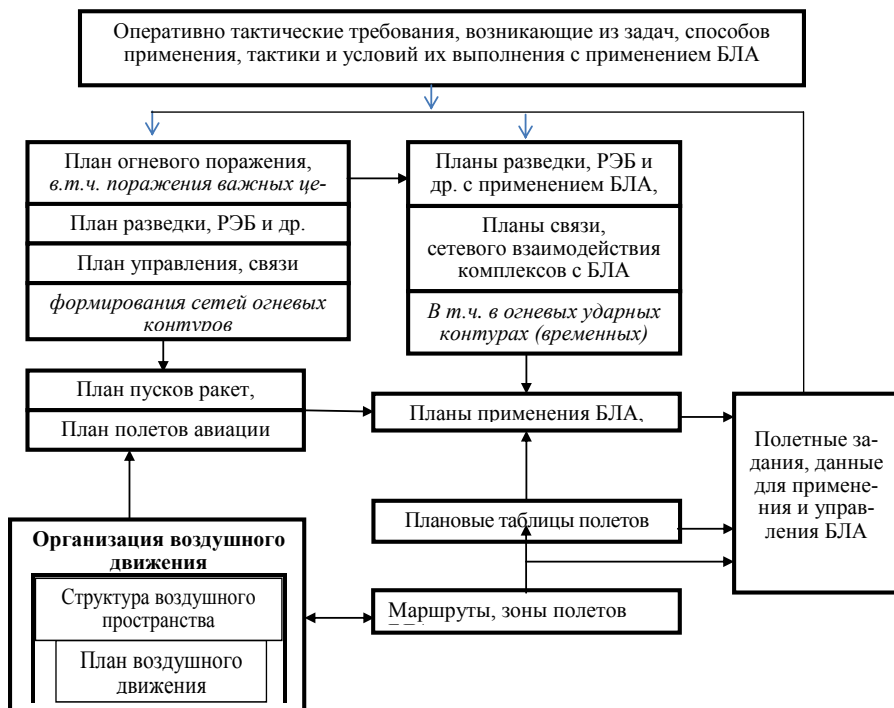


Рис. 2 – Рекомендации по использованию ОТТ, условий боевых действий, планов применения при разработке облика ВФ БпА

Обобщенный алгоритм решения задачи определению облика ВФ БпА сформирован по аналогии с результатами анализа путей решения подобных задач применительно к определению рационального варианта системы вооружения войск в публикациях [12-16, 18-21].

На данном этапе внешнего проектирования облика беспилотной системы «БЛА – БАК – ВФ БпА» вооруженных сил предстоит решить следующие проблемные задачи, представленные на схеме рисунка 3.

Решение научных задач формирования облика БАК военного назначения должно осуществляться в структуре «БЛА – БАК – БпА»).

**Постановка задачи исследования****Формирование исходных данных**

**Определить основные факторы, влияющие на систему вооружения ВС в составе воинских формирований вооруженных сил**

Выполнить анализ решаемых задач

Определить типы объектов действия для БЛА, БАК ВФ БпА на стратегическом, оперативном, тактическом уровнях

Анализ состава своей группировки и группировки войск противника, возможного сценария боевых действий с применением ВФ БпА

Определение типажа БЛА парка БАК, структурно объединенных в воинское формирование (группировку) БпА вооруженных сил, обеспечивающих решение задач в операции

Определение показателей и критериев типов , парка БАК группировки войск (сил и спелств) сил и спелств БпА

Обоснование методов исследования системы «БЛА – БАК – ВФ БпА» с учетом ее функциональных задач стратегического, оперативного, тактического уровней

Определение оперативно-тактических требований к системе «БЛА – БАК – ВФ БпА»

Формирование математической модели оценки эффективности системы «БЛА – БАК – ВФ БпА» по критерию «эффективность – стоимость»

Оценка эффективности воинского формирования БпА с учетом типажа БАК, БЛА, органов управления БпА на стратегическом, оперативном тактическом уровнях

**Определение облика воинского формирования БпА с учетом типажа БАК, БЛА, органов управления БпА, органов управления БпА), обеспечения (технического обеспечения, качества подготовки специалистов)**

*Рис. 3 – Структурная схема методического подхода к определению облика ВФ БпА*

При этом необходимо следовать следующим основным научно-методическим принципам таким как [1-15]: актуальность; единство понятий и терминов; иерархичность построения БАК в структуре «БЛА–БАК – ВФ БпА», их подсистем; полноразмерность проектирования типов БЛА, парка БАК, их подсистем; унификация; определение оперативных и тактических вариантов применения БАК в структуре надсистем; итерационная интеграция; системное проведение оценки комплексного уровня готовности научно-технического задела, производственно-технологической базы и военно-экономического потенциала; использование критерия «эффективность – стоимость (потери)».

Анализ публикаций [5, 7–14, 21] показал, что принцип системного проведения оценки комплексного уровня готовности научно-технического задела, производственно-технологической базы и военно-экономического потенциала по направлению разработки и создания БАК в структуре системы «БЛА – БАК – ВФ БпА», наряду с принципом использовании критерия «эффективность – стоимость (потери)», являются основными научно-методическими принципами





и организационными условиями для перехода к стадии определения облика и опытно-конструкторских работ по БАК.

Обоснованные исходные данные для формирования ОТТ должны быть наработаны на моделях на анализе способов применения типажа БЛА, парка БАК, состоящих (которые будут состоять в перспективе) на вооружении ВФ БпА вооруженных сил, обеспечиваемых войск (сил), боевых сетевых систем.

При разработке ОТТ, моделей применения ВФ БпА вооруженных сил, моделирование должно осуществляться по современным оперативно-стратегическим, оперативным и тактическим сценариям.

Выводы.

Проектирование системы вооружения БЛА (3.1–3.6), БАК (2.1–2.3) в составе ВФ БпА (1, 1.1) в операциях при решении боевых задач на стратегическом, оперативном, тактическом уровнях как и в группировках вооруженных сил зарубежных стран (в составе БАС), так и при боевых действиях вооруженных сил Республики Беларусь (в составе ВФ БпА) является актуальным, так как имеет целью повышение боевых возможностей группировок войск (сил), входящих в группировку вооруженных сил. Разработка и применение «БЛА – БАК – ВФ БпА» («БЛА – БАК – БАС» для зарубежных вооруженных сил включая РФ) осуществляется тогда, когда нецелесообразно или невозможно применение боевых пилотируемых авиационных комплексов (БПАК) военно-воздушных сил (ВВС), систем вооружения сухопутных войск (СВ), сил специальных операций (ССО) других воинских формирований [2].

При ведении боевых действий в операциях вооруженных сил (группировки вооруженных сил) внедрение типажа БЛА, парка БАК ВФ БпА в планы применения войск (сил) вооруженных сил, создание временных мобильных контуров разведки, постановки помех, РЭБ, огневого поражения в соответствии с планами войск (сил) становится важнейшим направлением повышения эффективности боевых действий группировок войск (сил) вооруженных сил, развития типов БЛА, парка БАК и военной техники.

Создание новых типов БЛА, парка БАК в ВФ БпА считается необходимым, если применение других сил и средств нецелесообразно или невозможно, а в заданных условиях применения обеспечивается выполнение задач по требуемому критерию «эффективность – стоимость (потери)». Сказанное подчеркивает важность и актуальность исследований по развитию типов БЛА, парка БАК, их ВФ БпА вооруженных сил.

Анализ показал [1, 2, 6], что при разработке БЛА, БАК для применения в военных конфликтах будущего они не смогут по своим боевым возможностям и особенностям применения равноценно заменять пилотируемые авиационные комплексы, прежде всего, по эффективности боевых действий [2, 6]. Поэтому БЛА, БАК не следует считать (как это делает ряд авиационных специалистов) альтернативой пилотируемым авиационным комплексам.

БАК должны эффективно дополнять системы вооружения пилотируемой авиации и занимать в них свое достойное место.

### Список литературы:

1. Зелин А.Н. Беспилотные летательные аппараты в системе вооружения авиации Военно-воздушных Сил/А.Н.Зелин//Полет. - № 10. - 2009.
2. Зубов Н.П. Комплексы ударных беспилотных летательных аппаратов в системах вооружения оперативно-тактической и армейской авиации / Н.П. Зубов // Вестник академии военных наук. - №4(45). – 2013. – С. 99-104.
3. Жеребин А. Вопросы обоснования требований к БАК военного назначения/В.Попов, С. Демидов// ФГУП «ГосНИИАС». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://uav.ru>. - 28.03.2014.]
4. Лавренюк В., Юльнев С. Роботизированное будущее. Основные проекты Беларуси в области разработки беспилотных авиационных комплексов военного назначения/ В. Лавренюк, С. Юльнев // Военно-промышленный комплекс. Беларусь. - № 1. – Минск.: Государственный военно-промышленный комитет. – 2014. – С 23 - 37.
5. Гриднев Ю. Состояние и перспективы развития беспилотных авиационных комплексов в Беларуси / Ю.Гриднев и др. // Наука и инновации. – № 2. – Минск: Национальная академия наук Беларуси. – С. 11-16.
6. Казарьян Б.И. Беспилотные аппараты: цели, задачи, условия создания/ Военная мысль. - № 1. - 2012. - С. 17-23
7. Государственный военный стандарт Республики Беларусь СТБ В 2411-2015. Военная техника. Беспилотные авиационные комплексы. Общие технические требования и методы испытаний.– Минск: Госстандарт, 2016.
8. Скотников А. Роль беспилотных комплексов в системе вооружения современной армии / В.Якубов, С.Шиховцев // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: / 8.10.2015
9. Степанов В.Д. Роботизация в ВВС миф или реальность/В.Д. Степанов, Г.М Скопец // Вестник Академии военных наук. - № 1. – 2014. – С. 148 – 152.
10. Потапов В.И. Беспилотные летательные аппараты: за и против / В.И Потапов, А.А. Нагорский // Вестник академии военных наук. - №2 (35). – 2011. – С. 139 -142
11. Титков О.С. Применение беспилотных авиационных комплексов армией США /О.С.Титков // Научно-техническая информация № 8, 2014. – С. 5 – 22.
12. Ильин Л.Н. Системный подход к определению оперативно-тактических требований/В.Г. Ковалев, П.А. Дульнев, // Военная мысль. - № 6. - 2016. - С. 37-41.
13. Чабанов В.А. О проектах БЛА следующего поколения / В.А. Чабанов // Научно-технические системы. – Научно-техническая информация. - № 5. – М.: НИЦ ГосНИИ АС 2014. – С. 22 – 29.
14. Фетисов В.С. Беспилотная авиация: терминология, классификация, современное состояние / В.С. Фетисов, Л.М. Неугодникова, В.В. Адамовский, Р.А. Красноперов; Под ред. В.С. Фетисова. – Уфа: ФОТОН, 2014. – 217 с.
15. Моисеев В.С. Основы теории эффективного применения беспилотных летательных аппаратов: монография. – Казань: Редакционно-издательский центр «Школа», 2015. 444 с.



16. Жеребин А.М. Методологические основы внешнего проектирования авиационных комплексов / А.М.Жеребин, Б.П.Топоров, В.М. Горлов // Электронный журнал «Труды МАИ». – Выпуск № 69 – Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем: [www.mai.ru/science/trudy](http://www.mai.ru/science/trudy) // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: / 8.02.2017.

17. U.S. Army Roadmap for UAS 2010 – 2035, p. 21 – 31, 73 – 81.

18. Кандауров А. В. Развитие системы вооружения общевойсковых формирований Сухопутных войск / В. Г. Ковалев, Л. Н. Ильин // Военная мысль.- № 3. – 2014. – С. 18 – 25.

19. Буренок В.М. Развитие военных технологий XXI века: проблемы, планирование, реализация / А.А. Ивлев, В.Ю. Корчак // Тверь: издательство «Купол», 2009. – 624 с.

20. Спиридонов С.Г. К вопросу определения рационального варианта системы вооружения войск / С.Г. Спиридонов и др. // Военная мысль. – № 12. – 2016. – С. 17 – 25.

21 Вербейко Б.М. Особенности системной методологии в разработке комплекса авиационного вооружения ударного беспилотного комплекса на этапах концептуальных и обликовых исследований / Б.М .Вербейко //МИЛЕКС.- 2014.

## ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ СВЯЗИ С БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ НА БОЛЬШИХ РАССТОЯНИЯХ И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Гогин А.А., Ежов С.Ю.

*РУП «Научно-производственный центр многофункциональных комплексов»  
Национальной академии наук Беларуси*

В последнее десятилетие во всем мире наблюдается непрерывно возрастающий интерес к беспилотным авиационным комплексам (БАК), обусловленный возможностью эффективного решения с их помощью широкого круга задач как общехозяйственного, так и специального назначения, при существенном снижении временных и экономических затрат по сравнению с используемой для указанных целей «большой» (пилотируемой) авиацией.

При разработке и в последующем в ходе эксплуатации БАК приходится сталкиваться с различными проблемными вопросами, в т.ч. касающимися организации связи с беспилотными летательными аппаратами (БЛА).

К числу основных проблем, возникающих при организации связи от наземного пункта управления (НПУ) с БЛА, особенно на больших расстояниях, относятся:

- отсутствие прямой радиовидимости между НПУ и БЛА, влияние профиля местности на дальность прямой радиовидимости;
- обеспечение электромагнитной совместимости радиоэлектронного оборудования на БЛА, ограничение мощности радиопередающих устройств БЛА;
- зависимость диаграмм направленности антенных систем от их размещения на БЛА, влияние ориентации БЛА во время полета на устойчивость радиосвязи;
- уменьшение бюджета радиолинии при высокоскоростной передаче информации от целевой нагрузки БЛА (видеоинформации);
- частотный ресурс, выделенный для организации связи с БЛА в Республике Беларусь.

Известны пути решения указанных проблемных вопросов:

- увеличение высоты подъема антенн НПУ и полета БЛА;
- оптимальное размещение бортового оборудования и антенн на БЛА;
- использование в составе НПУ антенн направленного действия;
- использование спутниковых систем связи;
- использование ретрансляционного оборудования.

Причем каждый из вариантов решения имеет как положительные, так и отрицательные стороны. Остановимся на них более подробно.

Как правило, в БАК применяют два радиоканала [1]:

- дуплексный: для приема-передачи командно-телеметрической информации;
- симплексный: для передачи информации от целевой нагрузки БЛА на НПУ.

Исходя из их предназначения, к ним предъявляются и разные требования по пропускной способности [2]:



– радиоканал приема-передачи командно-телеметрической информации – не более 256 кбит/с;

– радиоканал передачи информации от целевой нагрузки – не менее 5 Мбит/с.

Максимальная дальность радиосвязи между БЛА и НПУ обусловлена наличием прямой радиовидимости между ними и зависит от высоты подъема антенн НПУ и полета БЛА (таблица 1).

Таблица 1 – Расстояние радиовидимости между БЛА и НПУ

Высота полета БЛА, м	Дальность видимости (расстояние до радиогоризонта), км при высоте подъема антенны НПУ, м			
	1	10	20	30
100	39	47	52	55
250	60	68	72	76
500	83	91	96	99
750	101	109	114	117
1000	117	124	129	132
1500	142	150	154	158
2000	163	171	176	179
3000	199	207	212	215

Как видно из таблицы 1 зависимость дальности прямой радиовидимости сильнее от высоты полета БЛА, чем от высоты подъема антенны НПУ. К тому же НПУ, как правило, производят в мобильном исполнении, поэтому установка антенны на мачте (до 10 м) больше определяется необходимостью снижения влияния многолучевости, с учетом возможных препятствий на пути распространения сигнала (рельеф местности, строения и т.д.). Однако в зависимости от предназначения БАК чаще необходимо осуществлять полеты БЛА на высоте не более 500 м (разведка местности, сопровождение объекта и т.д.), т.е. дальность прямой радиовидимости составит не более 90 км. А с учетом влияния физико-географических факторов дальность радиосвязи между БЛА (при высоте 500 м) и НПУ может быть и значительно ниже.

Для повышения надежности радиосвязи возможно использование спутниковых систем связи (рисунок 1).

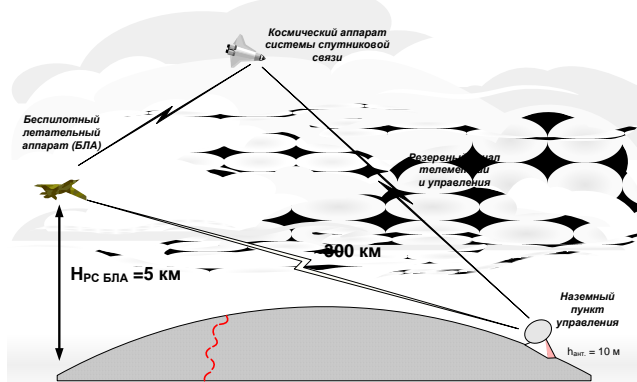


Рис. 1 – Использование спутниковых систем связи

Причем, если для низкоскоростной передачи командно-телеметрической информации достаточно использовать системы типа Iridium, Globalstar и др., то для высокоскоростной передачи информации от целевой нагрузки необходима установка на борту БЛА спутникового терминала с высоконаправленной антенной [3]. Но системы спутниковой связи типа Iridium обеспечивают передачу только короткими сообщениями, а при установке спутникового терминала с высоконаправленной антенной (использование опорно-поворотной платформы) необходимо учитывать массогабаритные размеры (не менее 55-60 кг), поэтому установка возможна на БЛА весом не менее 1,5 т.

Использование в составе НПУ антенн направленного действия с большим коэффициентом усиления оказывает положительный эффект на устойчивость радиосвязи, но при этом в связи с узкой шириной основного лепестка диаграммы направленности вызывает необходимость использования в составе НПУ опорно-поворотного устройства для автоматического слежения за положением БЛА в пространстве и наведением антенн на БЛА.

Использование ретрансляционного оборудования является более дешевым вариантом обеспечения связи на большие расстояния, причем в качестве ретранслятора можно использовать как воздушное (второй БЛА) (рисунок 2), так и наземное оборудование. При этом использование БЛА в качестве ретранслятора опять же ограничено дальностью прямой радиовидимости, хотя и будет значительно больше, чем в варианте с использованием высоты подъема антенны НПУ. А вот использование наземного оборудования не ограничивается только дальностью прямой радиовидимости – все зависит от количества наземных ретрансляторов и линий связи с НПУ.

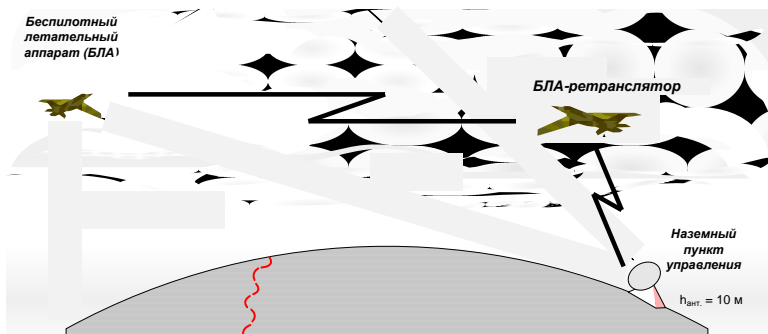


Рис. 2 – Использование БЛА в качестве ретранслятора

На основании вышеизложенного, наибольший интерес при организации связи с БЛА на больших расстояниях вызывают использование ретрансляционного оборудования и антенн направленного действия.

В республиканском унитарном предприятии «Научно-производственный центр многофункциональных беспилотных комплексов» Национальной академии наук Беларуси в рамках ГНТП «Роботизированные комплексы и авиакосмические технологии», 2016–2020 гг, разработан наземный приемопередающий комплекс НППК Б290, позволяющий организовать наземную ретрансляционную сеть в зоне полета БЛА, обеспечивающая условия прямой радиовидимости между БЛА и одним из НППК [4].

НППК Б290 обеспечивает:

- автоматическое наведение приемопередающих антенн на БЛА и сопровождение его положения в пространстве в зоне действия НППК (зоне прямой видимости между БЛА и НППК);
- прием данных о текущих координатах БЛА по радиоканалу от БЛА или от удаленного НПУ – по сетям связи общего или ведомственного пользования (далее – сети связи);
- прием от удаленного НПУ по сетям связи команд управления БЛА и ретрансляцию их по радиоканалу на борт БЛА;
- прием по радиоканалу от БЛА телеметрических данных и данных от целевой нагрузки и ретрансляцию их по сетям связи на удаленный НПУ;
- ретрансляцию данных от аппаратуры целевой нагрузки БЛА по сетям связи на терминал (компьютер) удаленного доверенного пользователя.

Состав основного оборудования НППК Б290 включает антенный пост (опорно-поворотное устройство, аппаратура навигации, антенная система, телескопическая мачта), блок автоматики, коммутации и связи и комплект средств технического обеспечения (ЗИП-О, бензогенератор).

Основные технические характеристики НППК Б290 приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные технические характеристики НППК Б290

Наименование параметра	Значение
Радиус действия радиоканалов (при обеспечении условий прямой радиовидимости), км, не менее	до 70
Диапазоны рабочих частот радиоканалов: – канала приема телеметрической информации и передачи команд управления (ТЛМ и КУ), МГц – канала приема данных ЦН (видео), МГц	902–928 1142–1163
Расстояние между НППК в распределенной сети, обеспечивающей сплошную зону покрытия, км, не более	120
Стандарты видеoinформации, принимаемой по каналу ЦН	PAL, NTSC, HD, Full HD
Диапазон наведения антенной системы по азимуту, град	0 – 360
Диапазон наведения антенной системы по углу места, град	минус 5 – +55
Расстояние между ретрансляторами в распределенной сети, км, не более	120
Интерфейс подключения к сетям связи общего или ведомственного пользования	10/100/1000BASE-T
Условия эксплуатации: – температура окружающей среды – относительная влажность окружающей среды при температуре 25 °С: – атмосферное давление, мм.рт.ст.:	минус 25 °С – +35 °С 98 % 570 – 800

Дальность связи по маршруту полета БЛА будет зависеть от количества установленных на маршруте НППК (рисунок 3).

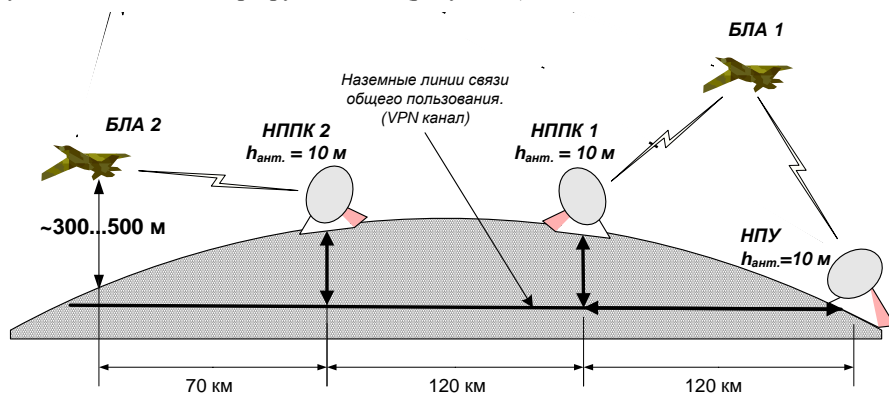


Рис. 3 – Организация связи с БЛА с использованием НППК Б290

Возвращаясь к вопросу использования антенн направленного действия, автоматическое наведение приемно-передающих антенн на БЛА и сопровождение его положения в пространстве обеспечивается двухкоординатным опорно-





поворотным устройством (ОПУ), разработанным в рамках выполнения данного задания.

В состав основного оборудования ОПУ входит устройство управления, приемо-передающее оборудование двух радиоканалов (передачи командно-телеметрической информации и видео), азимутальный и угломестный сервопривода с энкодерами и система климат-контроля. Устройство управления ОПУ на основании данных, получаемых от датчиков ОПУ, аппаратуры навигации, команд управления от удаленного НПУ и телеметрических данных с борта БЛА, производит обработку всей поступающей информации и формирует команды управления работой ОПУ, а также управляет системой климат-контроля и обеспечивает работу встроенных интерфейсов. Данное ОПУ можно использовать и в составе НПУ для организации связи с БЛА.

Вернемся еще к одному проблемному вопросу, озвученному мною в начале доклада – частотный ресурс, выделенный для организации связи с БЛА в Республике Беларусь.

В соответствии с [5] в интересах беспилотной авиации на территории Республики Беларусь выделены полосы частот, которые не используются для этих целей в других странах:

- для радиоканала приема-передачи командно-телеметрической информации – 960–1215 МГц;

- для радиоканала передачи информации от целевой нагрузки – 2,7–2,9 ГГц.

В ходе исследования конъюнктуры рынка нами определено, что указанные полосы частот противоречат [6]. Поэтому нигде за рубежом радиооборудование с указанными диапазонами частот не производится, а отечественное оборудование, соответствующее разрешенным на нашей территории полосам частот, не удовлетворяет требуемым техническим характеристикам.

Наше предприятие решило использовать для радиоканала передачи видеоинформации радиооборудование, функционирующее в полосе частот, разрешенной для радиоканала приема-передачи командно-телеметрической информации. Однако в разрешении использования указанной полосы частот на основании поданного в установленном порядке в ГКРЧ заявления нам было отказано. Наверное, пришло время совместными усилиями искать выход из создавшейся на внутреннем рынке ситуации. Призываем производителей к разработке цифрового радиооборудования в указанных полосах частот.

Таким образом, разработанные на нашем предприятии технические решения и внедренные в наземный приемо-передающий комплекс НППК Б290 и двухкоординатное опорно-поворотное устройство собственной разработки позволяют решить ряд сложных проблем, возникающих при организации связи с БЛА на больших расстояниях.

Возможными вариантами решения проблемы частотного ресурса на территории Республики Беларусь являются:

- технический: разработка (или модернизация имеющегося) радиооборудования в разрешенных полосах частот;

– организационный: совместно с заинтересованными структурами выработка и подача предложений в ГКРЧ с целью внесения дополнений, а возможно и изменений, в принятое решение.

### Список литературы:

1. Боев Н.М. Анализ командно-телеметрической радиолинии связи с беспилотными летательными аппаратами // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф.Решетнева. – 2012. – Вып. 2(42). – С. 86-91.

2. Полынкин А.В., Ле Х.Т. Исследование характеристик радиоканала связи с беспилотными летательными аппаратами // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2013. – Вып. 7. Ч. 2. – С. 98-107.

3. Боев Н.М., Шаршавин П.В., Нигруца И.В. Построение систем связи беспилотных летательных аппаратов для передачи информации на большие расстояния // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – Вып. 3(152). – С. 147-158.

4. Ежов С.Ю. Технический отчет по ОКР «Разработать и освоить производство наземных приемо-передающих комплексов для организации системы связи между наземным пунктом управления и беспилотным летательным аппаратом дальнего действия, находящимся вне зоны прямой радиовидимости» (заключительный) // ГП «НПЦ многофункциональных беспилотных комплексов» Национальной академии наук Беларуси. – 2016.

5. Решение Государственной комиссии по радиочастотам при Совете Безопасности Республики Беларусь № 29К/13 от 24 декабря 2013 г. О перспективном плане использования радиочастотного спектра радиоэлектронными средствами в Республике Беларусь – <http://www.mpt.gov.by/ru/reshenie-no-29k13-ot-24-dekabrya-2013-g-o-perspektivnom-plane-ispolzovaniya-radiochastotnogo-spektra>.

6. Позиция ИКАО на всемирной конференции радиосвязи 2015 года (ВКР-15) международного союза электросвязи (МСЭ)/R15-WRC15-C-0017!!MSW-R.docx – <http://www.itu.int/md/R15-WRC15-C-0017/en>.



## САМОНАВОДЯЩИЙСЯ БЕСПИЛОТНЫЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ АВИАЦИОННОГО БЕСПИЛОТНОГО КОМПЛЕКСА

Гриднев Ю.В., Яцына Ю.Ф., Пручковский С.В.

*«Научно-производственный центр многофункциональных беспилотных комплексов» Национальной академии наук Беларуси*

Предлагается компьютерная модель для определения оптимальной структуры и параметров беспилотного авиационного комплекса (БАК) с самонаводящимся БЛА на подвижные и неподвижные наземные объекты. В состав данного БАК входят взаимосвязанные БЛА-носитель типа «Буревестник-МБ», малый самонаводящийся БЛА и наземный пункт управления (НПУ) с оператором.

1. Принцип применения БАК. Принцип применения БАК представлен на рисунке 1.

1.1 БЛА-носитель взлетает с малого БЛА с аэродрома и по программе выводится в зону пуска самонаводящегося БЛА. Полет БЛА-носителя происходит по поворотным пунктам маршрута (ППМ), по которым пространственное состояние БЛА-носителя определяется вектором-параметром  $S$  (текущие координаты БЛА, углы Эйлера-Крылова, вектор скорости и высоты). Между ППМ БЛА носитель летит по кратчайшей траектории (полет БЛА-носителя по текущим ППМ выполняется по ортодромии) с учетом компенсации внешних возмущений (ветер, изменение параметров атмосферы).

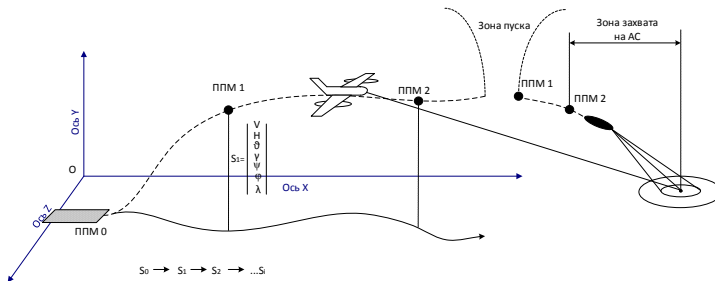


Рис. 1 – Принцип применения БАК

1.2 В зоне пуска путем сканирования оптической системой БЛА-носителя обнаруживается наземный объект и определяются его координаты. После идентификации обнаруженного объекта его координаты передаются в ПНК самонаводящегося БЛА, где формируется новая траектория наведения на этот объект.

1.3 По команде оператора или по программе производится пуск самонаводящегося БЛА. При этом происходит его отцеп от БЛА-носителя, выполняется запуск его силовой установки и начинается полет по заданной траектории от БЛА-носителя до цели. После пуска малого БЛА БЛА-носитель возвращается к месту базирования.

1.4 Приблизительно за 1000м до наземного объекта маломощная оптическая система самонаводящегося БЛА уточняет координаты и с помощью конту-

ра системы автоматического управления (САУ) осуществляет наведение БЛА на объект.

2. Структурная схема БАК. Структурная схема БАК показана на рисунке 2 и состоит из следующих элементов:

- НПУ, где оператор формирует электронную карту местности и электронную карту маршрута с использованием органов управления рабочего места оператора;

- навигационного блока, где вектор-параметр  $S$  преобразуется в требуемые сигналы управления для САУ;

- ПНК БЛА-носителя с пятью контурами управления его полетом и оптико-электронной системой;

- ПНК самонаводящегося БЛА с пятью контурами управления полетом БЛА и маломощной оптической системой.

Пять контуров управления полетом БЛА включают три контура САУ по углам Эйлера-Крылова (курс, крен, тангаж), контуры САУ по скорости и высоте полета.

Точность полета БЛА-носителя и самонаводящегося БЛА определяется динамическими и флуктуационными ошибками, которые зависят от параметров контуров управления САУ.

Каждый контур САУ содержит схему формирования сигнала ошибки, автопилот с рулевым приводом, уравнения планера фильтр Калмана и бесплатформенную инерциальную навигационную систему (БИНС).

3. Компьютерная модель БАК. Компьютерная модель представлена на рисунке 3 и представляет собой модель БЛА-носителя и модель самонаводящегося БЛА. Каждая общая модель имеет модель планера с кватернионами (рисунок 4), модель сил и моментов с учетом стандартной атмосферы.

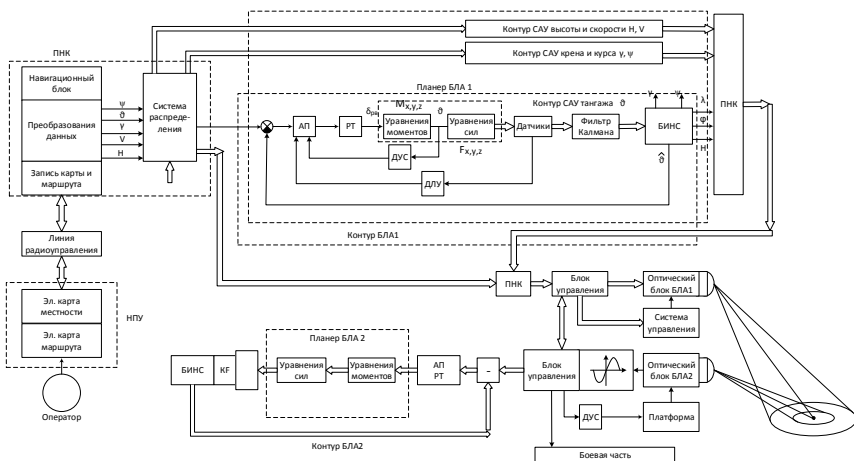


Рис. 2 –Структурная схема БАК с самонаводящимся БЛА

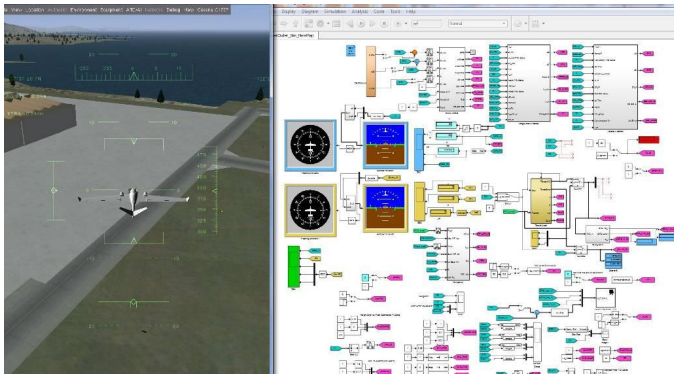


Рис. 3 – Компьютерная модель БАК

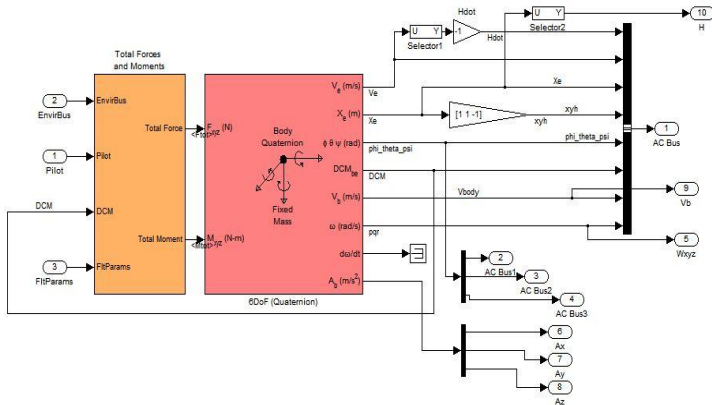


Рис. 4 – Компьютерная модель планера БЛА

Модель фильтра Калмана также реализована с кватернионами.

Субмодель дискретной САУ БЛА с фильтром Калмана показана на рисунке 5.

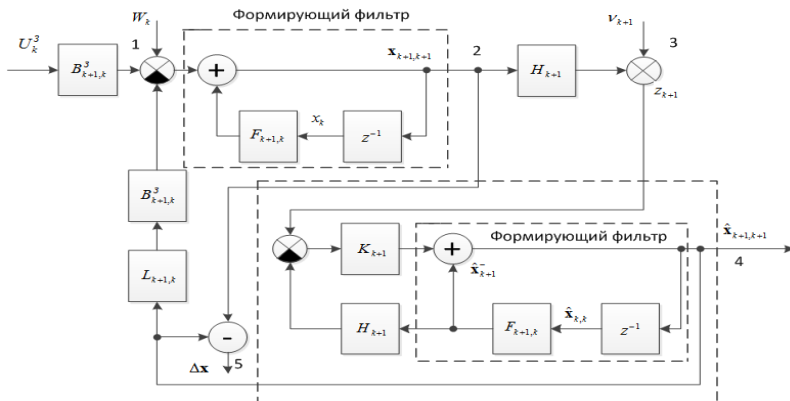


Рис. 5 – Дискретная САУ с фильтром Калмана

На ее вход с блока навигации, между двумя ППИМ, поступают сигналы управления в виде требуемых углов Эйлера, скорости и высоты.

Движение БЛА как динамической системы в дискретном виде может быть записано как [1]:

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{F}_{k+1,k} \mathbf{x}_k + \mathbf{B}_{k+1,k} \mathbf{U}_k + \mathbf{W}_k, \quad (1)$$

где  $\mathbf{x}_k$  – вектор состояния динамической системы длиной  $m$ ;

$\mathbf{F}_{k+1,k}$  –  $m \times m$  переходная матрица состояния системы;

$\mathbf{U}_k$  – вектор управления длиной  $l$ ;

$\mathbf{B}_{k+1,k}$  –  $m \times l$  переходная матрица управления;

$\mathbf{W}_k$  – вектор нормальных шумов с нулевым средним и корреляционной матрицей  $\mathbf{Q}_{k\delta(k-j)}$ .

Сигнал на выходе измерительной системы как последовательность ошибок измерения описывается выражением:

$$\mathbf{z}_{k+1} = \mathbf{H}_{k+1} \mathbf{x}_{k+1} + \mathbf{v}_{k+1}, \quad (2)$$

где  $\mathbf{z}_k$  – вектор наблюдений длиной  $m$ ;

$\mathbf{H}_k$  – матрица наблюдений;

$\mathbf{v}_k$  – вектор нормальных шумов с нулевым средним и корреляционной матрицей  $\mathbf{R}_{k\delta(k-j)}$ .

Принцип построения фильтра Калмана состоит в том, что для каждого дискретного момента времени  $k$  вначале вычисляется априорная оценка текущего состояния системы по прошлым наблюдениям (1й шаг – предсказание):

$$\hat{\mathbf{x}}_{k+1,k}^- = \mathbf{F}_{k+1,k} \hat{\mathbf{x}}_{k,k}^+ + \mathbf{B}_{k+1,k} \mathbf{U}_{k,k} + \mathbf{W}_{k,k}, \quad (3)$$



а затем вычисляется апостериорная уточняющая оценка (2й шаг – уточнение)

$$\hat{\mathbf{x}}_{k+1,k+1}^+ = \hat{\mathbf{x}}_{k+1,k}^- + \mathbf{K}_{k+1}(\mathbf{z}_{k+1} - \mathbf{H}_{k+1}\hat{\mathbf{x}}_{k+1,k}^-), \quad (4)$$

Переходные процессы данной субмодели определялись по сигналу «единичной функции» (рисунок 6), которые демонстрируют подавление шумов в 10 раз и время отработки входного сигнала. Также путем моделирования оценивались ошибки трех каналов управления углами Эйлера без связей между каналами и с учетом их связей.

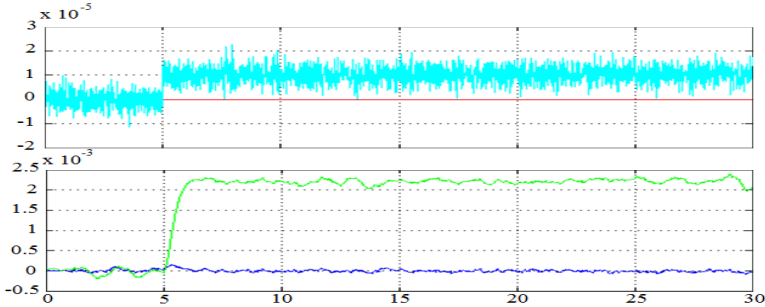


Рис. 6 – Сигнал на входе (сверху) и на выходе (снизу) модели

Результаты моделирования, показанные на рисунке 7, позволяют сделать вывод, что динамические ошибки каналов управления со связями между каналами изменяются во времени в отличие от условия отсутствия связей между каналами.

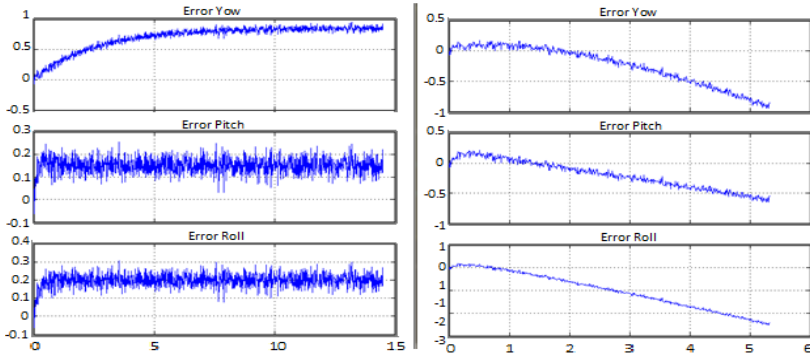


Рис. 7 – Динамические ошибки каналов управления

На эпюрах (рисунок 8) показаны вход и выход фильтра Калмана при обработке сигналов с датчиков линейных ускорений.

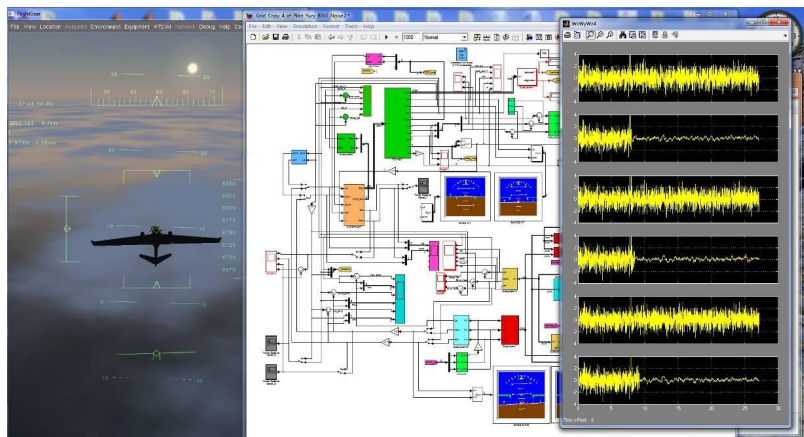


Рис. 7 – Эюры входных и выходных сигналов фильтра Калмана

Выбор схемы БИНС с кватернионами был произведен на основе сравнительного анализа ошибок работы трех схем БИНС: с углами Эйлера-Крылова, уравнениями Пуассона и в кватернионах.

Результаты измерения ошибок угловых скоростей для трех моделей БИНС с углами Эйлера-Крылова, с уравнением Пуассона и в кватернионах представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты измерения ошибок угловых скоростей моделей БИНС

	БИНС (агу*) с углами Эйлера-Крылова		БИНС (агу_2_) с уравне- ниями Пуассона		БИНС с кватерниона- ми	
Без шума	S=1	S=10	S=1	S=10	S=1	S=10
$\omega_x$	$\pm 0,15$	$\pm 5$	$+0,13/-0,12$	$\pm 5$	$0,14/-0,12$	$\pm 5$
$\omega_y$	$\pm 0,75$	$\pm 7$	$\pm 0,7$	$\pm 7$	$\pm 0,7$	$\pm 7$
$\omega_z$	$\pm 0,25$	$+4/-4,2$	$\pm 0,3$	$+4,4/-3$	$\pm 0,3$	$+4,3/-3$
$\Delta\psi$	$\pm 1,5 \cdot 10^{-3}$	$\pm 2$	$\pm 1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$-1,5 \cdot 10^{-3}$	$\pm 3$
$\Delta\theta$	$\pm 1,5 \cdot 10^{-3}$	$\pm 1$	$-0,9 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$\pm 4 \cdot 10^{-2}$	$\pm 0,5$
$\Delta\gamma$	$\pm 2 \cdot 10^{-3}$	$\pm 1,5$	$-4 \cdot 10^{-4}$	$-2 \cdot 10^{-4}$	$\pm 2,3 \cdot 10^{-3}$	$\pm 2$
S/N=1,0 (отношение сигнал/шум)						
$\omega_x$ при s/n=1.0	$+0,15$ $-0,24$	$\pm 5$	$0,15/-0,2$	$\pm 5$	$0,25/-0,4$	$+5/-6$
$\omega_y$ при s/n=1.6	$\pm 0,75$	$\pm 7$	$0,7/-0,8$	$\pm 7$	$\pm 1$	$\pm 6$
$\omega_z$ при s/n=2,67	$+0,3$ $-0,4$	$\pm 4$	$0,3/-0,4$	$+4/-3$	$\pm 0,4$	$+4/-3$
$\Delta\psi$	$-0,12/-0,4$	$\pm 3$	$0,23/0$	$\pm 0,2$	$\pm 0,13$	$\pm 3$
$\Delta\theta$	$-0,1/-0,3$	$\pm 1$	$0,17/0$	$0,2/-0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$
$\Delta\gamma$	$-0,1/-0,25$	$\pm 1,5$	$0,1$	$\pm 0,75$	$0,2/-0,6$	$\pm 1,3$





	БИНС (arg*) с углами Эйлера-Крылова		БИНС (arg_2_) с уравне- ниями Пуассона		БИНС с кватерниона- ми	
S/N=10 (отношение сигнал/шум)						
$\omega_x$ при s/n=1,0	0,13/- 0,15	$\pm 5$	0,13/-0,15	$\pm 5$	0,2/-0,2	5/-6
$\omega_y$ при s/n=1,6	$\pm 0,75$	$\pm 7$	$\pm 7,5$	$\pm 6$	$\pm 0,6$	$\pm 6$
$\omega_z$ при s/n=2,67	0,25/- 0,25	4,5/- 3,5	0,3/-0,28	+3/-4	0,2/-0,22	4/-3
$\Delta\psi$	- 0,03/-0.1	$\pm 3$	0,06/-0.03	$\pm 0,055$	$\pm 0,05$	$\pm 3$
$\Delta\theta$	- 0,06/-0.11	$\pm 0,75$	$\pm 0,04$	- 0.01	$\pm 0,07$	$\pm 0,5$
$\Delta\gamma$	0,05/-0,1	$\pm 1,5$	$\pm 0,02$	0,23	0,05/-0,2	$\pm 1,5$

Схема БИНС с кватернионами (рисунок 8) состоит из блоков ориентации и навигации, в которой применена нормировка кватерниона  $\Lambda$ .

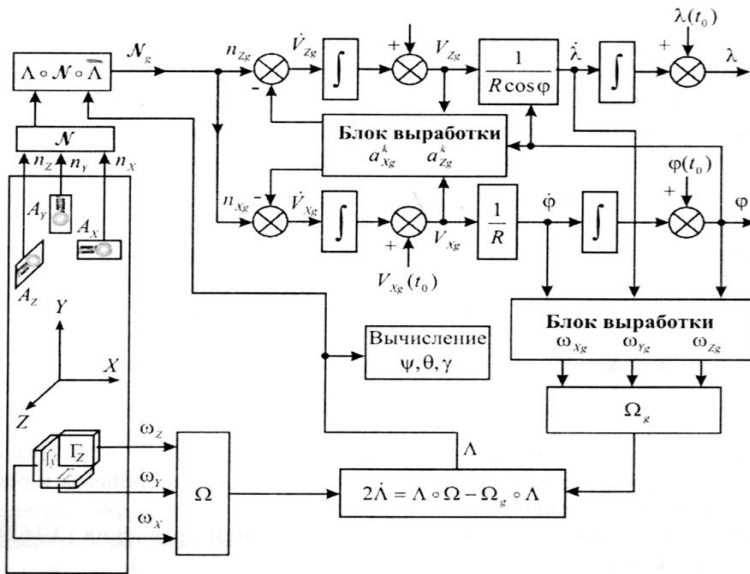


Рис. 8 – БИНС в кватернионах

В блоке ориентации вычисляется кватернион:

$$2\dot{\Lambda} = \Lambda \circ \Omega - \Omega_g \circ \Lambda, \quad (5)$$

где  $\Omega, \Omega_g$  – гиперкомплексные отображения векторов абсолютной угловой скорости географической и связанной систем координат.

Вычисленный кватернион позволяет определить углы Эйлера-Крылова  $\psi, \theta, \gamma$ . Данный кватернион  $\Lambda$  также используется для определения вектора линейных ускорений БЛА  $N_g$ . В блоке навигации БИНС определяются координаты

БЛА  $\lambda$ ,  $\varphi$  и линейные ускорения за счет вращения Земли для формирования корректирующих поправок в БИНС.

Вывод.

Предложенная компьютерная модель самонаводящегося БЛА БАК при выбранной оптимальной структуре и параметрах системы показала свою работоспособность с заданными точностными характеристиками наведения.

Работа модели БАК представлена демонстрационным фильмом, где при работе модели БАК отображаются эпюры параметров высоты и углов Эйлера, а с помощью авиасимулятора FlightGear демонстрируется моделирование полета самонаводящегося БЛА.

#### **Список литературы:**

1. Матвеев В.В. Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем / Распопов В.Я. – СПб, 2009. - 278 с.



## МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРУППОВОГО ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ В УСЛОВИЯХ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ

Давыдовский А.Г.<sup>1</sup>, Андреев А.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, <sup>2</sup>Управление применения и развития беспилотных авиационных комплексов Вооруженных Сил Республики Беларусь, Минск

**Введение.** Анализ современных и перспективных тенденций развития вооруженных сил и вооружений стран, лидирующих в области развития оборонных технологий свидетельствует о прогрессивном повышении роли беспилотных авиационных комплексов (БАК) и беспилотных летательных аппаратов (БЛА) при решении разведывательно-ударных, штурмовых, транспортных и специальных задач на различных театрах военных действий (ТВД) в первой четверти XXI века [1–3]. При этом оптимизация боевого применения БАК в условиях интенсивного противодействия систем радиоэлектронной борьбы (РЭБ) и противовоздушной обороны (ПВО) требует разработки эффективных математических моделей, описывающих различные стратегии их антагонистических взаимодействий.

В связи с этим **целью работы** является обоснование и анализ математических моделей, описывающих базовые стратегии применения роя БЛА в условиях противодействия системы ПВО противника, а также стратегий применения средств ПВО для противодействия атакам роевых групп БЛА использованием методов теории игр и критериев оптимальности принятия решений в условиях информационной неопределенности.

**Направления группового применения БАК в условиях противодействия.** В условиях интенсивного использования средств оптико-радиоэлектронной борьбы (ОРЭБ) и противовоздушной обороны (ПВО) роевые группы БЛА могут применяться в качестве: 1) средств для увеличения зоны радиолокационного горизонта (УЗРГ) и расширения возможностей оптико-радиоэлектронной разведки (ОРЭР), включая применение радаров с активной фазированной антенной решеткой, технологии многолучевых методов идентификации с накоплением информации о воздушных целях для увеличения возможностей обнаружения цели по доплеровскому смещению; 2) разведывательных и разведывательно-наблюдательных средств; 3) ударных атакующих платформ-носителей ракетного, ракетно-пушечного, микроволнового, лазерного и акустического вооружения; 4) носителей устройств для глушения сигналов GPS систем ПВО с радиусом эффективного подавления 40–150 км и весом около 10 кг; 5) платформ-трансляторов электронных спуфинг-атак на навигационные системы GPS систем ПВО и других систем вооружения противника; 6) беспилотных истребителей БЛА и крылатых ракет, для чего можно оборудовать БЛА радиолокационными системами (РЛС) с дальностью обнаружения воздушных целей на фоне земли от 100 км и более (напр., класс «Ирбис»), управляемые ракеты (УР) класса «воздух –воздух», переносные переносных зенитно-ракетные комплексы

(ПЗРК) типа «Стрела» или «Игла»; 7) летающих боеприпасов объемного взрыва типа «камикадзе»; 8) постановщиков оптико-радиоэлектронных помех для систем ОРЭР и ОРЭБ системы ПВО противника; 9) летающих командных центров (ЛКЦ) и ретрансляторов команд управления роем БЛА.

При этом наиболее перспективные технологии противодействия групповому применению БЛА – это системы оптико-радиоэлектронной борьбы (ОРЭБ), технологии хакинга систем управления БАК, дезориентация и повреждение БЛА с помощью оптико-электронных средств, а также ракетных и авиационно-пушечных вооружений. Существенное повышение эффективности последних обеспечивают боеприпасы с поражающими элементами в виде вольфрамовых шариков (массой от 0,5 до 1,0 г числом от 200 до 500 штук в одном снаряде). При подрыве такого снаряда рядом с БЛА они образуют накрывающее облако, поражающее цель шрапнелью. Кроме того, пушки для противодействия БЛА целесообразно оснащать снарядами с интеллектуальным, программируемым по времени взрывателем. Такими снарядами могут быть, 35-мм зенитный снаряд KETF (Kinetic Energy Time Fuse) с взрывателем, выполненным по технологии ANEAD (Advanced Hit Efficiency and Destruction), или 40-мм снаряд PMD 330 с числом поражающих элементов 407 весом по 1,24 г, а также снаряд PTFP (Programmable Time Fuse Pre-Fragmented), содержащий более сотни поражающих элементов цилиндрической формы из вольфрама, стабилизируемых вращением для эффективного поражения цели [4–6].

Вместе с тем, результативность применения роевых групп БЛА, как и эффективность противодействия им, зависит от возможности использования оптимальных, гибких и адаптивных (быстро перестраиваемых) стратегий применения вооружений атакующей или обороняющейся стороной. Превосходство обеспечивается способностью быстро принимать рациональные решения и реализовывать меры превентивного характера в отношении противника.

**Математическое моделирование стратегий применения БАК в условиях противодействия. взаимодействия** Для оценки возможности увеличения (уменьшения) вероятности реализации любого из рассматриваемых состояний с вероятностью  $P_i$  предложена математическая модель, представленная линейными дифференциальными уравнениями (1) – (18), в которых интенсивность вероятности переходов между состояниями задана коэффициентами  $k_i$ . На рис. 1 представлена схема функциональных состояний и взаимных переходов между ними при применении роя БЛА в условиях противодействия. Указаны следующие состояния:

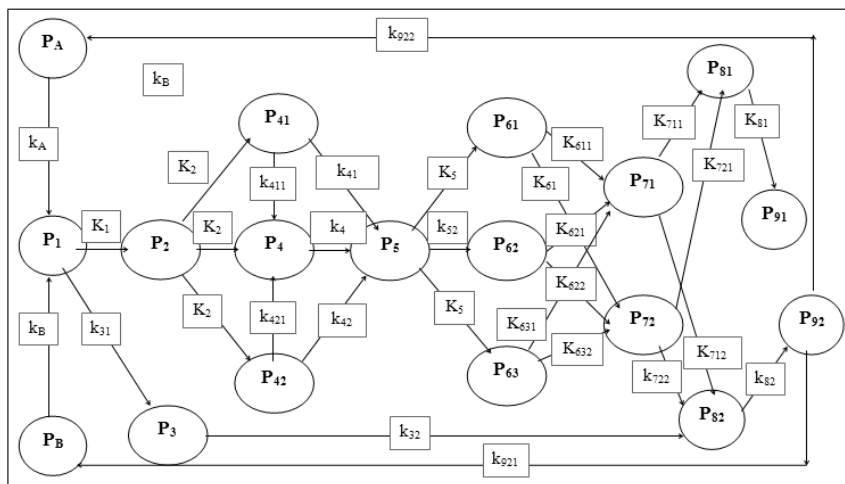


Рис. 1 – Функциональные состояния боевого применения роя БЛА в условиях противодействия

$P_A$  – применение роя БЛА в качестве основного средства преодоления эшелонированной системы ПВО, а также нанесения ущерба и/или уничтожения обороняемого объекта;

$P_B$  – применение роя БЛА в качестве дополнительного (вспомогательно-го) средства преодоления эшелонированной системы ПВО, а также нанесения ущерба и/или уничтожения обороняемого объекта;

$P_1$  – разведка боевых и функциональных возможностей, тактики применения и резервов ПВО, ОРЭР и ОРЭБ, а также их резервного обеспечения;

$P_2$  – нанесение селективных ударов по отдельным компонентам различных эшелонов системы ПВО противника с целью вскрытия ее возможностей и такой перестройки ее конфигурации, выгодной для атакующей стороны в условиях воздушной или общевойсковой операции;

$P_3$  – выведение роя БЛА из операции (боя) вследствие интенсивного противодействия ОРЭБ и ПВО противника;

$P_4$  – взятие под контроль и управление средств системы ПВО для обеспечения беспрепятственного ее преодоления;

$P_{41}$  – истощение ресурсов системы ПВО вследствие применения эшелонированной (волновой) организации роя БЛА;

$P_{42}$  – навязывание системе ПВО противнику модели противоборства, выгодной атакующей стороне, путем нанесения ущерба компонентам системы ПВО на различных эшелонах;

$P_5$  – преодоление (прорыв) эшелонированной системы ПВО для последующей атаки обороняемого объекта;

$P_{61}$  – ресурсосберегающий режим применения роя БЛА при атаке обороняемого объекта;

$P_{62}$  – «комплексный режим» – использование роя БЛА для маневренной «разведки боем» для истощения ресурсов ПВО противника при одновременном причинении ущерба обороняемому объекту;

$P_{63}$  – «режим прикрытия» – обеспечение безопасности применения других авиационных, ракетных и воздушно-космических средств для нанесения ущерба и/или уничтожения обороняемого объекта;

$P_{71}$  – уничтожение обороняемого объекта противника;

$P_{72}$  – причинение ущерба обороняемому объекту противника;

$P_{81}$  – снижение (потеря) боевых и функциональных возможностей роя БЛА;

$P_{82}$  – сохранение основных технических и функциональных ресурсов роя БЛА для повторного использования в условиях воздушной или общевойсковой операции;

$P_{91}$  – уничтожение роя БЛА вследствие его физической и функциональной дезинтеграции;

$P_{92}$  – повторное использование технических и функциональных ресурсов роя БЛА.

Данная модель описывает квазистационарную динамику вероятности реализации всех рассматриваемых состояний применения роя БЛА, перечисленных на рис. 1:

$$dP_A/dt = -k_A P_A + k_{922} P_{92}, \quad (1)$$

$$dP_B/dt = -k_B P_B + k_{921} P_{92}, \quad (2)$$

$$dP_1/dt = k_A P_A + k_B P_B - (k_1 + k_{31}) P_1, \quad (3)$$

$$dP_2/dt = k_1 P_1 - (k_{21} + k_{22} + k_{23}) P_2, \quad (4)$$

$$dP_3/dt = k_{31} P_1 - k_{32} P_3, \quad (5)$$

$$dP_4/dt = k_{22} P_2 + k_{411} P_{41} + k_{421} P_{42} - k_4 P_4, \quad (6)$$

$$dP_{41}/dt = k_{21} P_2 - (k_{41} + k_{411}) P_{41}, \quad (7)$$

$$dP_{42}/dt = k_{23} P_2 - (k_{421} + k_{42}) P_{42}, \quad (8)$$

$$dP_5/dt = k_{41} P_{41} + k_4 P_4 + k_{42} P_{42} - (k_{51} + k_{52} + k_{53}) P_5, \quad (9)$$

$$dP_{61}/dt = k_{51} P_5 - (k_{611} + k_{612}) P_{61}, \quad (10)$$

$$dP_{62}/dt = k_{52} P_5 - (k_{621} + k_{622}) P_{62}, \quad (11)$$

$$dP_{63}/dt = k_{53} P_5 - (k_{631} + k_{632}) P_{63}, \quad (12)$$

$$dP_{71}/dt = k_{611} P_{61} + k_{621} P_{62} + k_{632} P_{63} - (k_{711} + k_{712}) P_{71}, \quad (13)$$

$$dP_{72}/dt = k_{612} P_{61} + k_{622} P_{62} + k_{632} P_{63} - (k_{721} + k_{722}) P_{72}, \quad (14)$$

$$dP_{81}/dt = k_{711} P_{71} + k_{721} P_{72} - k_{81} P_{81}, \quad (15)$$

$$dP_{82}/dt = k_{712} P_{71} + k_{722} P_{72} - k_{82} P_{82}, \quad (16)$$

$$dP_{91}/dt = k_{81} P_{81}, \quad (17)$$

$$dP_{92}/dt = k_{82} P_{82} - (k_{921} + k_{922}) P_{92}. \quad (18)$$

Анализ данной модели позволяет описать следующие состояния:

1) взятия под контроль и управление средств системы ПВО для обеспечения беспрепятственного ее преодоления ( $P_4$ );

2) истощения ресурсов системы ПВО вследствие применения эшелонированной (волновой) организации роя БЛА ( $P_{41}$ );

3) навязывания системе ПВО противника тактики, выгодной для атакующей стороны, фактически – для роя БЛА ( $P_{42}$ );



- 4) преодоления (прорыв) эшелонированной системы ПВО для последующей атаки обороняемого объекта ( $P_5$ );
- 5) сохранение ресурсов роя БЛА при атаке объекта противника ( $P_{61}$ );
- 6) уничтожения объекта противника ( $P_{71}$ );
- 7) причинения ущерба объекту противника ( $P_{72}$ ).

Как свидетельствует анализ, увеличить вероятность реализации состояний  $P_4$ ,  $P_{41}$ ,  $P_{42}$  и  $P_5$  можно только при интенсификации нанесения селективных ударов по компонентам эшелонов системы ПВО противника (19) – (22):

$$P_4 = (k_{22} + k_{411}k_{21}/(k_{41} + k_{411}))_1 + k_{421}k_{23}/(k_{421} + k_{42}) P_2/k_4 = \quad (19)$$

$$P_{41} = k_{21}P_2/(k_{41} + k_{411}), \quad (20)$$

$$P_{42} = k_{23}P_2/(k_{421} + k_{42}), \quad (21)$$

Кроме того, возможности селективного подавления системы ПВО противника определяют возможность ее преодоления роем БЛА:

$$P_5 = (k_{41}k_{21}/(k_{41} + k_{411}) + k_4P_4 + k_{42}k_{23}/(k_{421} + k_{42})) P_2/(k_{51} + k_{52} + k_{53}), \quad (22)$$

Очевидно, что такая селективность, прежде всего, относится к возможностям применения средств и методов ОРЭБ, включая постановку интенсивных помех и нарушение систем управления ПВО противника.

В свою очередь, сохранение роя БЛА и его ресурсов зависит от подавления системы ПВО (23):

$$P_{61} = k_{51}P_5/(k_{611} + k_{612}). \quad (23)$$

На основе анализа динамики состояний роя БЛА, представленных на рис. 1, и математической модели (1) – (23) оценено общее число всех гипотетически возможных стратегий применения БЛА:  $12! \approx 479001600$ . При этом охарактеризованы 73 сравнительно рациональных стратегий боевого применения роя БЛА.

В дальнейшем получены дискретные математические вероятностные модели для вероятностной оценки эффективности применения роя БЛА (24) – (27), описывающие стратегии применения БЛА:

1) стратегия «Рой-1», предусматривает использование роя БЛА в качестве основного средства осуществления воздушной или общевойсковой операции с последующей полной или частичной потерей боевых и функциональных свойств роя (24):

$$P_A P_1 P_2 [1 - (1 - P_{41})(1 - P_4)(1 - P_{42})] P_5 [1 - (1 - P_{61})(1 - P_{62})(1 - P_{63})] \cdot [1 - (1 - P_{71})(1 - P_{72})] P_{81}, \quad (24)$$

2) стратегия «Рой-2» является версией стратегии «Рой-1» при сохранении технических и функциональных ресурсов роя БЛА для повторного использования (25):

$$P_A P_1 P_2 [1 - (1 - P_{41})(1 - P_4)(1 - P_{42})] P_5 [1 - (1 - P_{61})(1 - P_{62})(1 - P_{63})] \cdot [1 - (1 - P_{71})(1 - P_{72})] P_{82}, \quad (25)$$

3) стратегия «Рой-3» использует рой БЛА как дополнительное (вспомогательное) средство в воздушной или общевойсковой операции с последующей полной или частичной потерей боевых и функциональных свойств роя (26):

$$P_B P_1 P_2 [1 - (1 - P_{41})(1 - P_4)(1 - P_{42})] P_5 [1 - (1 - P_{61})(1 - P_{62})(1 - P_{63})] \cdot [1 - (1 - P_{71})(1 - P_{72})] P_{81}, \quad (26)$$

4) стратегия «Рой-4» использует рой БЛА как дополнительное (вспомогательное) средства в условиях воздушной или общевойсковой операции при

сохранении технических и функциональных ресурсов роя БЛА для повторного использования (27):

$$P_{B1}P_2[1-(1-P_{41})(1-P_4)(1-P_{42})]P_5[1-(1-P_{61})(1-P_{62})(1-P_{63})] \cdot [1-(1-P_{71})(1-P_{72})]P_{82}. \quad (27)$$

Наряду с выше изложенным выполнено моделирование различных стратегий применения системы ПВО и других систем противодействия против роя БЛА. При этом проанализированы семь основных взаимно сопряженных функциональных состояния систем противодействия рою БЛА:

$P_{РБД}$  – режим «боевого дежурства» (РБД) системы ПВО и других систем противодействия БЛА, включающий средства ОРЭР роя БЛА;

$P_{ОРЭР}$  – оптико-радиоэлектронная разведка (ОРЭР) роя БЛА со стороны системы ПВО противника;

$P_{ОРЭБ}$  – режим оптико-радиоэлектронной борьбы (ОРЭБ) с роем БЛА;

$P_{антиБЛА}$  – использование роя анти-БЛА для борьбы с роем БЛА («рой против роя»);

$P_{УЗРГ}$  – увеличение «зоны радиогоризонта» (УЗРГ) для обеспечения раннего обнаружения роя БЛА;

$P_{ЗРПО}$  – дезорганизация и/или уничтожение роя БЛА зенитно-ракетно-пушечное оружие (ЗРПО) ПВО;

$P_{НР}$  – нейтрализация роя БЛА, включая его подавление, взятие управления роем БЛА под контроль с последующей нейтрализацией или уничтожением роя.

Основные функциональные состояния системы противодействия рою БЛА и их основные взаимные переходы представлены на рис. 2.

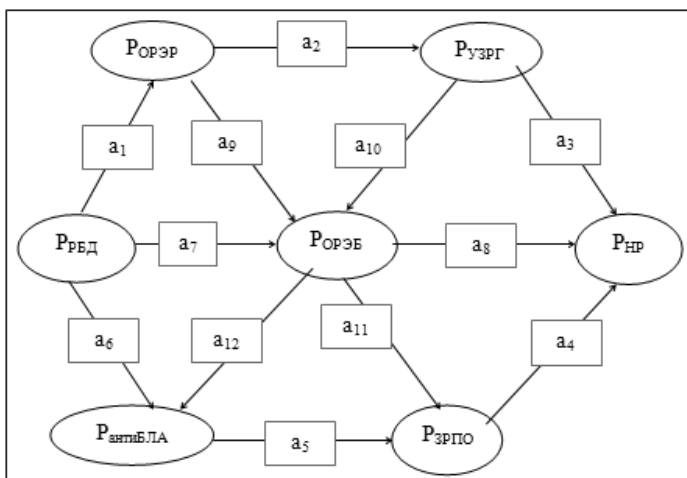


Рис. 2 – Функциональные состояния системы противодействия применению роя БЛА





На основе анализа состояний системы ПВО, представленных на рис. 2, и соответствующей математической модели оценено общее число всех гипотетически возможных стратегий применения БЛА:  $7! \approx 5040$ . Для оценки различных стратегий противодействия рою БЛА предложена математическая модель, в которой интенсивность переходов между режимами функционирования системы ПВО задана коэффициентами  $a_i$ . Как следует из анализа модели, система ПВО тем более эффективна, чем интенсивнее осуществляются переходы между режимами:  $P_{РБД} \rightarrow P_{ОРЭР} \rightarrow P_{ОРЭБ} \rightarrow P_{ЗРПО} \rightarrow P_{антиБЛА}$ . В связи с этим были охарактеризованы пять основных стратегий ПВО, описываемых дискретными уравнениями (28) – (32):

а) стратегия «ПВО-1» предусматривает смену режимов системы ПВО –  $P_{РБД} \rightarrow P_{ОРЭР} \rightarrow P_{ОРЭБ} \rightarrow P_{ЗРПО}$  (28):

$$P_{НР} = P_{РБД} P_{ОРЭР} P_{ОРЭБ} P_{ЗРПО}, \quad (28)$$

б) стратегия «ПВО-2» предусматривает два параллельных перехода компонентов системы ПВО (29):

$$P_{РБД} \rightarrow P_{ОРЭР} \rightarrow P_{ОРЭБ} \rightarrow P_{ЗРПО} \text{ и } P_{РБД} \rightarrow P_{ОРЭР} \rightarrow P_{ЗРПО};$$

$$P_{НР} = P_{РБД} [1 - (1 - P_{ОРЭР})(1 - P_{ОРЭР} P_{ОРЭБ})] P_{ЗРПО}, \quad (29)$$

в) стратегия «ПВО-3» предусматривает параллельное использование режимов УЗРГ, ОРЭР и ОРЭБ с последующим переходом к применению ЗРПО (30):

$$P_{НР} = P_{РБД} [1 - (1 - P_{УЗРГ})(1 - P_{ОРЭР} P_{ОРЭБ})] P_{ЗРПО}, \quad (30)$$

г) стратегия «ПВО-4» является продвинутой модификацией стратегии «ПВО-3», включающей параллельное использование как УЗРГ, ОРЭР, ОРЭБ и ЗРПО, а после этого – технологии анти-БЛА (31):

$$P_{НР} = P_{РБД} [1 - (1 - P_{УЗРГ})(1 - P_{ОРЭР} P_{ОРЭБ})] P_{ЗРПО} P_{антиБЛА}, \quad (31)$$

д) стратегия «ПВО-5» включает параллельное использование УЗРГ, ОРЭР и ОРЭБ, так и параллельное применение комплекса средств анти-БЛА и ЗРПО (32):

$$P_{НР} = P_{РБД} [1 - (1 - P_{УЗРГ})(1 - P_{ОРЭР} P_{ОРЭБ})] [1 - (1 - P_{антиБЛА})(1 - P_{ЗРПО})]. \quad (32)$$

Предложены критерии оценки атакующих стратегий роя БЛА и обороняющихся стратегий системы ПВО, в т.ч.:

1) ресурсоемкость (баланс ресурсов, расходуемых роём БЛА, с одной стороны, и ПВО обороняющейся стороной, с другой);

2) рентабельность («эффективность применения – стоимость подготовки и реализации стратегии»);

3) технологическая реализуемость (наличие технических возможностей для реализации стратегии);

4) возможность к совершенствованию и наращиванию боевого потенциала при реализации стратегии;

5) диапазон решаемых боевых задач при реализации стратегии;

6) эффективность боевого применения стратегии (баланс «потери противника – потери роя БЛА»).

Для выбора наиболее эффективной стратегии боевого применения роя БЛА целесообразно использовать критерии оптимальности принятия решений в условиях неопределенности и риска, такие как критерий Вальда и критерий Сэвиджа.

Критерий Вальда (критерий осторожного наблюдателя,  $K_{\text{Вальд}}$ ) оптимизирует полезность, допуская, что воздушная среда, контролируемая системой ПВО противника, находится в самом невыгодном для атакующего роя БЛА состоянии, в соответствии с решающим правилом (33):

$$K_{\text{Вальд}} = \max_i \{ \min_j u_{ij} \} \quad (33)$$

По критерию Вальда выбирают стратегию, гарантирующую прорыв ПВО при наихудшем варианте группового применения БЛА в условиях мощного противодействия системы ПВО противника. Критерий Сэвиджа минимизирует возможные потери атакующего роя БЛА при условии, что эффективность средств ОРЭБ и ПВО противника наихудшим образом отличается от желательного варианта (34):

$$K_{\text{Сэвидж}} = \min_i \{ \max_j a_{ij} \} \quad (34)$$

В табл. 1 представлены результаты сравнительного исследования стратегий применения БЛА и средств ПВО.

Таблица 1 – \*Вероятностные показатели эффективности группового применения БЛА при различных стратегиях противодействия системе ПВО

«ПВО» \ «Рой»	ПВО-1	ПВО-2	ПВО-3	ПВО-4	ПВО-5	Минимальные значения	Критерий Вальда
Рой-1	0,31	0,29	0,20	0,15	0,05	0,05	
Рой-2	0,38	0,22	0,18	0,14	0,08	0,08	0,08←
Рой-3	0,29	0,26	0,19	0,21	0,05	0,05	
Рой-4	0,35	0,18	0,22	0,20	0,05	0,05	
Максимальные значения	0,38	0,29	0,22	0,21	0,08	0,08	0,08←
Критерий Сэвиджа	0,38↑	0,29	0,22	0,21	0,08↓		

\*Примечание: – представлены данные имитационного моделирования различных стратегий применения БЛА в условиях противодействия системы ПВО.

Закключение. На основе предложенных математических моделей оценена оптимальность различных стратегий группового применения БЛА в условиях интенсивного противодействия системы ПВО. Выполнено вероятностное моделирование эффективности боевого применения каждой из упомянутых стратегий ПВО. Очевидно, наименее эффективной стратегией противодействия рою БЛА является стратегия «ПВО-1», тогда как наиболее эффективной стратегией



противодействия рою БЛА является стратегия «ПВО-5». Но она же является наиболее ресурсозатратной. Показано, что стратегия группового применения роя БЛА «Рой-2» является относительно наиболее оптимальной в условиях противодействия системы ПВО, которые можно рассматривать с позиций теории игр как «антагонистическую игру с неявными стратегиями участников». Причем наименее эффективными стратегиями группового применения роя БЛА являются стратегии «Рой-1», «Рой-3» и «Рой-4».

Необходимо отметить, что в подобных антагонистических отношениях преимущество остается за той стороной, которая смогла лучше диверсифицировать свой потенциал и ресурсы (вооружения, средства разведки, атаки и обороны), а также обладает наиболее оптимальными и адаптивными стратегиями их применения в условиях противодействия другой стороны. При этом роевые подходы в организации, применении и управлении БЛА при их групповом применении могут способствовать существенному снижению эффективности таких дорогих и мощных систем ПВО, как С-300, С-400 и С-500.

Таким образом, в работе представлены результаты моделирования стратегий группового применения БЛА в условиях противодействия системы средств ПВО с использованием методов теории игр и критериев оптимальности принятия решений в условиях неопределенности и риска.

### Список литературы:

1. Моисеев, В.С. Основы теории создания и применения информационных беспилотных авиационных комплексов: монография / Моисеев В.С., Гущина Д.С., Моисеев Г.В.. – Казань, 2010. – 196 с.
2. Полтавский, А.В. Беспилотные летательные аппараты в системе вооружения / А.В. Полтавский // Известия Самарского научного центра РАН. – 2014. – Т. 16, №6(2). – С. 384–395.
3. Краснов А. В., Егоров А. С., Водолазский И. А. Роевой интеллект и его наиболее распространённые методы реализации // Молодой ученый. — 2017. — №4. — С. 147-153.
4. Теодорович, Н.Н. Способы обнаружения и борьбы с малогабаритными беспилотными летательными аппаратами / Н.Н., Теодорович, С.М., Строганова П.С.Абрамов // Интернет-журнал «Науковедение». – 2017, Том 9, №1. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/vol9-1.php> (дата обращения: 20.04.2017).
5. The Army's Real-Life «Phaser» Would Knock Out an Entire Drone Swarm With One Shot [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.popularmechanics.com/military/weapons/a23881/the-army-is-testing-a-real-life-phaser-weapon/> (дата обращения: 21.11.2016).
6. The SkyWall 100 bazooka captures drones with a giant net. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://techcrunch.com/2016/03/04/the-skywall-100-bazooka-captures-drones-with-a-giant-net/> (дата обращения: 21.11.2016).

УДК 355.23

## **СИСТЕМА ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ**

**Дьяков Д.А., Говин А.А.***Учреждение образования «Белорусская государственная академия авиации»*

В настоящее время беспилотная авиация находит широкое применение в силовых структурах. При этом являясь новым родом авиации, постоянно и активно развивается. В связи с этим растет потребность в подготовленных специалистах по эксплуатации беспилотных авиационных комплексов (далее – БАК), а именно: управление беспилотными летательными аппаратами (далее – БЛА), управление целевой нагрузкой, техническое обслуживание БАК, обработка видео и фото-изображений, получаемых с БЛА.

В Республике Беларусь подготовкой специалистов по эксплуатации БАК занимается кафедра беспилотных авиационных комплексов и боевого управления военного факультета в учреждении образования «Белорусская государственная академия авиации» (далее – БГАА).

Система подготовки специалистов по эксплуатации БАК представляет собой двухкомпонентную структуру.

Первый компонент – подготовка специалистов с высшим образованием для государственной и гражданской авиации по специальности «Беспилотные авиационные комплексы» и двум специализациям: «Технологическая эксплуатация беспилотных авиационных комплексов» (операторы БЛА и операторы целевой нагрузки) и «Техническая эксплуатация беспилотных авиационных комплексов» (инженеры БАК). Срок обучения составляет 4 года.

В ходе обучения особое внимание уделяется практической подготовке, которая для специализации «Технологическая эксплуатация БАК» состоит из четырех модулей:

Первый модуль – приобретение навыков в управлении БЛА в ручном режиме. Обучение проводится на технологической практике на первом курсе. Для этого используются модели БЛА с ручным управлением.

Второй модуль – приобретение первичных навыков в управлении БЛА в полув автоматическом и автоматическом режимах. Обучение проводится на технологической практике на втором курсе с использованием учебно-тренировочных комплексов самолетного и вертолетного типа.

Третий модуль – приобретение навыков в управлении тактических БЛА ближнего действия. Обучение проводится с использованием БЛА заказчика на технологической практике и войсковой стажировке на третьем и четвертом курсах.

Всего за период обучения курсанты выполняют по 25-30 управлений моделями БЛА, 10-15 управлений учебно-тренировочными комплексами и 12-14 управлений БЛА.

В ходе практик курсанты получают также первичные навыки в выполнении задач по предназначению (фото, виде и ИК-разведка, наведение, целеука-



вание, поражение наземных и воздушных объектов, доставка грузов и др.), а также навыки работы оператора целевой нагрузки.

Для поддержания приобретенных практических навыков, а также отработка действий в составе расчета БАК с учетом перспективных разработок предусмотрена тренажная подготовка, которая проводится в течение каждого учебного года.

Результатом практической подготовки является готовность обучаемых к самостоятельному управлению тактических БЛА и выполнению задач по предназначению.

По окончании БГАА выпускникам присваивается звание лейтенант и квалификация «Инженер. Специалист по управлению».

Второй компонент системы подготовки специалистов по эксплуатации БАК – переподготовка и повышение квалификации на курсах подготовки операторов БЛА, руководителей полетов БЛА и инженерно-технического состава БАК.

Длительность курсов обучения зависит от уровня первоначальной подготовки слушателей и варьируется от одного до двух месяцев.

Подготовка операторов БЛА состоит из двух этапов.

Первый этап – теоретическая подготовка. В процессе обучения изучаются основные руководящие документы по применению беспилотной авиации, формы и способы ее применения, основы организации полетов БЛА, функциональные обязанности должностных лиц, конструкцию и эксплуатацию БАК, а также эксплуатационные ограничения, порядок действий в особых случаях в полете.

Второй этап – практическая подготовка, которая проводится в центре подготовки и применения БАК где в течение 2-3 недель операторы проходят первоначальную подготовку по управлению БЛА, а затем основную на БЛА, состоящих на вооружении.

По окончании курсов слушатели допускаются к самостоятельному управлению БЛА.

Подготовка руководителей полетов БЛА и ИТС БАК также состоит из двух этапов: теоретической и практической.

На практической части курсов руководителей полетов приобретаются навыки и умения в организации и управлении полетами БЛА. Инженерно-технический состав на практике изучает инженерно-авиационное обеспечение полетов, осваивает техническую эксплуатацию БАК, при этом особое внимание обращается на выполнение оперативного ремонта БЛА.

По окончании курсов слушатели, успешно освоившие программу подготовки, получают свидетельства государственного образца и допускаются к самостоятельной эксплуатации БАК.

Таким образом, созданная на военном факультете в БГАА двухкомпонентная система подготовки специалистов по эксплуатации БАК позволяет обеспечить потребность военной организации государства в высококвалифицированных специалистах по эксплуатации БАК

УДК 629.7.01

## ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОТОМ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

**Кулага В.В.***ОАО "АГАТ – системы управления" – управляющая компания холдинга "Геоинформационные системы управления"*

Система управления полетом (далее – СУП) беспилотного летательного аппарата (далее – БЛА) является одним из основных элементов беспилотного авиационного комплекса (далее – БАК). В последние годы у разработчиков БАК коренным образом изменился подход к СУП: если раньше, многие разработчики БАК считали для себя возможным приобретение СУП у специализирующихся на этом компаниях, то теперь данный элемент БАК разрабатывается самостоятельно и особенно не афишируются алгоритмы его работы. Здесь просматриваются две основные причины: коммерческая нецелесообразность покупки готового изделия с последующей оплатой любых необходимых доработок и безопасность использования БАК.

Исторически сложилось, что СУП БЛА осуществляет контроль управления БЛА при полете в автоматическом режиме, управление БЛА при автоматизированном и ручном управлении, управление целевыми нагрузками (далее – ЦН) БЛА. Как правило, СУП БЛА состоит из 4-х функционально законченных и связанных между собой частей:

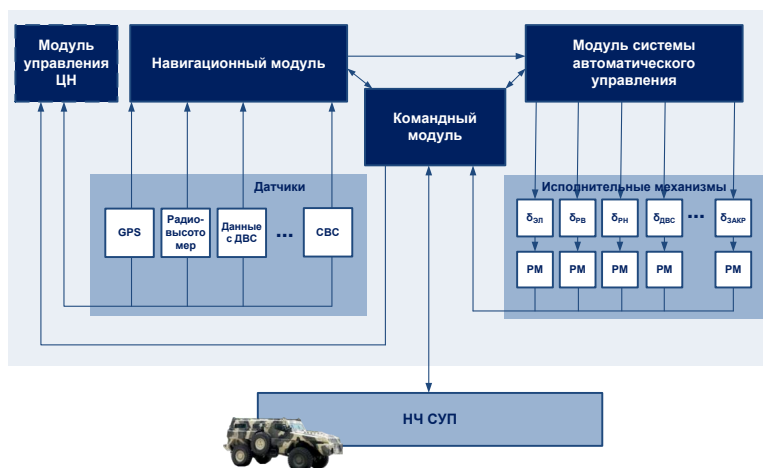


Рис. 1 - Структура СУП БАК



- Командный модуль отвечает за организацию связи между наземной частью (далее – НЧ) и воздушной частью (далее – ВЧ) и за логику переключения режимов работы ВЧ СУП. Также, в данном модуле хранится телеметрическая информация, используемая для управления БЛА в полете и необходимая для последующего дешифрирования;

- Навигационный модуль содержит записанный маршрут полета БЛА, а также обрабатывает информацию, поступающую с датчиков БЛА и рассчитывает несоответствие между текущими и заданными значениями измеряемых параметров;

- Модуль системы автоматического управления (далее – САУ), рассчитывает необходимые отклонения органов управления БЛА, направленные на устранение возникших несоответствий измеренных и заданных параметров. С данного модуля подаются команды на исполнительные механизмы органов управления БЛА.

- Модуль управления ЦН осуществляет управления ЦН в автоматическом режиме в соответствии с полетным заданием или в автоматизированном режиме по командам оператора, а также содержит записанную информацию с ЦН.

Основные трудности у разработчиков СУП БЛА связаны с созданием командного модуля и модуля САУ. В командном модуле закладывается вся логика работы СУП, здесь важно предвидеть все возможные варианты развития событий, возникающих в полете БЛА по маршруту в автоматическом режиме, а также при выполнении автоматического взлета и автоматической посадки БЛА на взлетно-посадочную полосу (далее – ВПП).

При разработке модуля САУ наиболее важно обеспечить своевременную передачу правильных команд на органы управления БЛА в соответствии с законами управления, с учетом летных характеристик БЛА, характеристик датчиков и исполнительных механизмов, установленных в БЛА. Точность передаваемых команд определяется, коэффициентами в соответствующих законах управления (далее – ЗУ).

Настройка коэффициентов в ЗУ может производиться несколькими способами: проведением натурного эксперимента и имитационным моделированием. Каждый из этих подходов обладает своими преимуществами и недостатками.

Основным преимуществом при использовании имитационного моделирования является существенное уменьшение затрат на нахождение "рабочего" набора коэффициентов в ЗУ и снижение рисков аварии БЛА в его первых полетах.

Основу подхода имитационного моделирования составляет имитационно-моделирующий стенд (далее – ИМС) полета БЛА. Наличие ИМС с высокой степенью детализации расчетов позволяет достаточно точно рассчитать "рабочие" коэффициенты в ЗУ. В разработанном нами ИМС реальные датчики, и устройства БЛА заменяются их математическими моделями с учетом погрешностей и реальных задержек при работе исполнительных механизмов. Помимо датчиков и исполнительных механизмов моделируются: работа силовой установки (далее – СУ) на всех этапах полета, обжатие стоек шасси при движении БЛА по ВПП при разбеге и пробеге, трение колес при движении БЛА по ВПП с различными характеристиками сцепления, работа тормозной системы, измене-

ния центровки БЛА за счет выработки топлива и т.д. В основе создания ИМС лежит информация о характеристиках БЛА, который мы моделируем. При моделировании учитывается более 300 различных характеристик данного БЛА. ИМС включает в себя 6 АРМ, соединенных в локальную вычислительную сеть. В данном ИМС предусмотрена возможность подключения реальных устройств БЛА вместо математических моделей, что актуально, при проведении полнатурных экспериментов.

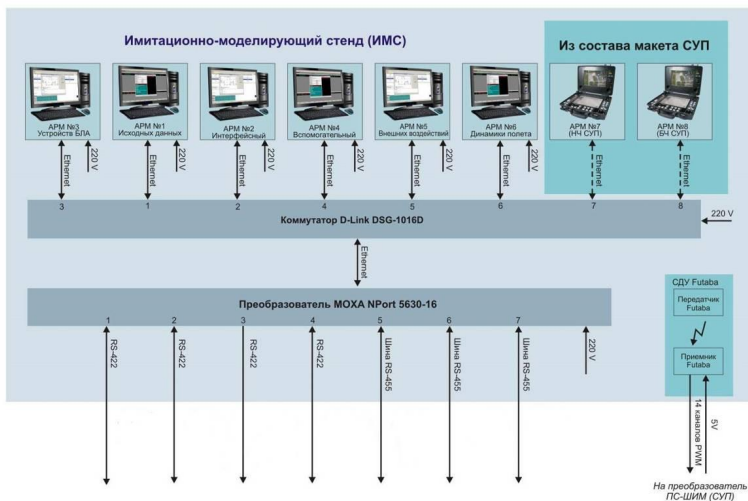


Рис. 2 - Состав ИМС

АРМ№1. Содержит информацию о характеристиках и параметрах систем БЛА, используемых для моделирования его полета. При разработке создана универсальная структура, которая может обеспечить имитацию различных типов БЛА, внесением незначительных изменений в расчеты динамики полета конкретного БЛА без изменений в общей структуре разработанного ПО.

АРМ №2. Интерфейсное АРМ. На данном АРМ реализована 3D-модель движения БЛА в пространстве с имитацией отклонения органов управления на всех этапах полета, а также 2D-модели движения БЛА между промежуточными пунктами маршрута (далее – ППМ) и высотный профиль полета.

АРМ №3. АРМ устройств БЛА. Наличие данного АРМ, обеспечивающего возможность имитации работы устройств БЛА позволяет, помимо достаточно точной настройки коэффициентов ЗУ для заданного БЛА, оказывать неоценимую помощь разработчикам при проведении модернизаций конструкций отдельных элементов планера БЛА и устанавливаемого бортового оборудования.

АРМ №4. Диагностическое АРМ. На данном АРМ реализована имитация отказов бортового оборудования БЛА, а также предусмотрена возможность дешифрования телеметрической информации. Необходимый перечень дешифри-





руемых параметров может превышать 50 наименований. Оператору предоставлена возможность группировки параметров при отображении на одном графике, что удобно при проведении объективного контроля (далее – ОК) полета БЛА.

АРМ №5. АРМ внешних воздействий. На данном АРМ реализована возможность имитации действия внешних сил и моментов на БЛА: производится учет ветра, учет турбулентности, учет изменения гравитационного поля Земли, учет изменения магнитного поля Земли. Предусмотрена возможность использования статистических моделей и ручного задания параметров, что крайне необходимо при настройке коэффициентов в ЗУ, для анализа поведения БЛА в реальном полете.

АРМ №6. АРМ динамики полета БЛА. Программное обеспечение (далее – ПО) данного АРМ позволяет производить расчет изменения пространственного положения БЛА, в зависимости от действующих сил и моментов. При проведении расчетов используются аэродинамические параметры конкретного БЛА из БД (АРМ №1).

При разработке ПО данного АРМ использована нелинейная модель динамики, учитывающая практически все силы и моменты, действующие на БЛА в полете.

Существуют подходы, когда при разработке ПО динамики полета продольное и боковое движение БЛА описываются звеньями различного порядка, либо разработчики опускают учет некоторых, по их мнению, второстепенных особенностей, приводящих к созданию приближенных моделей динамики полета БЛА в пространстве. При разработке ИМС мы попытались максимально учесть особенности движения БЛА в пространстве, которые в других разработчиках имитаторов полета БЛА зачастую игнорируются, это: установочные углы плоскости крыла; особенности профилирования крыла и отклонения механизации; высотная характеристика двигателя внутреннего сгорания (далее – ДВС); изменения эффективности винта на различных высотах полета и частотах вращения; гироскопический и реактивный моменты СУ; параметры амортизации шасси; влияние управления передним колесом и тормозами шасси на динамику движения БЛА по ВПП; задержки и ошибки в работе датчиков и исполнительных механизмов; влияние воздушной подушки на аэродинамику БЛА; перекрестные связи между боковым и продольным движениями БЛА и т.д.

Разработанный ИМС обладает хорошей визуализацией и позволяет проанализировать работу ПО СУП БЛА при имитации различных этапов полета, в частности:

1. **Взлет** с набором высоты;
2. **Полет по маршруту** в автоматическом режиме (в соответствии с полетным заданием), а также в режиме директорного управления и выполнения разовых команд;
3. **Автоматическая посадка** БЛА в штатном или в аварийном режимах. Этап "**Взлет**" состоит из нескольких подэтапов:
  - диагностика бортового оборудования БЛА;

- пробежки БЛА по взлетно-посадочной полосе (далее – ВПП) с контролем точности движения БЛА по линии разбега, проверки системы торможения, проверки разгонной динамики БЛА;

- разбег БЛА по ВПП до набора скорости отрыва;
- отмена взлета (по команде оператора или в автоматическом режиме с контролем разгонной динамики БЛА, с учетом остатка ВПП и возможности набора требуемой скорости отрыва);
- отрыв БЛА от ВПП и его полет с набором высоты до заданной высоты стандартного препятствия;
- завершение взлета с выходом на заданный высотный эшелон.

Разбивка этапа "Взлет" на подэтапы позволяет использовать различную логику работы ПО СУП обеспечивая тем самым оптимальность управления БЛА при выполнении данного сложного этапа полета.

Этап **полет по маршруту**, также, можно разбить на несколько подэтапов:

- выход на маршрут;
- автоматический полет между промежуточными пунктами маршрута (далее – ППМ) без изменения введенного полетного задания (далее – ПЗ) с учетом координат ППМ (X, Y, Z) и контролем скорости полета по линии заданного пути или временем прохождения ППМ;

- полет по маршруту с добавленными ППМ;
- полет в точку в пространстве с заданными координатами;
- полет в ППМ, заданный оператором;
- полет в режиме директорного управления (задание оператором в НЧ СУП скорости полета и/или высоты полета и/или курса полета БЛА);

- полет в режиме "Возврат". В данном режиме обеспечивается полет БЛА в один из заранее определенных в полетном задании аэродромов посадки БЛА. При этом при выборе данного аэродрома производятся штурманские расчеты и оценивается возможность посадки БЛА на данный аэродром с учетом имеющегося у БЛА остатка топлива.

После окончания выполнения ПЗ БЛА автоматически переходит к выполнению этапа **автоматической посадки** на ВПП в штатном или в аварийном режимах. Переход в данные режимы также возможен по команде оператора с НЧ СУП.

Перед выполнением выхода на траекторию посадки (глиссаду) у оператора имеется возможность определения направления выполнения посадки: с прямым (заданным по умолчанию при вводе ПЗ) или обратным курсом.

В штатном режиме посадки обеспечивается точный вывод БЛА в заранее заданную точку на траектории посадки (точка начала глиссады) в зависимости от заданного направления посадки. Снижение по глиссаде осуществляется с поддержанием заданной воздушной (приборной) горизонтальной скорости полета БЛА, с четким выдерживанием линии снижения и с последующим "выравниванием", "выдерживанием" и "парашютированием", выполняемым в соответствии с логикой работы СУП с учетом характеристик БЛА. В режиме штатной посадки рассчитывается зона вероятного приземления БЛА.



До достижения БЛА определенной (заранее рассчитанной) высоты над поверхностью земли возможна отмена посадки по команде оператора и повторное выполнение посадки.

Аварийный режим посадки активируется автоматически, при возникновении определенных видов отказов, или по команде оператора в НЧ СУП.

В аварийном режиме в ВЧ СУП рассчитывается траектория вывода БЛА в точку на глиссаде с учетом координат (X, Y, Z) данной точки. При расчете траектории вывода на глиссаду учитываются летно-технические ограничения БЛА, пространственное положение БЛА, скорость БЛА, скорость и направление ветра в районе аэродрома посадки. При невозможности выполнения аварийной посадки с прямым курсом СУП автоматически рассчитывает и формирует траекторию аварийной посадки с обратным курсом. Рассчитанный вариант траектории посадки передается в НЧ СУП.

Снижение по глиссаде осуществляется с поддержанием заданной воздушной горизонтальной скорости БЛА, с последующим "выравниванием", "выдерживанием" и "парашютированием", выполняемыми в соответствии с логикой работы СУП в данном режиме.

Если отсутствует траектория выполнения посадки на ВПП, то в ВЧ СУП формирует команду на автоматический выпуск парашюта. Выпуск парашюта возможен и по команде оператора с НЧ СУП, а также в случае возникновения определенного вида отказов.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРЕХСТЕПЕННОГО ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО СТЕНДА ДЛЯ НАСТРОЙКИ БОРТОВЫХ СИСТЕМ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА И ПОЛУНАТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА НАВЕДЕНИЯ

**Левадный А.Н.**

*«Научно-производственный центр многофункциональных беспилотных комплексов» Национальной академии наук Беларуси*

Комплексный динамический стенд в НПЦ многофункциональных беспилотных комплексов был разработан для качественной настройки пилотажно-навигационных комплексов, гиросtabilизированных видеосистем беспилотных летательных аппаратов (БЛА) и входящих в них датчиков. Возмущающими воздействиями для них являются угловые и поступательные движения летательного аппарата при его полете в атмосфере.

Такие стенды используются в зарубежных и российских исследовательских центрах по разработке и исследованию летательных аппаратов и управляемого оружия, например, ФГУП «НИИ авиационных систем» г. Москва, «МНИИ «АГАТ» г. Жуковский, ОАО «ГосМКБ «Радуга» им. А.Я. Березняка» г. Дубна, ОАО «Конструкторское бюро приборостроения им. академика А.Г. Шипунова» г. Тула [1,2,3].

В разработанном стенде достигается угловая скорость вращения рамок –  $180^\circ/\text{с}$ , максимальное угловое ускорение –  $800^\circ/\text{с}^2$ . Диапазон рабочих частот при имитации гармонических колебаний ограничивается величиной 12-15 Гц, выше которой наступают механические резонансные колебания подвижных рамок и стойки опорно-поворотного устройства. Такие характеристики обеспечивают проверку в эксплуатируемых БЛА пилотажно-навигационных комплексов, гиросtabilизированных видеосистем БЛА и МЭМС-датчиков угловой скорости.

Опорно-поворотное устройство стенда, показанное на рис.1, выполнено из алюминиевого профиля и надежно монтируется с помощью фабричных соединительных деталей.



Рис.1 – Конструкция опорно-поворотного устройства трехосевого стенда

Для управления рамками стенда используются электрические бесколлекторные серводвигатели фирмы «HarmonicDrive» мощностью до 1кВт. Они комплектуются высокоточным механическим редуктором, угловым инкрементальным энкодером положения ротора мотора, угловым абсолютным энкодером положения выходного вала. Все эти детали сбалансированы по ценовой стоимости и обеспечивают высокую точность при работе. Механический редуктор волнового типа не имеет люфта, присущего обычным зубчатым передачам. Его динамическая ошибка типа «гистерезис» находится на уровне 1–3 угловых секунд. В сочетании с высокой угловой разрешающей способностью абсолютного энкодера, электромеханический привод рамки позволяет выставить угловое положение рамки с точностью до 2 угловых мин. по отношению к горизонтальной земной плоскости. Для горизонтирования используется цифровой инклинометр фирмы «Zetlab» г.Зеленоград. Угловая разрешающая способность инкрементальных энкодеров обеспечивает относительное перемещение рамок и полезной нагрузки с точностью до 1 угловой секунды. Круговое движение и передачу 20 информационных сигналов целевой нагрузки обеспечивает вращающееся контактное устройство.

С помощью стенда, были проведены исследования гиросtabilизированных видеосистем собственного и зарубежного производства, как показано на рис.2-3. При этом определялись коэффициенты развязки оптической оси видеосистем от угловых возмущений, характеристики угловой разрешающей способности в статике и при заданном угловом движении, настраивались параметры ПИД-регуляторов системы управления, проверялась работа пилотажно-навигационного модуля.



Рис.2 – Испытание на стенде двухосевой гиросtabilизированной видеосистемы «Otus-205»



Рис.3 – Испытание на стенде малогабаритной гиростабилизированной видеосистемы собственного производства

В настоящее время в НИПЦ проводится подготовка полунатурного моделирующего стенда, который в зарубежной [4] литературе называют математическим моделированием с «реальным объектом в обратной петле» - Hardwareintheloopsimulation». Структура такого стенда показана на рис.4.

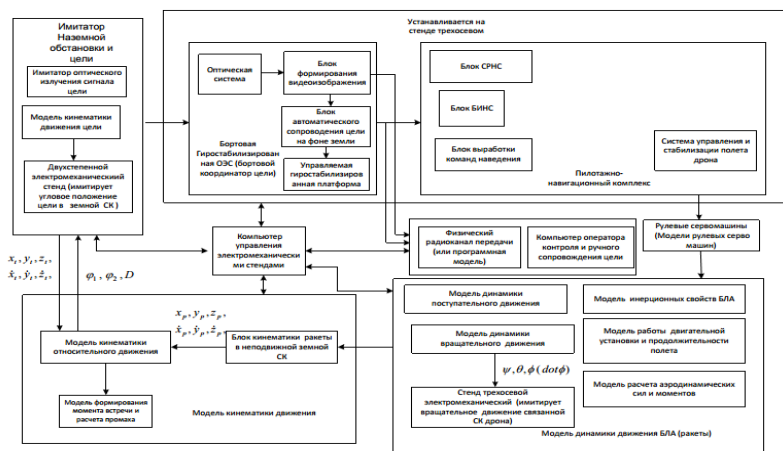


Рис.4 – Структурная схема полунатурного моделирующего стенда



Задачами такого стенда являются исследование точности работы систем ручного и полуавтоматического сопровождения оператором выбранного объекта, определение ошибок наведения беспилотного летательного аппарата на эти объекты, исследование систем высокоточной посадки[5]. Принцип такого моделирования можно кратко пояснить следующим алгоритмом работы:

- производится математическое моделирование полета БЛА,
- рассчитанные значения параметров углового движения БЛА поступают на сервоприводы электромеханического стенда, на рамках которого находится бортовые устройства (видеосистема, элементы пилотажно-навигационного комплекса).
- оператор на реальной аппаратуре наземного пункта управления производит обнаружение, ручное сопровождение и контроль работы автоматической системы углового сопровождения. Эта работа производится в условиях возмущений, действующих на видеосистему.
- имитация пространственного движения объекта воспроизводится с помощью двухступенного электромеханического стенда, расположенного в пределах 4-5 метров от видеосистемы, или электронных систем проецирования изображения объектов и фона на плоскую поверхность.
- производится математическое моделирование кинематики и динамики относительного сближения БЛА и объекта.

При таком подходе уменьшаются затраты на проведение окончательных натурных испытаний, производится отладка алгоритмов работы всех подсистем.

### Список литературы:

1. Трехосевой стенд вращения и позиционирования AC3350 / Буклет по техническим характеристикам, ACUTRONIC Switzerland Ltd, Bubikon. – Switzerland.
2. Анисимов С.А, Боронахин А.М. Концепция построения испытательного оборудования для калибровки систем навигации и ориентации, журнал «Известия «Санкт-Петербургский Государственный Электротехнический Университет «ЛЭТИ», №8, 2011. С.76-82.
3. Федоров В.Б, Козлов А.В. Постановка задач математического моделирования летательного аппарата с изменяемыми массогеометрическими характеристиками, журнал «Вестник ЮУрГУ», №33, 2012. С.165-169.
4. Swamp M., Havlicsek H., Acutronic Testing of Smart Weapon Systems, Acutronic USA Inc, журнал «Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers SPIE», 2005.
5. Синица С.П., Третьяков А.В. Исследование методами математического и полунатурного моделирования цифро-аналоговой адаптивной системы управления беспилотного летательного аппарата класса «воздух-поверхность», материалы 7-й Всероссийской научно-технической конференции «Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях», 2010. Бийск, издательство Алтайского ГТУ. С.84-90.

## КОМПЛЕКСНЫЙ ТРЕНАЖЕР ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ОПЕРАТОРОВ БЕСПИЛОТНОГО АВИАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА

**Пручковский С.В.**

*«Научно-производственный центр многофункциональных беспилотных комплексов» Национальной академии наук Беларуси.*

Начиная с 1990-х гг. в мире наблюдается резко возросший интерес к беспилотным летательным аппаратам (БЛА). Опыт военных конфликтов в Украине, Югославии, Ираке, Афганистане и Сирии показал, что успех боевых операций во многом зависит от их информационного и боевого обеспечения, в котором важную роль играют БЛА.

Интерес к БЛА вызван их небольшой стоимостью по сравнению с пилотируемыми летательными аппаратами, экономичностью при их эксплуатации и устранением риска для жизни экипажа.

В связи с увеличением количества беспилотных авиационных комплексов (БАК) и расширением сферы их применения возрастает потребность в быстром и качественном обучении операторов БАК. При этом основные потери БЛА являются не боевыми и основная часть этих потерь связана с отказами авиационной техники, ошибками и недостаточной подготовкой расчетов БАК к действиям в сложных условиях (Современная армия. БЛА зарубежных стран: боевое применение. URL:<http://www.modernarmy.ru/article/154>).

Подготовка операторов БАК с использованием тренажера – один из важнейших элементов обеспечения безопасной эксплуатации БАК, что позволит минимизировать негативное влияние человеческого фактора и свести к минимуму возможность ошибочных действий экипажем БАК.

В целом имеются две основные концепции в подготовке и обучении операторов БЛА – обучение на специально разработанных для этих целей тренажерах и наличие тренажных функций в непосредственно в наземном пункте управления (НПУ) БАК – режим тренажа.

Для определения основных показателей технического уровня современного тренажера операторов БАК как средства для обучения, выполним краткий обзор существующих подобных комплексов.

### **Тренажер INDELA-NIL производства ООО «КБ Индела»**

Тренажер (рисунок 1) для подготовки операторов БПЛА позволяет:

- значительно сократить время и затраты на обучение;
- уменьшить количество реальных полетов БЛА в процессе обучения до 70%;
- проводить обучение в условиях, максимально приближенным к реальным действиям операторов в НПУ;
- осуществлять контроль со стороны инструктора за правильностью обнаружения и опознавания цели в различных условиях обстановки;
- моделировать использование различных вариантов полезной нагрузки;
- проводить занятия независимо от метеоусловий;





- проводить тренировки по выполнению конкретного задания перед полетом, поддерживать необходимые навыки у операторов при отсутствии практических полетов БЛА.



*Рис.1 – Тренажер INDELA-HIL*

Тренажер INDELA-HIL обеспечивает:

- обработку всех задач, для которых предназначен БЛА, включая планирование полетного задания, ввод маршрута, управление полетом, ведение разведки и наблюдения, корректировку огня артиллерии, определение результатов нанесения ударов и т. д.;
- максимально приближенно к реальным условиям моделирование полета БЛА и наблюдаемое оператором изображение на мониторе НПУ;
- планирование инструктором максимально сложной и приближенной к реальным условиям тренировки операторов БАК, возможность вмешиваться в действия обучаемого, давать вводные задания;
- возможность моделирования полета БЛА днем и ночью;
- возможность моделирования особых условий полета БЛА, в том числе в условиях тумана, дождя, сильного ветра и т. д.;
- моделирование действий в аварийных ситуациях и в случае выхода из строя отдельных систем БЛА.

### **Тренажер операторов БАК для вооруженных сил США**

Тренажер (рисунок 2), разработан корпорацией «L-3 LinkSimulation & Training».

Тренажер предназначен для подготовки операторов-пилотов и операторов целевой нагрузки БЛА типа «Предейтор» (Predator Mission Aircrew Training System).

В состав тренажера входят оборудование реального наземного пункта управления БЛА производства компании General Atomics и соответствующая аппаратная и программная часть разработки компании L-3 Link Simulation & Training, включая систему визуализации, позволяющую с высокой точностью имитировать географические и климатические особенности основных районов мира. База данных участков местности постоянно пополняется.

В основу системы визуализации тренажера положена разработка компании, названная Physics Based Environment Generator HD – один из продуктов в линейке HD World. Система визуализации позволяет с высокой точностью и детализацией генерировать различную подстилающую поверхность, включая городскую застройку, объекты на ней и имитировать разнообразные, характерные для конкретного участка местности, погодные условия.



*Рис. 2 – Рабочие места тренажера оператора БЛА MQ-1 Predator*

Программа обучения операторов БЛА предполагает отработку необходимых навыков в течение не менее 100 ч на тренажере БЛА. Всего в ходе обучения проводится 8-12 тренировочных полетов БЛА.

Операторы БРЭО тоже обучаются непосредственно в ходе полетов БЛА, предварительно закончив курс по устройству и эксплуатации этого оборудования. Они, также, как и командиры расчетов, должны не менее 3 раз отработать вопросы использования БРЭО в ходе практических полетов аппарата, включая подготовку оборудования к полету, нанесение обнаруженных в ходе полета объектов на свою карту и на карту командира корабля, решение навигационных задач управления полетом БЛА.

Тренажер позволяет:

- проводить обучение в условиях, максимально приближенным к реальным действиям операторов в НПУ;

- осуществлять контроль со стороны инструктора за правильностью обнаружения и опознавания цели в различных условиях обстановки;

- моделировать использование различных вариантов БРЭО;

- проводить занятия независимо от условий погоды;

- осуществлять тренировки по выполнению конкретного задания перед полетом, поддерживать необходимые навыки у операторов при отсутствии практических полетов БЛА.

**Тренажер ОАО «Концерн Радиоэлектронные технологии», РФ, Москва**

Тренажер операторов БЛА (рисунок 3) представляет собой унифицированный комплекс оборудования в части управления, навигации, связи и индикации. Комплекс предназначен для демонстрации новых форматов представле-



ния визуальной информации БЛА. Он показывает возможности управления различными типами БЛА, навигацией и радиотехническими системами с помощью сенсорных экранов и воспроизводит рабочее место оператора БЛА.



*Рис. 3 – Тренажер ОАО «Концерн Радиоэлектронные технологии»*

### **Тренажер оператора БЛА Геоскан, РФ**

В состав тренажера входят рабочее место курсанта (рисунок 6), РМИ и блок симуляции БЛА (рисунок 7), который содержит автопилот и командную радиолинию, полностью идентичные поставляемым в беспилотных комплексах Геоскан. Программное обеспечение тренажера достоверно моделирует аэродинамику полета в заданных инструментом условиях и передает синтезированные сигналы датчиков в блок автопилота. Блок симуляции БЛА на основе показаний датчиков, полетного задания и команд оператора выполняет управление полетом БЛА и передает управляющие воздействия обратно в программное обеспечение тренажера.



*Рис. 6 – Рабочее место курсанта*



*Рис. 7 – Рабочее место инструктора*

На ПЭВМ рабочего места инструктора выполняется моделирование и визуализация работы БАК.

Тренажер предназначен для:

- первичного обучения операторов принципам управления БЛА;
- подготовки к выполнению реальных полетов;
- поддержания навыков операторов;
- моделирования полетов в сложных условиях.

В процессе работы с тренажером обеспечивается:

- отработка всех этапов работы комплекса: подготовка, запуск, полет, посадка и завершение работы с комплексом;
- моделирование погодных условий, времени года и времени суток;
- моделирование полетов в горных условиях, в условиях городской застройки (тренажер комплектуется моделями реальной местности по выбору заказчика);
- имитация отказов и внештатных ситуаций.

Тренажер может использоваться совместно с НПУ из состава беспилотных комплексов Геоскан или с опционально поставляемым рабочим местом курсанта-оператора. Предусмотрена возможность выполнения самостоятельных занятий на тренажере без участия инструктора.

### **Тренажер БЛА концерна «Вега», РФ**

Концерн «Вега» представил унифицированную автоматизированную обучающую систему УАОС, которая предназначена для подготовки операторов БЛА.

УАОС предназначена для подготовки операторов наземных пунктов управления беспилотными летательными аппаратами, позволяет преподавателю самостоятельно создавать необходимую виртуальную обучающую среду, учитывая разнообразные климатические и физико-географические условия.

УАОС «Вега» обеспечивает отработку обучаемыми учебно-тренировочных задач с применением виртуальной информационной среды (3D-моделей местности, моделей наблюдения и полетов БЛА, различной архивной информации) без запуска БЛА. Система включает в свой состав автоматизированные рабочие места на базе портативных ЭВМ обучаемого и руководителя обучения, а также проекционное оборудование. Общее построение УАОС представлено на рисунке 5.



При одновременной подготовке групп операторов из 6-16 человек и расчетов из 2-8 человек число подготовленных с использованием УАОС специалистов в течение 4-6 недель может составить 100 и более человек.

Данная разработка успешно применяется для подготовки операторов управления БЛА «Формост» и «Застава».



Рис. 5 – Общее построение УАОС концерна «Вега»

Следует отметить, что все рассмотренные тренажеры обеспечивают тренировку расчета на конкретный тип БАК. По своей эргономике, размещению органов управления, устройств связи они повторяют штатные наземные пункты управления БЛА.

Вывод. Современный тренажер операторов БАК как средство для обучения должен удовлетворять следующим требованиям:

1. Иметь модульную структуру, обеспечивающую возможность его использования для подготовки операторов различных типов БАК с элементами автоматизированной обучающей системы, а также возможность уменьшения или увеличения количества автоматизированных рабочих мест (АРМ) операторов и состоять из следующих элементов:

- рабочее место инструктора;
  - рабочее место оператора БЛА;
  - рабочее место оператора целевой нагрузки;
  - рабочее место начальника расчета (если предусмотрено составом БАК).
2. Обеспечивать решение следующих групп задач:
- информационных;
  - управления имитатором БЛА и ЦН;
  - расчетных;

– технического обеспечения процесса управления, обучения и оценки уровня подготовки операторов;

– тренировки расчетов БАК.

3. Иметь следующие режимы работы:

– режим комплексного тренажа – обеспечивается решение всех задач полным расчетом БАК;

– режим индивидуального тренажа – обеспечивающая решение частных задач должностными лицами расчета на выбранных АРМ;

– режим воспроизведения – обеспечивается воспроизведение на АРМ входной и выходной информации, действий и команд, выполняемых на АРМ должностными лицами расчета БАК, оценка полноты и качества выполненного упражнения;

– режим контроля полетных данных – обеспечивается выполнение объективного контроля функционирования БЛА, воспроизведение сохраненной видовой информации от ЦН БЛА, обработка и воспроизведение параметрической информации с борта БЛА, выполнение экспресс-обработки полетной информации и ее документирование.

4. Обеспечивать моделирование:

- пилотажно-навигационного комплекса и системы управления БЛА;

- НПУ;

- динамики полета конкретного типа БЛА в эксплуатационном диапазоне высот и скоростей полета;

- земной поверхности с расположенными на ней элементами, неподвижными и подвижными объектами;

- времени года, времени суток, метеоусловий полета, метеорологических элементов и явлений погоды.

Таким образом использование современного тренажера для обучения операторов БАК, удовлетворяющего перечисленным выше требованиям позволит сократить время подготовки операторов БАК при существенном снижении затрат по сравнению с подготовкой на реальных образцах, а значит позволит повысить эффективность применения БАК и существенно снизить количество аварий и потерь БЛА.

#### **Список использованных источников:**

1. [http://www.indelauav.com/product\\_hil.html](http://www.indelauav.com/product_hil.html)

2. <http://cdn.scipeople.com/materials/16696/>

3. <http://simulator.ua/>

4. <http://www.kret.com/>

5. <https://www.geoscan.aero/>

6. <http://www.vega.su/>

7. <http://militaryarticle.ru/>

8. <http://www.zentechnologies.com/>

9. <http://www.modernarmy.ru/>

10. <http://vpk-news.ru/>



УДК 65.011.56

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**Романёнок С.Н., Рогачевский К.Е.**

*Учреждение образования «Белорусская государственная академия авиации»*

В настоящее время развитие авиационной техники во всем мире акцентировано на разработке беспилотных авиационных комплексов (БАК), главным образом военного и двойного назначения.

Значительное развитие БАК объясняется тем, что они имеют большую степень соответствия требованиям по критерию «стоимость-эффективность» чем пилотируемые летательные аппараты и вместе с тем минимизируют риск для жизни эксплуатирующего персонала (операторы БЛА, операторы целевой нагрузки, инженерно-технический состав).

Широкий спектр и специфичность решаемых задач требуют достаточно высокого уровня технического совершенства БАК, соответствия установленным требованиям. Это обуславливает достаточно высокую стоимость приобретения таких изделий, а необходимость поддержания эксплуатационно-технических характеристик на заданном уровне обуславливает то, что эксплуатационные затраты могут быть выше затрат на разработку и производство [1].

Как для решения задач в сфере обеспечения военной безопасности государства так и в целях коммерциализации разработок и выхода на международный рынок, разрабатываемые БАК должны максимально соответствовать требованиям заказчика, обладать современным уровнем ЭТХ и достаточную конкурентоспособность т.е. иметь высокое качество.

Основными свойствами качества являются безопасность, надежность, экономичность, функциональность и технологичность [2].

Ввиду того, что БАК относятся к изделиям военного и двойного назначения, а входящие в их состав БЛА к изделиям АТ, то главными их свойствами являются «безопасность» и «надежность», которые тесно связаны между собой. Для изделий авиационной техники снижение надежности неизменно влечет снижение уровня безопасности полетов, негативно влияет на боевые способности БАК, вероятность выполнения боевой задачи. Таким образом разработка БАК, способных эффективно и безопасно решать возложенные на них задачи, тесно связана с обеспечением их надежности на всех стадиях ЖЦ.

В настоящее время решение задачи обеспечения необходимого уровня надежности БАК на стадиях ЖЦ осложнено ввиду особенности развития беспилотной авиации РБ.

В Республике Беларусь бурный рост количества разработок БАК наблюдается с 2005 года по настоящее время. Современный этап развития беспилотной авиации республики характеризуется активным формированием нормативно-правовой базы в области разработки и эксплуатации БАК, расширением перечня задач решаемых БАК в сферах государственной и гражданской авиации. Как следствие, расширяется перечень типов БЛА в составе БАК, растет даль-

ность применения БЛА, их взлетная масса, развиваются технологии проектирования и производства БАК. Структуры БАК все более усложняются, растет их наукоемкость.

Особенностью является то, что в годы существования СССР и в постсоветское время на территории Республики Беларусь авиационная промышленность была представлена авиаремонтными предприятиями либо предприятиями-изготовителями СЧ авиационной техники, что обуславливает дефицит квалифицированных кадров в области разработки и производства авиационной техники, ТНПА данной отрасли, несоответствие инфраструктуры, необходимой для обеспечения процессов разработки, проектирования и испытаний летательных аппаратов.

БАК являются новым видом продукции для отечественной промышленности. Как правило БЛА и БАК разрабатываются впервые, ввиду чего отсутствуют необходимый статистический материал по результатам эксплуатации однотипных изделий и изделий прототипов, опытные образцы разрабатываются в одном или нескольких экземплярах. Большинство СЧ и компонентов БАК проектируются индивидуально для конкретных БАК, либо закупаются изготовителями у различных производителей и поставщиков. Это значительно усложняет задачу подтверждения требуемых значений показателей надежности (ПН) установленных в ТЗ (ТТЗ) вследствие неизвестности в отношении характеристик надежности.

Компоненты конструкции БАК не являются элементами конечной сложности, так как отказы даже достаточно простых деталей происходят из-за отказов их элементов. Поэтому для вновь проектируемых систем невозможно с достаточной определенностью рассчитать количественные показатели надежности до окончательного определения их физической и функциональной структуры.

Анализ показал, что для разрабатываемых в составе БАК БЛА требуемые значения наработки на отказ и вероятность безотказной работы, как правило, составляют 250-500 часов и не менее 0,95 соответственно. При этом реальные значения данных показателей БЛА-аналогов таких типов как RQ-2A/B Pioneer, RQ-5 Hunter не превышают 28,6 часов. В таблице 1, представлены данные по надежности БЛА, стоящих на вооружении армии и флота США по данным [3-5].

Таблица 1 – Показатели надежности БЛА США

Тип БЛА	Значение показателя	Наработка на отказ, ч	Коефф. готовности	Вероятность безотказной работы
RQ-1A Predator	Заданное	-	-	-
	Реальное	32.0	40%	0,74
RQ-1B Predator	Заданное	40	80%	0,70
	Реальное	55.1	93%	0,89
RQ-2A Pioneer	Заданное	25	93%	0,84
	Реальное	9.1	74%	0,80
RQ-2B Pioneer	Заданное	25	93%	0,84
	Реальное	28.6	78%	0,91
RQ-5 Hunter	Заданное	10	85%	0,74
	Реальное	11.3	98%	0,82





Вышесказанное, а также отсутствие современных специализированных методик расчета и определения ПН БАК (БЛА) на этапах ЖЦ, приводит к риску предъявления необоснованных требований к надежности БАК и его СЧ. Это неприемлемо по соображениям безопасности и экономической целесообразности, в связи с тем, что приводит к появлению конструктивных, компоновочных и других недостатков снижающих уровень ЭТХ, повышающих трудоемкость процессов ТО и Р, снижающих эффективность эксплуатации.

Поэтому сегодня актуальной является задача объективного обоснования и обеспечения на всех этапах ЖЦ заданного уровня надежности, достаточного для решения возложенных на БАК задач и оптимального с точки зрения безопасности полетов и экономической эффективности.

Анализ ТНПА действующих на территории РБ [6] показывает практически полное отсутствие необходимой специализированной законодательной и технической нормативной базы в области разработки, производства и эксплуатации БАК. В Республике Беларусь нет технических регламентов по авиации, авиационные правила определяют только контур поддержания летной годности.

В настоящее время в РБ единственным специализированным ТНПА, устанавливающим общие технические требования к БАК и методам их испытаний является [7]. Однако в части задания требований по надежности в данном ТНПА упоминаются [8-10]. Иные требования должны устанавливаться по усмотрению заказчика.

Сегодня основным комплексом технических нормативных правовых актов в области обеспечения надежности сложных технических изделий (СТИ) в Республике Беларусь является система межгосударственных стандартов «Надежность в технике» (стандарты группы 27), а также государственные стандарты Республики Беларусь.

Общие требования по надежности, общая методология выбора номенклатуры нормируемых ПН и обоснования их значений, а также порядок и правила изложения требований к надежности в технических заданиях (ТЗ) на разрабатываемые изделия, в том числе БАК и их СЧ, изложены в [8].

Для осуществления планирования, координации и контроля выполнения работ по обеспечению надежности СТИ, разрабатывают программы обеспечения надежности (ПОН), содержащие все необходимые организационные, конструкторские, технические, технологические и эксплуатационные мероприятия реализуемые на этапах ЖЦ и направленные на анализ конструкции изделия в процессе разработки и изготовления с целью выработки рекомендаций по обеспечению надежности; разработку и анализ вариантов системы технической эксплуатации (СТЭ) изделий, обеспечивающих заданные требования к надежности; контроль показателей эффективности и выявление факторов, оказывающих негативное влияние на них.

Кроме того, работы по обеспечению надежности БАК и их СЧ должны проводиться по комплексным программам обеспечения безопасности полета, надежности, контролепригодности, эксплуатационной и ремонтной технологичности, разрабатываемым в соответствии с [11]. При этом Номенклатура нормируемых ПН должна устанавливаться в соответствии с Нормами надежно-

сти, безопасности полетов, эксплуатационной технологичности и контролепригодности (БНКТ) изделий авиационной техники (АТ), а также, в случае необходимости, могут дополнительно задаваться показатели БНКТ в соответствии с [12]. Требуется отметить отдельно, что приведенные стандарты имеют аналоги в РФ. Это ГОСТ Р 56080-2014 «Изделия авиационной техники. Комплексные программы обеспечения безопасности полета, надежности, контролепригодности, эксплуатационной и ремонтной технологичности. Общие требования» для [11] и ГОСТ Р 56079-2014 «Изделия авиационной техники. Безопасность полета, надежность, контролепригодность, эксплуатационная и ремонтная технологичность. Номенклатура показателей» для [12].

Нормативные значения ПН пилотируемых ЛА, установлены в Нормах БНКТ изделий авиационной техники, Нормативах технического уровня изделия авиационной техники, а в [13] определен порядок нормирования и контроля.

В настоящее время в Республике Беларусь специализированных ТНПА устанавливающих Нормативные значения ПН в области как беспилотной, так и пилотируемой авиации нет, а действие [11-13] и их российских аналогов на БЛА не распространяется, что совместно с отсутствием достоверных данных о ПН БАК прототипов (аналогов) и достаточного количества статистических данных по эксплуатации предшествующих изделий-аналогов делает актуальной задачу обоснования норм БНКТ и разработки соответствующих ТНПА для БЛА всех классификационных групп, создания методической основы для проведения расчетов надежности с учетом особенностей БАК.

Как видно из анализа приведенных документов, они предусматривают достаточно большой объем работ, требующий системного подхода к организации и проведению, серьезного информационного обеспечения.

Как показывает мировой опыт, современный уровень развития информационных технологий позволяет реализовывать системное осуществление и информационное обеспечение мероприятий установленных ПОН на основе интеграции информации об изделии, в рамках интегрированной логистической поддержки изделий (ИЛП). ИЛП относится к технологиям CALS или технологиям информационной поддержки ЖЦ изделий (ИПИ), направленным на обеспечение при разработке и поддержании в ходе эксплуатации заданного (либо приемлемого) уровня надежности при одновременном сокращении (либо постоянном уровне) эксплуатационных затрат.

Интегрированная логистическая поддержка – это комплекс организационно-технических и информационных процессов и процедур, выполняемых в процессе всего ЖЦ изделий и направленных на сокращение эксплуатационных затрат при обеспечении заданного уровня технической готовности изделия [1].

Как отмечено в [1] ИЛП должна рассматриваться как совокупность базовых управленческих технологий в рамках ИПИ, опирающаяся на возможности современных информационных технологий.

В настоящее время в развитых промышленных странах разработаны стандарты [14-17] и др., регламентирующие процедуры ИЛП на всех стадиях ЖЦ изделий.



Система ИЛП в соответствии с этими стандартами представляет собой четыре основных взаимосвязанных элемента:  
анализ логистической поддержки (АЛП);  
планирование процессов ТОиР;  
планирование процедур материально-технического обеспечения (МТО);  
меры по обучению и обеспечению персонала интерактивными электронными техническими руководствами.

Структурная схема ИЛП представлена на рисунке 1.

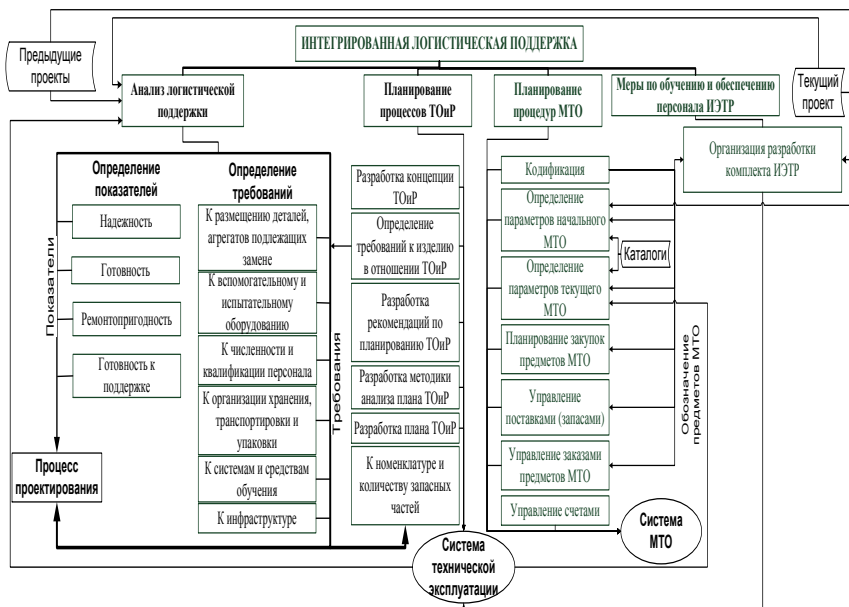


Рисунок 1 – Схема ИЛП и информационных потоков

Для реализации задач ИЛП на этапе эксплуатации изделий авиационной техники широко применяют информационно-управляющие системы поддержки эксплуатации (ИУС ТЭ). Для изделий авиационной техники и изделий, поставляемых на вооружение НАТО, выполнение требований по реализации технологии ИЛП обязательно и ИУС (Automated logistics maintenance management systems, Maintenance Management Information System), интегрированные в единую систему ИЛП, поставляются практически со всеми изделиями военного назначения.

ИУС позволяют выполнять сбор, хранение, обработку и анализ информации об эксплуатации изделий, для использования как специалистами организаций-эксплуатантов для управления ТОиР и МТО изделия, так и разработчиками и производителями изделий для коррекции требований к ним и их СТЭ, повышения качества БАК. По спектру выполняемых задач ИУС в большой степени соответствует информационной компоненте создаваемой системы обеспечения надежности изделий отечественных производителей [2].

Таким образом из вышесказанного можно сделать вывод, что на современном этапе актуальными задачами являются:

объективное обоснование и обеспечение на всех этапах ЖЦ заданного уровня надежности, достаточного для решения возложенных на БАК задач и оптимального с точки зрения безопасности полетов и экономической эффективности;

обоснование номенклатуры и значений ПН БЛА, норм БНКТ и разработки соответствующих ТНПА для БЛА всех классификационных групп, создания методической основы для проведения расчетов надежности с учетом особенностей БАК, разработка специализированных методик расчета и определения ПН БЛА на этапах ЖЦ;

разработка теоретического и методологического базиса ИПП, комплекса ТНПА, программно-технических средств реализации ИПП, внедрение современных технологий обеспечения и поддержания надежности СТИ на этапах ЖЦ;

включение в ТЗ (ТТЗ) на разрабатываемые БАК (БЛА) требование разработки и выполнения ПОН;

разработка и выполнение комплекса мероприятий по подготовке профессиональных кадров в области проектирования БЛА.

#### **Список литературы:**

1. Судов Е. В. Технологии интегрированной логистической поддержки изделий машиностроения / А.И. Левин, А.В. Петров, Е.В. Чубарова /: ООО Издательский дом «Информбюро», 2006. – 232 с.

2. Альгин, В.Б. Надежность – ключ к качеству / В.Б. Альгин, А.А. Александров // Механика машин, механизмов и материалов. – 2015. - №1(30). – С.78-89.

3. Austin, Reg. Unmanned aircraft systems: UAVS design, development and deployment, 2010.

4. Unmanned Aerial Vehicle. Road Map 2005-2030.

5. Unmanned Aerial Vehicle Reliability Study. Office of the secretary of defense. Department of defense USA. February, 2003.

6. Разработка общетехнических требований к беспилотным летательным аппаратам: отчет о НИР (промежуточный) / рук. Вашкевич В.Р., исполн.: Косицын А.В. [и др.] / УО «ВА РБ» - Мн.: 2015.

7. СТБ В 2411-2015 Военная техника. Беспилотные авиационные комплексы. Общие технические требования и методы испытаний.

8. ГОСТ 27.003-90 «Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности».

9. ГОСТ В 20.39.303 «Комплексная система общих технических требований. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Требования к надежности. Состав и порядок задания».

10. ГОСТ 24.701-86 «Единая система стандартов автоматизированных систем управления. Надежность автоматизированных систем управления. Основные положения».

11. ГОСТ В 20436-88 «Изделия авиационной техники. Общие требования к комплексным программам обеспечения безопасности полета, надежности, контролепригодности, эксплуатационной и ремонтной технологичности».



12. ГОСТ В 23743-88 «Изделия авиационной техники. Номенклатура показателей безопасности полета, надежности, контролепригодности, эксплуатационной и ремонтной технологичности».

13. ГОСТ В 20570-88 «Изделия авиационной техники. Порядок нормирования и контроля показателей безопасности полета, надежности, контролепригодности, эксплуатационной и ремонтной технологичности».

14. DEF STAN 00-60 Integrated Logistic Support. – UK MoD. 2010.

15. NATO Product Data Model, v.4.10, 2002.

16. MIL-STD-1388-2B. Requirements for a Logistic Support Analysis Record.

17. MIL-STD-1390D. Level of Repair Analysis. 1988.

УДК 629.7.054

**МЕТОДОЛОГИЯ ВНЕШНЕГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТАКТИЧЕСКИХ БАК****Сахарук Д.А.<sup>1</sup>, Шабанов В.П.<sup>2</sup>**<sup>1</sup>НИЧ УО "ВА РБ", <sup>2</sup>ООО "Аэросистема"

Жизненный цикл беспилотного авиационного комплекса (БАК) как сложной технической системы включает следующие этапы:

внешнее проектирование;  
внутреннее проектирование;  
изготовление, испытания и доводку опытных образцов;  
серийное производство;  
эксплуатацию (целевое применение);  
утилизацию.

Внешнее проектирование рассматривается как этап жизненного цикла, в рамках которого обосновываются функционально-технический замысел и концепция комплекса, исследуется эффективность БАК и его интеграция в систему вооружений Вооруженных Сил с учетом прогноза будущих условий боевого применения.

Методическим аппаратом внешнего проектирования являются: теория исследования операций, системный анализ, теория сложных технических систем, а основным инструментом - математическое моделирование.

В соответствии с принятой методологической схемой процесс внешнего проектирования БАК представляет собой довольно сложную композицию итеративных многоуровневых процедур информационного обмена и принятия решений, выполняемых различными коллективами и кооперациями.

В соответствии с принятой методологической схемой исследования проводятся в три этапа:

1) этап концептуальных исследований, целью которого является формирование концепции исследуемого БАК на основе системной увязки оперативно-тактических потребностей с научно-техническими и производственно-экономическими возможностями;

2) этап исследований по обоснованию облика БАК, направленный на обоснование рациональных значений тактико-технических характеристик (ТТХ), определяющих боевые свойства БАК, его эффективность и стоимость;

3) этап оценки реализуемости концепции, цель которого состоит в уточнении полученных на этапе обликовых исследований отдельных ТТХ, заданных диапазоном, и определении значений конструктивных параметров, обеспечивающих удовлетворение требований к ТТХ БАК заданной концепции.

Рассмотрим содержание приведенных этапов более подробно.

**1. Обоснование концепции БАК.** Концептуальные исследования направлены, прежде всего, на поиск путей разрешения выявленных противоречий между оперативно-тактическими потребностями решения боевых задач и возможностями их выполнения состоящими на вооружении образцами вооружения и военной техники (ВВТ) и, как следствие, на ликвидацию образовавшегося дефицита бое-



вых возможностей Вооруженных Сил. Невозможность разрешения этого противоречия в результате модернизации существующих образцов ВВТ определяет мотивацию разработки образцов нового поколения, в частности БАК.

**2. Обоснование облика БАК.** Основной целью данного этапа исследований является формирование рациональных требований к характеристикам тактических БАК в целом и его подсистемам в интересах наращивания боевых свойств, дефицит которых был выявлен на этапе концептуальных исследований. На данном этапе используются различные методические схемы решения задачи. Суть их сводится, как правило, к синтезу вариантов БАК при заданных тактических требованиях, значениях летно-технических характеристик и вариантах оборудования и вооружения, оптимизированных по частным критериям (критериям более низкого уровня иерархии исследований), и оценке их эффективности и стоимости. Конкретный выбор постановки задачи исследований по обоснованию рациональных ТТХ, используемых для этого показателей и критериев, накладываемых ограничений производится с учетом особенностей решаемой задачи.

Завершают обоснование ТТХ БАК исследования по обоснованию рациональной стратегии поэтапного создания БАК, включающие определение очередности доведения подсистем БАК до уровня требований тактико-технического задания (ТТЗ), сроков завершения этапов и оптимизацию распределения выделяемых средств по этапам ОКР и по подсистемам.

**3. Оценка реализуемости концепции.** Данный этап имеет своей целью исследование возможности практической реализации результатов, полученных на первых двух этапах. Его основу составляет проверка реализуемости концепции БАК с учетом реальных технических и технологических возможностей предприятий промышленности. По ее результатам производится уточнение (при необходимости) концепции, прежде всего ее научно-технической и производственно-экономической сторон, выполняются исследования по обоснованию требований, задаваемых в ТТЗ на ОКР.

Выходной информацией этапа внешнего проектирования являются:

концепция БАК – генеральная идея создания и боевого применения БАК;

сформулированный в ТТЗ на разработку рациональный (т.е. наиболее приемлемый в рамках принятых условий и ограничений) технический облик БАК – как совокупность количественных и качественных показателей (характеристик, параметров, свойств), определяющих конструктивно-аэродинамическую схему БАК, его силовую установку, состав и характеристики комплексов бортового оборудования и вооружения, обеспечивающая реализацию заданных ТТТ.

## О РАДИОЛОКАЦИОННОЙ «ЗАМЕТНОСТИ» БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, ПРОИЗВОДИМЫХ В НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ

**Семак Ю.И.**

*РУП «НПЦ многофункциональных беспилотных комплексов» НАН Беларуси*

Теоретически, тактика применения большинства боевых летательных аппаратов состоит в идее «подобраться» незаметным на дистанцию выполнения задачи и выполнить ее до того, как его «заметят». Именно для этого разработчики летательных аппаратов постоянно стремятся снизить радиолокационную заметность летательных аппаратов до минимально возможной величины.

Отражающие свойства объектов в радиолокационном диапазоне волн принято оценивать эффективной отражающей поверхностью (ЭОП), которая является количественной характеристикой их способности рассеивать электромагнитные волны. Чем больше эта поверхность, тем больше отраженный сигнал от летательного аппарата и, следовательно, большая возможность его обнаружить.

Размер ЭОП определяется как площадь изотропного фиктивного вторичного излучателя, который при помещении на место объекта, равномерно рассеивает всю падающую на него мощность и создает у раскрыта приемной антенны такую же плотность потока мощности, как и сам объект [1].

Таким образом, относительно большое значение ЭОП объекта обуславливает высокий уровень его заметности, а малое значение ЭОП – низкий уровень заметности, что ограничивает возможности радиолокационных средств по обнаружению таких объектов.

Определение ЭОП реальных объектов, имеющих сложную конфигурацию, в том числе беспилотных летательных аппаратов (БЛА), осуществляется экспериментально и рассчитывается по формуле:

$$\sigma_{\text{БЛА}} = \sigma_{\text{эт}} \left| \frac{E_{\text{пр}}}{E_{\text{пр эт}}} \right|^2, \quad (1)$$

где  $\sigma_{\text{БЛА}}$  – ЭОП БЛА,  $\text{м}^2$ ;  
 $\sigma_{\text{эт}} = \sigma_{\text{ш}} = \pi r_{\text{ш}}^2$  – ЭОП эталонного объекта (например, металлического шара радиусом  $r_{\text{ш}}$ ),  $\text{м}$ ;  
 $E_{\text{пр}}$ ,  $E_{\text{пр эт}}$  – амплитуды отраженного сигнала от БЛА и эталонного объекта у раскрыта приемной антенны.

Для оценки отражательных способностей БЛА используются усредненные по углам ориентации  $\gamma$  и  $\phi$  значения ЭОП. Углы  $\gamma$  и  $\phi$  полагаются независимыми и равномерно распределенными случайными величинами на интервалах  $[-\pi, \pi]$ . Тогда усредненное значение ЭОП определяется как:





$$\sigma_{\text{БЛА}} = \frac{1}{(2\pi)^2} \iint_{-\pi}^{\pi} \sigma_{\text{БЛА}}(\gamma, \varphi) d\gamma d\varphi \quad (2)$$

Как известно пространственная область излучения облучателя делится на три зоны. Условием для дальней зоны является выражение:

$$\frac{2\pi}{\lambda} r \gg 1 \quad (3)$$

где  $\lambda$  – длина волны, м;

$r$  – расстояние от облучателя до объекта, м.

Измерение ЭОП БЛА может проводиться в безэховой камере, на измерительном полигоне или в помещении. Возможность измерения ЭОП в помещениях, не имеющих специальных покрытий, предпочтительнее, так как экономически эффективнее по сравнению с остальными вариантами.

Республиканское унитарное предприятие «Научно-производственный центр многофункциональных беспилотных комплексов» НАН Беларуси разрабатывает и производит линейку БЛА в трех основных классах:

«микро» – массой до 10 кг (типа «Ворон»);

«мини» – массой до 50 кг (типа «Бусел»);

«миди» – массой до 1000 кг (типа «Буревестник»)

согласно общепринятой классификации.

Планеры данных летательных аппаратов выполнены из стеклопластика с небольшими вставками из углепластика.

В соответствии с вышеизложенным оценка ЭОП производимых БЛА является для предприятия актуальной задачей.

На одном из отечественных предприятий выполняются измерения ЭОП объектов в помещении без специального покрытия при минимальных требованиях к порогу безэховости. На данном предприятии разработана методика измерений и используется специальное оборудование (рисунок 1).

В состав специального оборудования входит следующее измерительное оборудование:

- антенна П6-23М;
- антенна GZ0126DRH;
- опорно-поворотное устройство GZPU-2/50;
- генератор импульсов GZ1117DN-25/PH (рисунок 2);
- генератор тактовый GZ1106DL2;
- стробоскопический смеситель SU3126S;
- стробоскопический приемник SD203TMS;
- персональный компьютер.



а)



б)

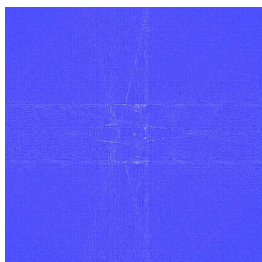
Рис. 1 – Общий вид специального оборудования для измерения ЭОП объектов



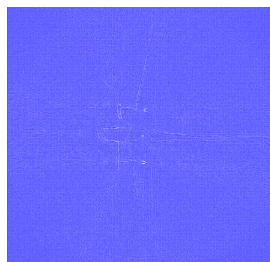
Рис. 2 – Внешний вид генератора импульсов GZ1117DN-25/PH

На рисунке 3 изображены синтезированные диаграммы вторичного излучения БЛА «Бусел М40» в сантиметровом диапазоне радиоволн при вертикальной и горизонтальной поляризации волны.

Для сравнения на рисунке 4 представлена синтезированная диаграмма вторичного излучения мультироторного БЛА китайского производства.



а)



б)

Рис. 3 – Синтезированные диаграммы вторичного излучения БЛА «Бусел М40» в сантиметровом диапазоне радиоволн при вертикальной (а) и горизонтальной (б) поляризации волны

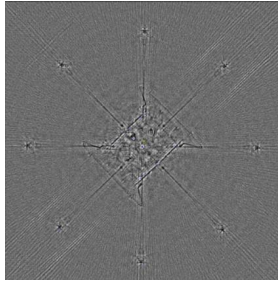


Рис. 4 – Синтезированные диаграммы вторичного излучения мультиторного БЛА в сантиметровом диапазоне радиоволн

В результате проведения совместных измерений получены данные и рассчитаны усредненные оценки ЭОП образцов БЛА «Бусел» и «Ворон» на частотах 2,7; 3,2; 3,5; 9,2; 9,4 и 9,6 ГГц при горизонтальной и вертикальной поляризации радиоволны, т.е. длина волны облучения намного меньше размеров самих аппаратов.

Погрешность средств измерений составила не более 20 %. Измерения выполнены через  $1^\circ$  в горизонтальной плоскости. В вертикальной плоскости угол фиксированный и  $\sim 0^\circ$ . В роли эталонного объекта использовался металлический шар диаметром 350 мм. Результаты измерений ЭОП БЛА обработаны в соответствии с выражением (2).

Получены следующие оценки усредненных значений ЭОП в горизонтальной плоскости для БЛА:

типа «Бусел М» –  $[0,07-0,24] \text{ м}^2$ ,

типа «Ворон» –  $[0,04-0,1] \text{ м}^2$ .

Диаграммы оценок ЭОП БЛА «Бусел М40» на частотах  $f=2,6$  ГГц и  $f=9,6$  ГГц приведены на рисунках 5 и 6 соответственно.

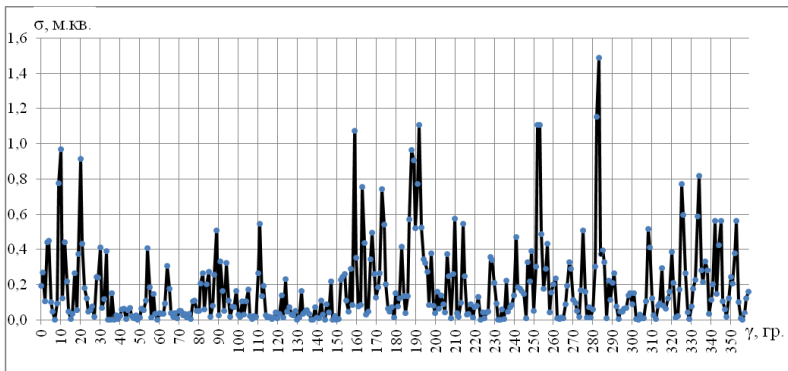


Рис. 5– Диаграмма оценок ЭОП БЛА «Бусел М40» на частоте  $f=2,6$  ГГц

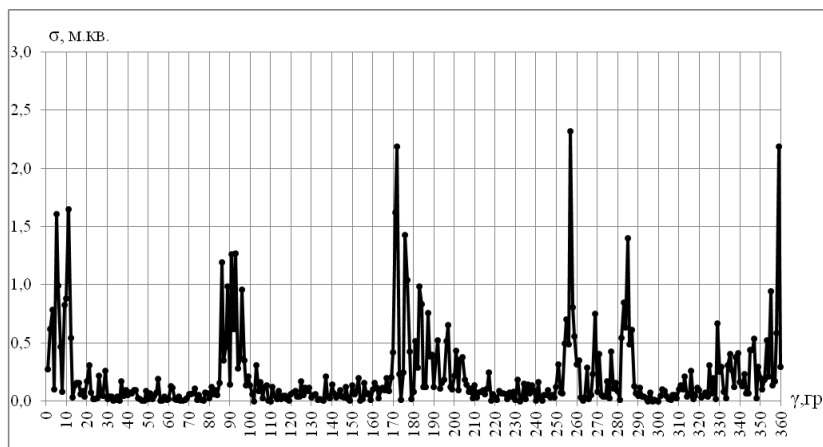


Рис. 6– Диаграмма оценок ЭОП БЛА «Бусел М40» на частоте  $f=9,6$  ГГц

Как видно из диаграмм оценок ЭОП на рисунках 5 и 6 по их изрезанности и симметричности, исследуемые БЛА имеют сложную конфигурацию. На поверхности БЛА локализуется относительно большое число областей вторичного излучения («блестящих» точек).

Ввиду относительно больших размеров БЛА «Буревестник» минимальные требования к порогу безэховости и условие (3) выполнить для данного аппарата не представилось возможным. Поэтому на основе метода экспертного оценивания и сравнительных оценок площадей профилей БЛА «Бусел М40» и «Буревестник» можно предполагать, что ожидаемые значения ЭОП последнего находятся в пределах  $[0,6; 2,5] \text{ м}^2$ .

Таким образом, усредненные значения ЭОП БЛА типа «Бусел» и «Ворон» охватываются интервалом от 0,04 до 0,24  $\text{м}^2$ . Особый «вклад» в области локализации вторичного излучения на поверхности БЛА вносится антенными устройствами, металлизированными составными частями и конструкционными элементами из карбона.

#### Список литературы:

1. Охрименко, А.Е. Основы радиолокации и радиоэлектронной борьбы: учебник / А.Е. Охрименко. – М.: Воениздат, 1983. – 456 с.
2. Сергиенко, А.Б. Цифровая обработка сигналов: Учебник для вузов. – СПб.: Питер, 2003. – 607 с.



УДК 65.011.56

## **ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ**

**Сивашко С.Б., Лисичкин А.В.**

*Учреждение образования «Белорусская государственная академия авиации»*

Современные наукоемкие изделия, и в первую очередь изделия военного и двойного назначения, характеризуются длительными жизненными циклами и высокими затратами на эксплуатацию. Для изделий военного назначения, как правило, затраты на эксплуатацию превышают затраты на разработку и производство. Поэтому эксплуатационные затраты являются важным потребительским качеством изделия. Наиболее перспективным направлением снижения эксплуатационных затрат является внедрение технологий интегрированной логистической поддержки (ИЛП).

Техническая эксплуатация воздушных судов (ВС) включает: транспортирование, хранение, техническое обслуживание и ремонт ВС, которые определяются эксплуатационно-техническими характеристиками (ЭТХ) ВС, устанавливающими способность ВС обеспечивать заданные уровни надежности и готовности ВС к применению по назначению в реальных условиях эксплуатации с определением затрат труда, времени и средств. Основными ЭТХ являются: надежность, контролепригодность, безопасность, эксплуатационная технологичность и др.

Современный уровень развития информационных технологий позволяет реализовывать меры по обоснованию и обеспечению заданного оптимального уровня ЭТХ БЛА на этапах жизненного цикла системно, на основе интеграции информации об изделии с целью оценки эффективности принятых мер и их влияния на ЭТХ, формирования и предъявления новых требований к системе технической эксплуатации на основе прогноза изменений ЭТХ изделий. Системность принимаемых мер по планированию, нормированию и прогнозированию ЭТХ изделий авиационной техники обеспечивается решением задач технологий ИЛП.

Интегрированная логистическая поддержка (Integrated Logistic Support) – это комплекс организационно-технических и информационных процессов и процедур, выполняемых в процессе всего жизненного цикла изделия (ЖЦИ) и направленных на сокращение эксплуатационных затрат при обеспечении заданного уровня технической готовности изделия [1].

В соответствии с международными стандартами [2-5], ИЛП направлена на обеспечение заданных требований в отношении ЭТХ изделий, критерием выполнения которых в большинстве случаев используется коэффициент готовности, при одновременном сокращении эксплуатационных затрат, критерием чего служит стоимость ТООР.

Для реализации задач ИЛП на этапе эксплуатации изделий авиационной техники широко применяют информационно-управляющие системы поддержки

эксплуатации (ИУС ТЭ). Для изделий авиационной техники и изделий, поставляемых на вооружение НАТО, выполнение требований по реализации технологии ИЛП обязательно и ИУС (Automated logistics maintenance management systems, Maintenance Management Information System), интегрированные в единую систему ИЛП, поставляются практически со всеми изделиями военного назначения.

Задачами ИУС ТЭ являются:

- учет ресурсного состояния изделия и его СЧ;
- контроль выработки ресурсов и сроков службы изделия и его СЧ;
- формирование режима ТОиР изделия и его СЧ исходя из типовых и индивидуальных регламентных работ, действующих бюллетеней, разовых указаний, отработки ресурса изделия и его СЧ, отказов и неисправностей изделия и его СЧ, зафиксированных отклонений от технических требований элементов конструкции и прочих дополнительных работ;
- учет отказов и неисправностей изделия и его СЧ;
- статистический анализ надежности;
- автоматизированный прием и обработка информации от средств контроля изделия;
- использование интерактивных электронных руководств (ИЭТР) для автоматизированного поиска отказов и неисправностей;
- накопление информации о методах поиска и устранения отказов и неисправностей;
- учет наличия и состояния агрегатов, контроль движения между подразделениями инженерной службы;
- учет технического обслуживания агрегатов в лабораториях;
- формирование комплекта ЗИП для проведения ТОиР;
- формирование комплекта агрегатов для замены при выполнении ТОиР;
- контроль сроков хранения, консервации и проверки изделия и его СЧ;
- планирование годовой наработки (налета);
- формирование годового плана проведения форм ТОиР;
- формирование плана продления ресурсов и сроков эксплуатации изделия и его СЧ;
- планирование месячной наработки налетов каждого изделия и корректировка годового плана ТОиР с определением конкретных дат отхода изделия, его СЧ для проведения ТОиР;
- формирование оперативного плана использования изделий;
- прогноз потребности в комплектующих изделиях и ЗИП;
- планирование и учет технической подготовки инженерно-технического персонала;
- обеспечение персонала актуальной эксплуатационной и ремонтной документацией, в том числе в виде ИЭТР;
- выдачу по запросу отчетов по установленным формам;
- обмен информацией с разработчиком и производителем изделия.



На рисунке 1 представлена обобщенная архитектура ИУС. Как видно ИУС состоит из реструктурируемого набора функциональных (ФМ) и пользовательских модулей (ПМ), которые включаются в ИУС по мере необходимости, наращивая ее мощность и функциональность.

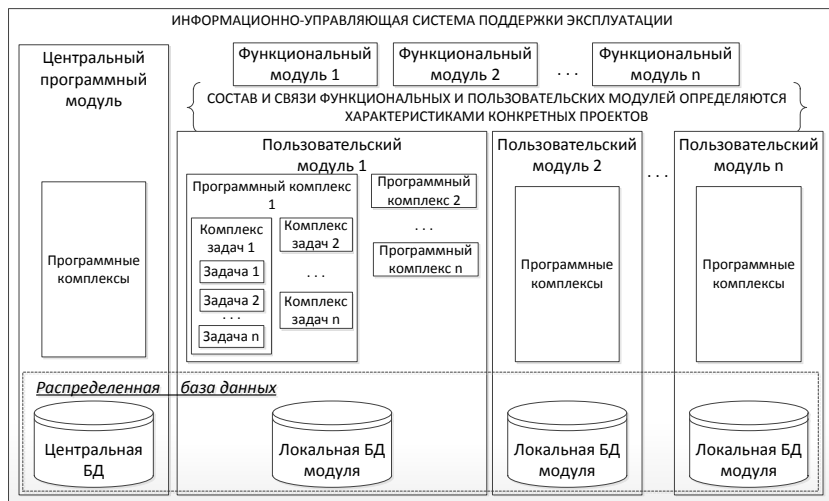


Рис. 1- Обобщенная архитектура ИУС

Интеграция ПМ и ФМ в ИУС должна осуществляться на техническом и программном уровнях с помощью локальных вычислительных сетей (ЛВС) или другими средствами, обеспечивающими распределенную обработку информации и доступ к вычислительным ресурсам.

В состав ИУС так же должны входить технические (аппаратные и программные) средства самоконтроля и диагностирования, обеспечивающие проверку работоспособности и локализацию неисправностей с точностью до конструктивно-сменной единицы, заменяемой в условиях эксплуатации.

Перспективная ИУС БЛА должна иметь многоуровневую иерархическую структуру. На нижнем уровне находится устройство поддержки эксплуатации, содержащее средства получения, обработки и хранения данных об эксплуатации конкретного изделия, интегрированное со средствами контроля и диагностики данного типа изделий. Устройства поддержки эксплуатации могут быть выполнены в виде отдельных устройств, реализующих концепцию электронного формуляра изделия, и как встроенная автоматизированная система контроля изделия, хранящая основные минимально необходимые данные об изделии, либо в сочетании данных реализаций.

Беспилотный летательный аппарат И-3  
ЭЛ.000001.000  
Серийный номер 01-012

105

**Назначенный ресурс**  
Количество запусков 70 Количество посадок 70 Количество применений 70  
Хранение с момента изготовления, 24 месяца  
Срок службы с момента ввода в эксплуатацию, 5 лет

**Гарантийный ресурс**  
Количество запусков 30 Количество посадок 30 Количество применений 30  
Хранение с момента изготовления, 12 месяцев  
Срок службы с момента ввода в эксплуатацию, 12 месяцев

Рис. 2 -электронный формуляр изделия

Последующие иерархические более высокие уровни представляют собой автоматизированные рабочие места специалистов служб осуществляющих обеспечение эксплуатации БАК. Сопряжение элементов ИУС осуществляется средствами вычислительной сети с единым программным обеспечением и распределенной базой данных.

Предлагаемый облик ИУС позволяет выполнять сбор, хранение, обработку и анализ информации об эксплуатации изделий, которая может быть использована, как специалистами организаций-эксплуатантов для управления ТОиР и МТО изделия, так и разработчиками и производителями изделий для коррекции требований к ним и их системам технической эксплуатации. По спектру выполняемых задач ИУС в большой степени соответствует информационной компоненте создаваемой системы обеспечения надежности изделий отечественных производителей [7].

Беспилотный летательный аппарат  
ФУИМ 12.01.00.000  
Серийный номер 558.BP-12.01.011

101

	Всего	После ремонта	Остаток ресурса	
			Назначенный	Гарантийный
В воздухе	0	0	200	50
На земле	0	0	0	0
Всего	0	0	200	50
Запуски	0	0	200	50
Посадки	0	0	200	50
Использованный	0	0	200	50
Пробег	0	0	0	0
Моточасы	0	0	0	0

DATE\_RECORD I\_CHAS G\_CHAS O\_CHAS ZAPUSKI POSADKI ISPOLZOV PROBEG

Рис. 3- Информации об эксплуатации изделий

В целях реализации информационного обеспечения ИУС на основе положений [2, 6], эксплуатационной документации БЛА эксплуатирующихся (проходящих испытания) в Республике Беларусь, разработана интегрированная мо-





дель данных об изделии, аккумулирующая данные о структуре и составе БАК, электронную эксплуатационную документацию, локальные и государственные нормативно-правовые акты, связанные с эксплуатацией БЛА, данные об эксплуатации и функционировании БАК, данные АЛП, данные об авиационном персонале, эксплуатирующем изделие и его квалификации, позволяющая выполнять оперативный учет, контроль и анализ состояния БАК с предоставлением данных по составу изделия с детализацией до отдельного блока, включая изменения, вносимые в конфигурацию изделия на всех этапах его жизненного цикла, что обеспечивает участие эксплуатирующих организаций в процессе создания БАК.

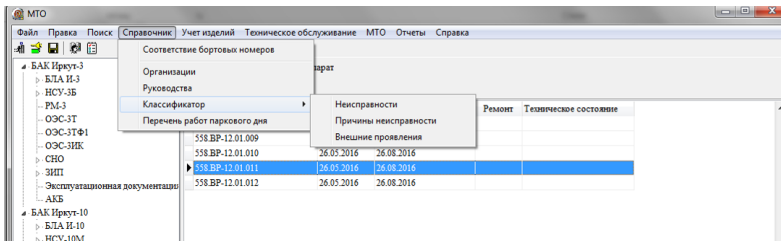


Рисунок 4

На настоящий момент информационная модель реализована в виде реляционной БД содержащей эксплуатационные данные и БД АЛП разработанной в соответствии с [2, 6].

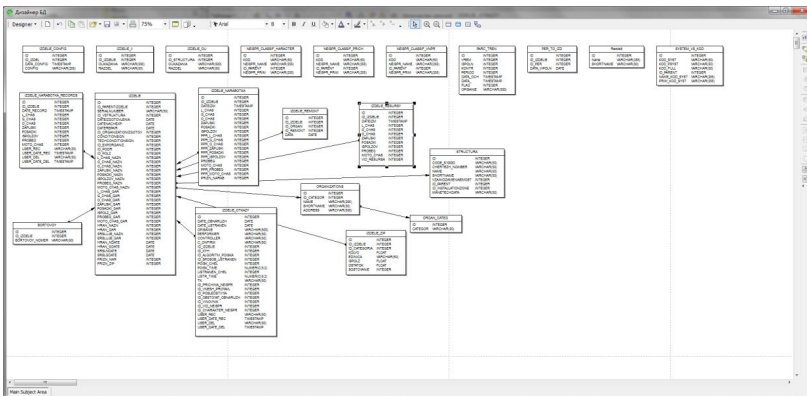


Рис. 5 - Фрагмент эксплуатационной базы данных

В настоящее время в специалистами учреждения образования «Белорусская государственная академия авиации», на основе предложенной выше структуры, разрабатывается программное обеспечение информационной поддержки технической эксплуатации беспилотных авиационных комплексов. Разрабатываемое программное обеспечение предназначено для практической реализации задач ИЛП. В настоящее время, кроме интегрированной базы данных реализо-

ваны и проходят апробацию модули: «Учета наработки и контроля ресурсных показателей», «Учета первичных данных о надежности», «Планирования работ по ТО». В перспективе планируется разработка модулей: «Планирование материально-технического обеспечения», «Управления авиационным персоналом».

### **Список литературы:**

1. Технологии интегрированной логистической поддержки изделий машиностроения / Е.В. Судов, А.И. Левин, А.В. Петров, Е.В. Чубарова – М.: ООО Издательский дом "ИнформБюро", 2006. – 232 с. Unmanned Aerial Vehicle. Road Map 2005-2030.
2. DEF STAN 00-60 Integrated Logistic Support. – UK MoD. 2010.
3. NATO Product Data Model, v.4.10, 2002.
4. MIL-STD-1388-2B. Requirements for a Logistic Support Analysis Record.
5. AECMA Specification 2000M. International Specification for Materiel Management Integrated Data Processing for Military Equipment.
6. Руководство по проведению анализа логистической поддержки изделий авиационной техники. Методические указания. М.: НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика», 2010 – 204 с.
7. Альгин, В.Б. Надежность – ключ к качеству / В.Б. Альгин, А.А. Александров // Механика машин, механизмов и материалов. – 2015. - №1(30). – С.78-89.



## **МАЛОГАБАРИТНЫЕ УПРАВЛЯЕМЫЕ СТАБИЛИЗИРОВАННЫЕ ВИДЕОСИСТЕМЫ В СОСТАВЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ СЕРИЙНО ВЫПУСКАЕМЫХ В НАН БЕЛАРУСИ**

**Щавлев А.А., Левадный А.Н., Яцына Ю.Ф.**

*РУП «НПЦ многофункциональных беспилотных комплексов» Национальной академии наук Беларуси*

В последние десятилетия во многих странах мира активно разрабатываются и используются беспилотные авиационные комплексы (БАК), в состав которых входит беспилотный летательный аппарат (БЛА), оснащенный целевой нагрузкой (фотоаппарат, телевизионная камера, инфракрасная камера). Основные задачи, возлагаемые на БАК:

- мониторинг использования лесных, водных, земных и других ресурсов;
- оперативная оценка последствий природных и техногенных катастроф;
- оценка экологической обстановки;
- определение тепловых потерь теплотрасс, промышленных объектов и объектов городской инфраструктуры;
- контроль несанкционированного использования ресурсов животного и растительного мира;
- мониторинг полигонов твердых коммунальных отходов;
- контроль границы и прилегающих территорий;
- разведка наземных объектов и определение их местоположения.

Для решения вышеизложенных задач БЛА оснащаются бортовыми видеосистемами. Результаты применения серийных образцов БЛА, производимых «ФТИ НАН Беларуси», в целях проведения работ по видеомониторингу местности и объектов показали, что качество видеоизображения, создаваемого бортовой нестабилизированной видеосистемой, существенно снижается за счет случайных колебаний планера БЛА по крену и тангажу.

Случайные колебания планера БЛА в основном обусловлены турбулентностью приземного слоя атмосферы, а также переходными процессами при маневрировании летательного аппарата. В силу этого получение качественного изображения местности, идентификация интересующих объектов и обработка полученного видеоизображения в интересах потребителей становится достаточно проблематичным. Поэтому задача компенсации нестабильного пространственного положения малогабаритной видеосистемы во время полета БЛА является актуальной научно-технической задачей. Одним из перспективных путей решения данной задачи является применение малогабаритной видеосистемы с высоким качеством стабилизации оптической оси телекамеры на основе стабилизированной платформы, интегрированной с бортовым оборудованием БЛА (автопилот, пилотажно-навигационный комплекс) или применяемой автономно за счет использования в своем составе гироскопических датчиков.

Анализ существующего рынка малогабаритных стабилизированных видеосистем, показывает, что их производители, в целях снижения себестоимости про-

дукции, используют низкого качества видеокамеры и стабилизированные платформы с ограниченными возможностями. По этой причине НПЦ «БАК и технологии» разработал и приступил к серийному выпуску собственных малогабаритных управляемых стабилизированных видеосистем высокого разрешения.

**Назначение видеосистемы.** Разработанные в РУП «НПЦ МБК» НАН Беларуси малогабаритные управляемые стабилизированные видеосистемы (МУСВ) весом до 800 г, предназначены для ведения видеосъемки участков местности с борта БЛА, слежения за наземными объектами в дневное и ночное время в видимом или инфракрасном диапазонах длин волн.

Конструктивно МУСВ выполняется в трех вариантах (рисунок 1):

неповоротная фронтальная камера переднего обзора (рисунок 1а);

управляемая фотокамера с одной степенью свободы (управляющая ось по крену, рисунок 1б);

управляемая ТВ (рисунок 1в) или ИК-камера (рисунок 1г) с двумя степенями свободы (управляющая ось по крену и тангажу);



*а) ФНТК*



*б) МУСВ-ФК*





в) *MYCB-TV*

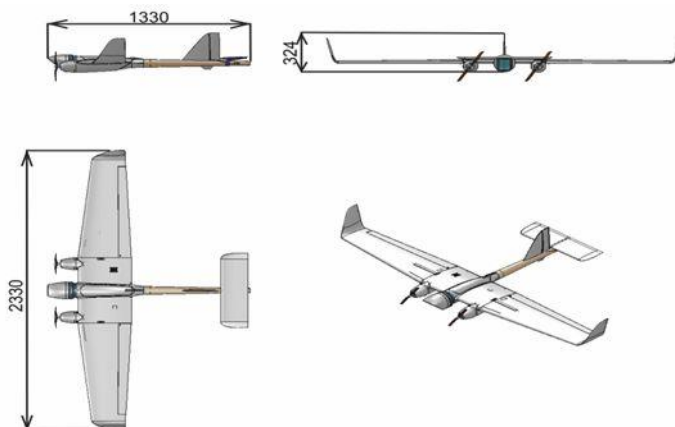


г) *MYCB-ИК*

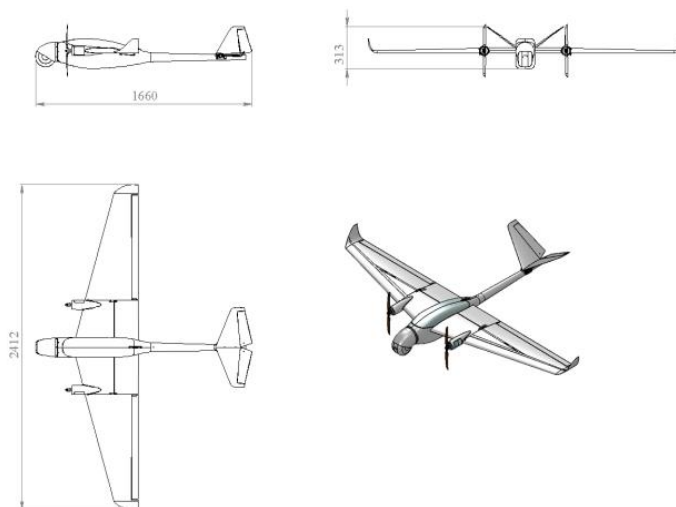


Рис. 1 — Варианты конструктивного исполнения МУСВ

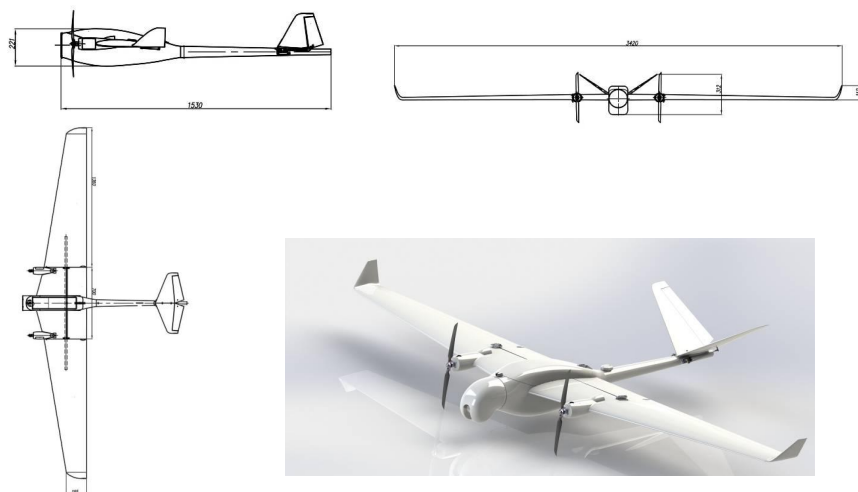
На рисунке 2 показано место крепления МУСВ в носовой части БЛА.



а) БЛА «Бусел»



б) БАК «Бусел М»



в) БАК «Бусел М50»

Рис.2 – Размещение МУСВ в носовой части БЛА

**Режимы работы МУСВ.** Управление МУСВ обеспечивается в нескольких режимах работы:



- режим «Ручное наведение и ручное сопровождение цели»;
- режим «Автоматическое сопровождение цели »;
- режим «Автоматическое управление МУСВ по программе».

Для работы систем сопровождения и стабилизации используются координаты в топоцентрической системе координат Земли, географической системе координат Земли, связанной системе координат БЛА и др.

Во всех режимах производится угловая стабилизация положения оптической оси МУСВ (рис. 3) в пространстве для уменьшения влияния колебаний БЛА. Предусмотрен посадочный режим работы МУСВ, когда оптико-электронная система разворачивается по углам для лучшей защиты от удара или ударных перегрузок при приземлении БЛА.

Режим «Ручное наведение и ручное сопровождение цели»

В этом режиме управление МУСВ осуществляется оператором целевой нагрузки с помощью двухосевого джойстика. Заданные значения углов разворота оптической оси видеосистемы по крену и тангажу транзитом через ПНК передаются в МУСВ (рис. 4), где сравниваются с измеренными значениями углов. Измеренные значения формируются с помощью блока сигналов ориентации, установленного на подвижных осях механического подвеса. Далее формируются ошибки рассогласования и микропроцессорный ПИД-регулятор вырабатывает управляющие воздействия, которые через сервоусилители поступают на серводвигатели МУСВ. Серводвигатели имеют миниатюрные размеры и высокоточные понижающие механические редукторы с планетарным принципом работы. Планетарные редукторы обладают минимальными геометрическими размерами. Кроме этого оператор ПНК передает в МУСВ значения поля зрения (зума), режима записи видео или фото, цветности изображения и др.

Режим «Ручное наведение и ручное сопровождение цели»

В этом режиме управление МУСВ осуществляется оператором целевой нагрузки с помощью двухосевого джойстика. Заданные значения углов разворота оптической оси видеосистемы по крену и тангажу транзитом через ПНК передаются в МУСВ, где сравниваются с измеренными значениями углов. Измеренные значения формируются с помощью блока сигналов ориентации, установленного на подвижных осях механического подвеса. Далее формируются ошибки рассогласования и микропроцессорный ПИД-регулятор вырабатывает управляющие воздействия, которые через сервоусилители поступают на серводвигатели МУСВ. Серводвигатели имеют миниатюрные размеры и высокоточные понижающие механические редукторы с планетарным принципом работы. Планетарные редукторы обладают минимальными геометрическими размерами. Кроме этого оператор ПНК передает в МУСВ значения поля зрения (зума), режима записи видео или фото, цветности изображения и др.

Режим «Автоматическое сопровождение цели»

В этом режиме обеспечивается автоматическое слежение за целью на местности при горизонтальном полете БЛА как по окружности, так и в прямолинейном полете. Для этого в МУСВ из ПНК поступает следующая информация:

- географические координаты цели;
- текущие географические координаты БЛА;

высота полета БЛА;

значения поля зрения (зума) вариообъектива видеокамеры.

Устройство управления МУСВ обрабатывает эту информацию и выдает управляющие воздействия на сервоприводы, которые поворачивают оптическую ось и поле зрения видеосистемы в направлении на цель.

Режим «Автоматическое управление МУСВ по программе».

В этом режиме обеспечивается автоматическое перемещение оптической оси по заданной программе, как правило, при горизонтальном полете БЛА.

Оператор целевой нагрузки может в реальном времени вносить изменения в установочные данные программы.

В этом режиме можно сочетать различные законы управления, например, сканирование по одной угловой координате, сканирование по двум координатам (растровый метод сканирования в угловом секторе) и др. ».

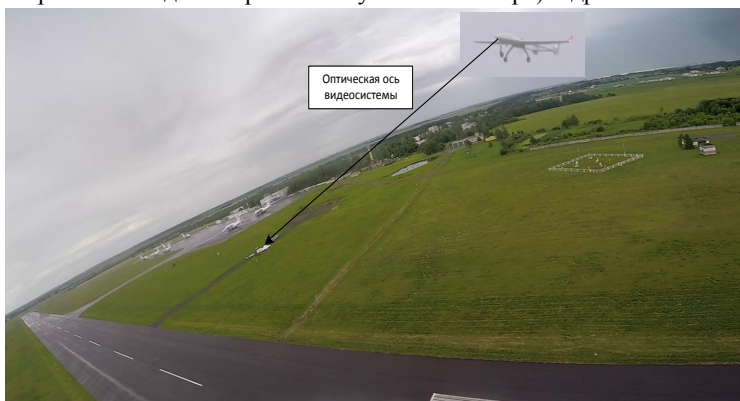
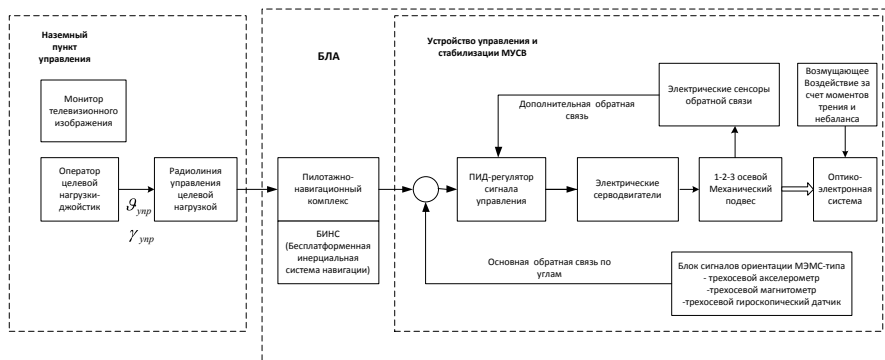


Рис. 3 – Графическая иллюстрация принципа визирования цели



Функциональная схема системы управления МУСВ

Рис. 4 – Функциональная схема системы управления МУСВ





## 4 Основные технические характеристики МУСВ

### 4.1 МУСВ-ФНТК

Видеокамера.....	GoPro HERO4 Black Edition
рабочий спектральный диапазон, мкм.....	не менее 0,4-0,7;
тип чувствительного элемента.....	CMOS матрица 1/2.3";
разрешение (видео).....	1080p / 80 fps (запись на flash card);
фокусное расстояние.....	от 0,5 м до бесконечности;
угол обзора, град.....	120;
Вес, не более.....	760гр

### 4.2 МУСВ-ФК

ТВ-модуль.....	SONY EX-View CCDII
- разрешение изображения.....	700 твл
- угол поля зрения (фиксированное).....	60,0°x60,0°
- стандарт изображения.....	PAL
Фотокамера.....	SONY NEX 3NL
- матрица.....	CMOS
- форматы изображения.....	JPEG, RAW
- количество эффективных элементов, пикселей.....	4592x3056
- увеличение цифровое.....	10×
- фокусное расстояние объектива.....	16,0 мм
- фокусировка.....	автоматическая/ручная
Система подвески.....	одностепенная гиростабилизированная
- скорость поворота по крену.....	60°/с
- угол поворота по крену.....	±180°
- ошибка стабилизации.....	10 мрад
Диапазон рабочих температур.....	-20 °C ÷ +50 °C
Вес, не более.....	0,75 кг

### 4.3 МУСВ-TV

ТВ-модуль.....	SONY FCB-EH3150
- матрица.....	1/4 цветная КМОП-матрица
- стандарт изображения.....	PAL
- количество эффективных элементов, пикселей.....	1,43
- разрешение изображения.....	800 твл
- чувствительность.....	0,25/0,03 лк (ICR режим)
- время накопления электронного затвора.....	1/1 до 1/10000 с, 22 шага
- частота обновления изображения.....	30 Гц
- увеличение.....	200× (20× оптическое, 10× цифровое)
- угол поля зрения (горизонтальный).....	55,9°(W) ÷ 2,9°(T)
- фокусное расстояние объектива.....	3,7 мм (W) ÷ 44,4,0 мм (T)
- фокусировка.....	автоматическая/ручная
Система подвески.....	двухстепенная гиростабилизированная
- скорость поворота по тангажу.....	60°/с
- скорость поворота по крену.....	60°/с
- угол поворота по тангажу.....	от 0° до минус 90°
- угол поворота по крену.....	±180°
- ошибка стабилизации.....	10 мрад
Диапазон рабочих температур.....	-20 °C ÷ +50 °C
Вес, не более.....	0,7 кг

### 4.4 МУСВ-ИК

ТВ-модуль.....	SONY EX-View CCDII
- разрешение изображения.....	700 твл

- угол поля зрения (фиксированное).....	60,0°x60,0°
- стандарт изображения.....	PAL
ИК-модуль.....	FLIRTau2 640
- матрица.....	болومترическая, неохлаждаемая
- спектральный диапазон.....	7,5 – 13,5 мкм
- количество эффективных элементов, пикселей .....	640x512
- размер пикселя.....	17 мкм
- тепловая чувствительность (NETD).....	менее 50 мК
- частота обновления изображения.....	9 Гц
- цифровое увеличение .....	2×4x8
- угол поля зрения (фиксированное).....	18,0°x14,0°
- фокусное расстояние объектива.....	35,0 мм
- фокусировка .....	автоматическая/ручная
Система подвески.....	двухступенная гиросtabilизированная
- скорость поворота по тангажу.....	60°/с
- скорость поворота по крену.....	60°/с
- угол поворота по тангажу.....	от 0° до минус 90°
- угол поворота по крену.....	±180°
- ошибка стабилизации.....	10 мрад
Диапазон рабочих температур.....	-20 °C ÷ +50 °C
Вес, не более.....	0,75 кг

**Закключение.** Представленные в докладе МУСВ установленные на борту БЛА обеспечивают выполнение требуемых задач видеомониторинга местности, обнаружения, сопровождения и распознавания объектов с высоким качеством при эволюциях БЛА в полете или изменении пространственного положения объекта.



## **МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ БЕСПИЛОТНЫЕ АВИАЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

**Яцына Ю.Ф.**

*РУП «Научно-производственный центр многофункциональных комплексов»  
Национальной академии наук Беларуси*

Беспилотные авиационные комплексы (БАК) являются современным средством мониторинга местности и объектов, предоставляя удаленным потребителям оперативную информацию в режиме реального времени для принятия своевременных управленческих решений. Увеличение их широкого распространения в последние годы обусловлено тем, что беспилотная авиация значительно дешевле в эксплуатации и обслуживании, не требует соответствующей инфраструктуры и обучения летчиков, не ограничивается в применении их усталостью и риском жизни. Беспилотная авиация относится к наукоемкой высокотехнологичной авиационной отрасли, требующей значительных капиталовложений в научные исследования, технологии, конструктивные разработки и производство. В связи с этим такая продукция востребована на мировом рынке и имеет очень высокую добавленную стоимость.

Беспилотные летательные аппараты (БЛА) обладают разной степенью автономности (от управляемых дистанционно до полностью автоматических), различаются по конструкции, назначению и другим параметрам. Основное преимущество БЛА – существенно меньшая стоимость их создания и эксплуатации (при условии равной эффективности выполнения поставленных задач). Недостатком БЛА является уязвимость систем дистанционного управления, что особенно важно для беспилотников военного назначения.

Беспилотные авиационные комплексы обычно имеют в своем составе БЛА, наземный пункт управления (НПУ), комплект аппаратуры связи между НПУ и БЛА, наземные средства обеспечения функционирования и обслуживания БАК. БАК представляет собой систему автоматического или полуавтоматического (директорного) управления полетом БЛА по заранее заданной пространственной траектории с возможностью изменения в процессе полета аппарата его маршрута оператором. Проектирование такой системы производится с учетом интеграции знаний по аэродинамике, системам автоматического управления, микросистемной техники и современных программных продуктов для ЭВМ, которые обеспечивают необходимые режимы полета для выполнения целевой задачи. Маршрут полета БЛА задается оператором на электронной карте с использованием географической системы координат, трансформируемой в связанную систему координат планера самолета для систем управления, и подается в блок навигации. Задание маршрута заключается в формировании точек – поворотных пунктов маршрута с указанием долготы, широты, высоты и скорости полета БЛА

над данной точкой. Реальный полет отклоняется от заданной траектории маршрута на ошибку, определяемую характеристиками системы автоматического управления. По типу конструкции БЛА бывают самолетного, вертолетного или мультироторного типа, а также на базе дирижабля.

РУП «Научно-производственный центр многофункциональных беспилотных комплексов» создано в 2016 году на базе научно-производственного центра «Беспилотные авиационные комплексы и технологии» НАН Беларуси, с 2009 года осуществляющего работы по разработке беспилотных комплексов различного назначения и их освоении в производстве. Предприятие является разработчиком и производителем беспилотных летательных аппаратов, наземных пунктов управления, гиросtabilизированных оптико-электронных систем, антенно-мачтовых устройств, пилотажно-навигационных комплексов и тренажеров, а также оказывает услуги по техническому обучению, сервисному (гарантийному) обслуживанию выпускаемой продукции.

В настоящее время предприятием организован серийный выпуск и поставка потребителям следующих типов беспилотных авиационных комплексов:

- БАК «Бусел», «Бусел М» (рисунок 1) и «Бусел М50» с радиусом действия от 25 до 70 км;

- БАК экологического мониторинга на базе дирижабля различных модификаций, отличающихся массогабаритными и техническими характеристиками (рисунок 2);

- БАК «Буревестник» с радиусом действия до 300 км в различных модификациях (рисунок 3).

Беспилотные летательные аппараты типа «Бусел М» и «Бусел М50» решают задачи оперативного мониторинга на скорости от 60 до 120 км/ч, беспилотный летательный аппарат на базе дирижабля предназначен для детального мониторинга участков местности с возможностью перемещения на низких скоростях (с возможностью зависания над выбранным объектом).



Рис. 1 – Запуск и посадка беспилотного летательного аппарата из состава БАК «Бусел М»



Рис. 2 – БАК экологического мониторинга на базе дирижабля



Рис. 3 – БАК «Буревестник» и его модификация

Главными сферами применения БАК являются охрана границ и поддержание правопорядка, антитеррористические мероприятия, обнаружение чрезвычайных ситуаций и ликвидация их последствий, экологический мониторинг и охрана природных ресурсов, мониторинг объектов промышленности, транспортной и энергетической инфраструктуры, протяженных объектов (в т.ч. нефте- и газопроводов).

В рамках выполнения различных заданий государственных научных и научно-технических программ выполняются полеты практически над всей территорией государства, включая Национальные парки «Припятский», «Налибокская пуща», Березенский заповедник для определения состояния растительности (ветровалов леса, лесных культур, полезащитных лесных насаждений) и объектов жизнедеятельности человека (карьеров и несанкционированных свалок). На рисунке 4 показан маршрут (полетное задание) движения БЛА «Бусел М» в Национальном парке «Припятский», на рисунке 5 – скриншот, полученный с видеосъемки при помощи БАК ЭМ в Национальном парке «Беловежская пуща».



Рис. 4 – Полетное задание движения БЛА «Бусел М» в Национальном парке «Припятский»



Рис. 5 – Скриншот, полученный с видеосъемки при помощи БАК ЭМ в Национальном парке «Беловежская пуща»

Обеспечение достоверной информацией о состоянии природной среды, лесных и водных территорий, изменении ресурсного и экологического потенциала отдельных регионов и республики в целом – обязательное условие повышения эффективности управления природными ресурсами, государственного контроля их состояния.

В целях повышения надежности беспилотных летательных аппаратов и комплекса в целом, а также анализа данных полета БЛА в республиканском унитарном предприятии «Научно-производственный центр многофункциональных беспилотных комплексов» Национальной академии наук Беларуси налажено производство специального стендового оборудования собственной разработки для проверки и отладки пилотажно-навигационных систем, электродвигателей, гиростабилизированных оптических систем.

Стенд анализа полетных данных (рисунки 6, 7) и полунатурный испытательный динамический 3-осевой стенд имитации полета (рисунок 8) с применением в них разработанных компьютерных 3D-моделей конкретных беспилотных летательных аппаратов, которые по своим геометрическим, массовым и аэродинамическим характеристикам максимально соответствуют производимым БЛА, также могут использоваться в качестве имитатора для обучения операторов БАК, отладки алгоритмов и математических решений, заложенных в пилотажно-навигационный комплекс и системы стабилизации оптических комплексов.



Рис. 6 – Стенд для анализа полетных данных



Рис. 7 – Вид дисплеев стенда

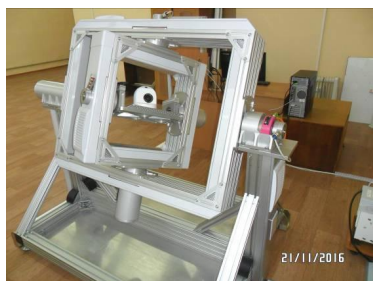


Рис. 8 – Полунатурный испытательный динамический 3-х осевой стенд имитации полета

Для оснащения БЛА необходимыми гиостабилизированными оптическими системами на предприятии разработана и производится их собственная линейка на базе телевизионных, фото- и инфракрасных камер высокого разрешения (рисунок 9).



«MVCB-TV»



«MVCB-ИК»



«MVCB-ФК»

Рис. 9 – Малогабаритные управляемые стабилизированные видеосистемы

Предприятие приступило к созданию БЛА большого класса (модификация БАК «Буревестник»), оснащенных различными типами целевых нагрузок специального назначения, которые могут использоваться как для решения зада-

чах МЧС, охраны государственной границы и морских акваторий, наблюдения за протяженными объектами, так и непосредственно для пресечения террористической деятельности.

При этом на предприятиях не останавливаются на научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах по созданию новых БАК с уникальными свойствами под требования заказчиков, а расширяется производственная база и разрабатываются новые технологии в области беспилотной авиации.

За прошедший период в НАН Беларуси созданы многофункциональные типы, способные решать с высоким качеством типичные задачи авиационного мониторинга. Вместе с тем спрос и требования потребителей определяют дальнейшие перспективы развития беспилотных авиационных комплексов:

- помимо многофункциональных БАК необходимы их модификации, имеющие на борту специфическую целевую нагрузку (аппаратуру) для выполнения особых задач по предназначению;

- существует потребность в комплексах для особых климатических условий, а также способы их применения и посадки;

- для решения задач доставки специфической аппаратуры на заданные высоты и дальности возникает потребность в БАК с летно-техническими характеристиками, отличными от характеристик производимых многофункциональных БАК;

- важнейшей задачей развития авиационных и робототехнических технологий является снижение зависимости от импорта низкокачественных комплектов БАК;

- в основу работы бортовых автономных систем управления и навигации положены глобальные спутниковые системы позиционирования и навигации, такие как «GPS», «ГЛОНАСС», «Галилео». Их обладатели в любой момент могут сменить кодировку сигналов своих навигационных систем, и в этом случае все созданные ранее комплексы окажутся не работоспособны;

- отсутствие серийно производимой аппаратуры в защищенных высокопроизводительных цифровых каналах связи для выделенных в Беларуси частотных диапазонах не обеспечивает требуемого уровня качества, защиты и дальности передаваемых с БЛА на пункты управления объемов информации;

- разработки специальных пакетов программных средств по обработке полетной видеoinформации позволит расширить номенклатуру потребителей и заказчиков доработанных многофункциональных БАК, а также предоставляемых услуг;

- в ряде стран существует спрос на легкомоторные пилотируемые самолеты и БАК, способные перемещать груз массой до 300 кг и имеющие возможность взлетать и садиться на грунтовые взлетно-посадочные полосы. Такие БАК значительно дешевле и долговечней, чем активно используемые вертолеты типа Ми-8, Ми-2 и самолеты АН-2.

Перспективное направление – создание отечественных серийно выпускаемых совмещенных многоканальных гиросtabilизированных (ИК-, ТВ-, мультиспектральная камеры, лазерный дальномер) оптических и гиперспектральных систем высокого пространственного разрешения, а также целевой ап-





паратуры дистанционного наблюдения в микроволновом (радиолокационном) диапазоне, позволяющей выполнять съемку при любом освещении, включая ночное время.

За последние несколько лет у белорусских и зарубежных потребителей значительно вырос спрос на БЛА мультироторного типа, имеющие от 4 и более двигателей и способные в автономном режиме осуществлять мониторинг на расстоянии до 10 км от НПУ, зависать или следить за объектом наблюдения и передавать в режиме реального времени видеoinформацию в формате Full HD. Предприятие намерено приступить к созданию таких типов БАК уже в этом году.

Также большой перечень задач, требующих решения, относится к разработке и производству надежных и относительно доступных по цене комплектов, среди которых:

- электрический безколлекторный авиационный двигатель повышенной мощности и надежности с заданным комплексом характеристик, который будет способствовать значительному увеличению надежности БАК типа «Бусел», «Бусел М», «Бусел М50»;

- совмещенная оптическая система высокого разрешения с заданным комплексом свойств, которая в отличие от уже разработанных, будет иметь меньшую массу при качестве изображения Full HD и обеспечивать автоматическое слежение за выделенным объектом, а также другой класс мультироторной техники для сельского хозяйства;

- надежные безлюфтовые сервоприводы и бортовые механизмы управления повышенной мощности;

- системы цифровой защищенной связи, включая спутниковые каналы связи с использованием конформных адаптивных антенных, антенн с синтезированной апертурой, помехозащищенных систем и других высокоэффективных технологий до настоящего времени либо недоступных из-за санкционных действий высокоразвитых стран в отношении Беларуси, либо непроектируемых в требуемых частотных диапазонах;

- аккумуляторы повышенной емкости и малой массы, а также источники энергии, основанные на других физических принципах, включая водородные.

Выпуск пилотируемой авиационной техники в нашей стране в целом возможен лишь в кооперации с предприятиями-разработчиками или предприятиями-производителями из других стран, так как потенциала, накопленного в Академии наук и других белорусских предприятиях в данной области, недостаточно. Но в то же время в НАН Беларуси создана технологическая линия по производству БЛА типа «Бусел», «Бусел М», «Бусел М50», «Буревестник» и БАК ЭМ на базе дирижабля, поэтому производство беспилотной авиатехники, сверхмалых и сверхлегких воздушных судов (дельтапланов), дирижаблей можно наладить в «Научно-производственном центре многофункциональных беспилотных комплексов», что позволяет государству выходить на мировой рынок в качестве страны-авиастроителя беспилотной техники.

## КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

---

УДК: 623.55.022; 623.55.023

### **Артиллерийский метеорологический комплекс АМК-01, как автономный элемент переносной автоматизированной системы управления огнем артиллерийских подразделений**

**Абраменко В.Г., Вальковский Г.В., Почечуев С.Д., Стрибук П.В.**

*ОАО «Пеленг», Минск, Республика Беларусь*

Актуальность разработки компактного метеорологического комплекса обусловлена тем, что военные конфликты последнего десятилетия выявили проблему, которая требует своего разрешения - артиллерийские дивизионы, действуя в отрыве от основных сил, не могут без пристрелки по максимуму реализовывать свои огневые возможности на больших дальностях стрельбы, даже в случае, когда координаты цели точно определены. Причина - задача метеорологической подготовки стрельбы и задача по расчету параметров обстрела цели решаются не достаточно действенно. Централизованное решение первой задачи метеорологическим подразделением группировки артиллерии, громоздко по организации, не учитывает метеоусловия в нижних слоях атмосферы в районе расположения противника, длительно по времени и в большинстве случаев не соответствует условию полной подготовки по ряду объективных обстоятельств. К ним можно отнести: большое удаление пункта (пунктов) зондирования атмосферы от районов огневых позиций; ветер скоростью более 7 м/с, нет времени, по условиям обстановки, ждать результат зондирования атмосферы, и ряд других факторов. Кроме того, при активном применении противоборствующими сторонами средств РЭБ работа радиолокационных средств резко ограничится, что не позволит в полном объеме проводить шаропилотное радиозондирование атмосферы. Средство, с помощью которого решают первую задачу непосредственно в артиллерийском дивизионе не обеспечивает требуемую точность при стрельбе на большую дальность [1]. А решение второй задачи методом, применяемым в войсках, осуществляется без учета конкретных условий, в которых поражается объект - размеры зоны обстрела и расход снарядов определяются на основе ряда допущений [2], что приводит к снижению вероятности накрытия цели зоной обстрела на 5 % [3]. В свою очередь, это влечет за собой увеличение расхода снарядов от 12 % до 20 % (в зависимости от задачи стрельбы) для того, чтобы достичь выбранный (требуемый) уровень



показателя эффективности стрельбы. Расход снарядов, назначаемый для поражения цели, рассчитывают по формуле  $N = K_2 E_{до} E_{но} / S_n \tau(i, m)$ . Значение коэффициента  $K_2$ , определенное как  $K_2 = (1,1 \div 1,3) \pi r_2^2 / 2$  ведет к завышению  $N$  на +12 % [3]. В соответствие с [4], при равномерной плотности обстрела, вероятность поражения цели имеет вид:

$$P_{(c)} = P_{II} \times P_H = \left[ 1 - \exp^{-\frac{N \times S_n \times \tau(i, m)}{2a \times 2b}} \right] \times \left[ \phi\left(\frac{a}{E_{до}}\right) \times \phi\left(\frac{b}{E_{но}}\right) \right], \quad (1)$$

где  $P_{II}$  - вероятность поражения цели в зоне обстрела;

$P_H$  - вероятность накрытия цели зоной обстрела;

$N, 2a, 2b$ , - параметры обстрела цели (назначенный расход снарядов, в зависимости от задачи стрельбы; глубина и фронт зоны обстрела цели);  
 $S_n$  - приведенная зона поражения цели;

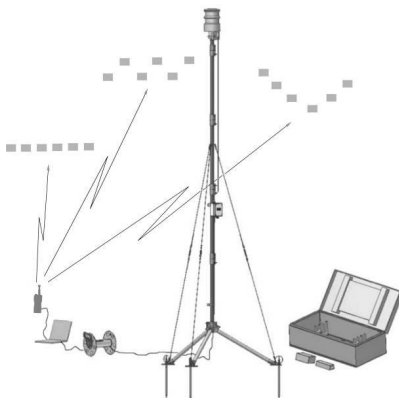
$\tau(i, m)$  - функция, учитывающая влияние рассеивания снарядов на величину  $S_n$ ;

$\phi\left(\frac{a}{E_{до}}\right)$ ,  $\phi\left(\frac{b}{E_{но}}\right)$  - приведенная функция Лапласа;

$E_{до}, E_{но}$  - сведенные срединные ошибки подготовки условного орудия при выполнении огневой задачи дивизионом  
 $\mathbb{E}_{до} = f(E_{д. метео}, N, \dots), E_{но} = f(E_{н. метео}, N, \dots)$

Из (1) следует, что артиллерийский дивизион должен иметь средство, которое позволило бы решать первую задачу так, чтобы  $E_{до}$  и  $E_{но}$  были минимальны, а вторую задачу так, чтобы  $N, 2a, 2b$  были оптимальны - учитывали конкретные условия, в которых поражается объект.

С целью решения указанной выше проблемы, были разработаны несколько методик и техническое средство - артиллерийский метеорологический комплекс АМК-01, который просто и эффективно решает задачу метеорологической подготовки стрельбы артиллерии без проведения шаропилотного радиозондирования атмосферы, обеспечивая условия полной подготовки при стрельбе на максимальную дальность. Иными словами, изделие, представляет собой компактный автономный элемент переносной автоматизированной системы управления огнем артиллерийских подразделений, решающий метеорологическую и баллистическую задачи, с последующим определением оптимальных параметров обстрела цели и передачи результата на приемные устройства (терминалы). АМК-01 переносится в специальном футляре (ранце) одним оператором в положении "за спину" или в положении "чемодан" и состоит из блока измерительного, специального вычислительного устройства, разборной мачты, катушки с кабелем, блока питания, устройства для использования автомобиля в качестве резервного источника питания (рис.1).



*Рис.1 - Общий вид АМК-01*

АМК-01 может поступать на вооружение дивизионов ствольной артиллерии, минометных батарей, дивизионов и батарей РСЗО для выполнения в автоматизированном и обычном режимах работы следующих функций:

1.Определение отклонений реальных условий стрельбы от нормальных (табличных) до высоты 14000 метров от поверхности Земли по данным пристрелочного орудия с составлением метеорологического бюллетеня, с функцией его трансформации для различных артиллерийских систем, включая РСЗО и минометы.

2.Определение отклонений реальных условий стрельбы от нормальных (табличных) до высоты 4000 метров от поверхности Земли по данным измерений метеорологических элементов в приземном слое атмосферы с составлением метеорологических бюллетеней в режиме реального времени или по заданному временному интервалу.

3.Исправление метеорологических бюллетеней для их использования в горных условиях.

4.Расчет индивидуально для каждого орудия дивизиона с учетом фигурного или хаотичного расположения орудий на огневых позициях при стрельбе на равнинной местности и в горах:

исчисленных установок и параметров обстрела цели по заданной степени поражения с передачей данных на приемные устройства (терминалы) орудий, а для РСЗО, кроме того, расчет поправок в прицел и угломер на приземный ветер АУТ в режиме реального времени;

поправок на отклонения метеорологических, баллистических, геофизических и геодезических условий стрельбы для трех батарей на три опорные дальности и три направления стрельбы для их использования в приборе управления огнем - механическом средстве дублере ЭВМ.

Характеристики точности измерений, метеорологических элементов АМК-01 приведены в табл.1



Таблица-1. Точность измерения метеорологических элементов изделием АМК-01

Метеорологический элемент	Диапазон измерения	Точность измерения
Температура воздуха	$-50...+60^0\text{C}$	$\Delta = \pm 0,1^0\text{C}$
Скорость ветра	$0...70\text{ м/сек}$	$\sigma \leq 0,3\text{ м/сек}$
Направление ветра	$0...+359,9^0$	$\sigma \leq 3^0$
Влажность воздуха	$0...100\%$	$\Delta = \pm 2\%$
Давление атмосферы	$225...900\text{ мм.рт.ст}$	$\Delta = \pm 0,375\text{ мм.рт.ст}$

Метод решения первой задачи, который положен в основу, при разработке АМК-01, заключается в следующем. По отклонения (дальности и направлению) разрыва (разрывов) от точки, по которой был произведен выстрел (выстрелы) и метеорологических параметров приземного слоя атмосферы, измеренных в районе огневой позиции, определяются баллистические отклонения метеорологических элементов, вызвавшие, такие отклонения и составляется цифровой код бюллетеня (решается обратная задача). Предусмотрена функция исправления метеорологического бюллетеня для артиллерийской системы другого типа, отличного от того, результат выстрела (выстрелов) которой был использован. Для составления бюллетеня, по данным пристрелочного орудия необходимо в АМК-01 ввести измеренное отклонение разрыва по дальности и по направлению от точки, по которой были определены установки и произведен выстрел (один или несколько) и выполнить функцию “Расчет”. Специальное программное обеспечение решает задачу, отображает результат и сохраняет его. Такой “зондирующий” выстрел (выстрелы) могут проводиться в ходе действий кочующих взводов или кочующих орудий (действующих с ложных огневых позиций с целью ввода противника в заблуждение). Также могут быть использованы отклонения центра рассеивания снарядов (ЦРС) от ранее пристрелянной цели при условии, что с момента окончания стрельбы прошло не более трех часов. Засечка разрыва (разрывов) может осуществляться любым техническим средством с  $E_{кр} \leq 30\text{ м}$ . Составление бюллетеня осуществляется в следующей последовательности:

для высоты траектории  $Y_{s\text{пор}}$  определяются слагающие ветра: продольная  $W_x$  (2), боковая  $W_z$  (3), скорость ветра  $W$  (4);

рассчитываются баллистические отклонения метеорологических элементов в слое  $0 \div Y_{s\text{пор}}$  на основании (5),(6),(7);

определяются средние отклонения метеорологических элементов  $\Delta\mu_i$ , для каждой из стандартных высот линейной интерполяцией между их значениями для высоты  $Y_{\text{бол}}$ , соответствующей углу возвышения, на котором был произведен выстрел (выстрелы) и значениями для высоты  $Y_{\text{бол}} = 200$ ;

составляется цифровой код бюллетеня по установленному в [5] правилу, при необходимости, бюллетень трансформируется для артиллерийской системы другого типа и калибра.

Зависимости, для составления бюллетеня по данным пристрелочного орудия, разработаны на основе закона подобия Ланжевена [6]:

$$W_x = \frac{X_1(V_0, \theta, C, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) - X_2(V_0, \theta, C, \alpha_1, \dots, \alpha_n) - \Delta X(\theta)}{t_c - \frac{\partial X_1}{\partial V_0} \cos \theta + \frac{\partial X_1}{\partial \theta} \times \frac{\sin \theta}{V_0}}, \quad (2)$$

$$W_z = \frac{\partial(t_c, X_1, V_0, \theta, \Omega, W, \psi_w) - \partial_z(\Omega, Z, \eta)}{955 \times [t_c - (X_1 \times V_0 \cos \theta)^{-1}] \times X_1^{-1}}, \quad (3)$$

$$W = \sqrt{W_x^2 + W_z^2}, \quad (4)$$

$$\alpha_w = f(\alpha_{R(U)} W_x, W_z), \quad (5)$$

$$\Delta \tau = f[\Delta X_s, Q_r], \quad (6)$$

$$\Delta \mu_i = f(\Delta \mu_{i02}, Y_{S \text{ ПОР}}, \Delta \mu_{iR(U)}, Y_i^{cm}, Y_{S \text{ бюл}}), \quad (7)$$

где  $X_1$  - полная горизонтальная дальность (“пристрелянная дальность”), соответствующая углу бросания, на которой был произведен выстрел (выстрелы) при действительных условиях стрельбы;

$\theta$  - угол бросания;

$V_0$  - начальная скорость снаряда;

$C$  - баллистический коэффициент снаряда;

$\alpha_1, \dots, \alpha_n$  - некоторые параметры, характеризующие баллистические, метеорологические, геофизические и геодезические условия стрельбы;

$X_2$  - аналог  $X_1$ , но без учета параметров, учитывающих влияние продольного ветра;

$\Delta X(\theta)$  - изменение дальности  $X_1$  вследствие влияния индивидуальных конструктивных особенностей орудия (поправка угла прицеливания на несоответствие угла возвышения истинному положению оси канала ствола орудия в пространстве);

$t_c$  - время полета снаряда в слое  $0 \div Y_{S \text{ ПОР}}$ ;

$\delta$  - боковое отклонение падения снаряда (снарядов) от точки, по которой были рассчитаны установки и произведен выстрел (выстрелы);

$W$  - скорость ветра;

$\Omega$  - угловая скорость вращения Земли;

$\psi_w$  - угол пути ветра;

$Z$  - деривация;



$\eta$  - изменение бокового отклонения точки падения снаряда (снарядов) от точки, по которой были рассчитаны установки и произведен выстрел (выстрелы) вследствие влияния конструктивных особенностей орудия (поправка на увод линии прицеливания в зависимости от угла бросания и азимута стрельбы);

$\alpha_{R(U)}$  - дирекционный угол с точки стояния орудия на точку разрыва снаряда (снарядов);

$\Delta X_1 = (X_1 - X_2)$  - числитель уравнения (2) без параметров учитывающих влияние температуры воздуха;

$Q_r$  - отклонение полной дальности вследствие изменения температуры воздуха на  $1^\circ\text{C}$ ;

$\Delta\mu_{i02}$  - среднее отклонение  $i$ -го метеорологического элемента в слое  $0 \div 200$ ;

$\Delta\mu_{iR(U)}$  - баллистическое отклонение метеорологического элемента в слое  $0 \div Y_{SDOP}$ ;

$Y_i^{cm}$  - высота  $i$ -го стандартного слоя бюллетеня;

$Y_{SDOP}$  - высота входа в бюллетень, определенная из соотношения (5.7) труда [6].

Трансформация бюллетеня для артиллерийской системы другого типа осуществляется в соответствие с (7). Для этого случая  $Y_{SDOP}$  рассчитывается на основании [1] из условий выражений (45.15), ... (45.22).

Расчеты показали, что срединные ошибки полной подготовки, при использовании бюллетеня, составленного указанным выше способом, не превысят (для средних условий) по дальности  $0,7\% D_T^H$  и по направлению  $0-03$  деления угломера.

С вводом координат цели и требуемой степени ее поражения, решается вторая задача - рассчитываются исчисленные дальность, азимут стрельбы и оптимальные параметры обстрела цели. Результат отображается на дисплее и по команде оператора передается на приемные устройства (терминалы) орудий. Оптимальные параметры обстрела цели находятся из условия (8), на основании (17.15) труда [7], но с учетом конкретных условий, в которых выполняется огневая задача:

$$P = (1 - \exp^{-\rho^2 r_2^2}) \times [\phi(\frac{\sqrt{\pi}}{2} \times r_2)]^2, \quad (8)$$

$$2a = f(\pi, r_2, E_{00}), \quad (9)$$

$$2b = f(\pi, r_2, E_{00}), \quad (10)$$

$$N = f(a, b, \rho, r_2, S_n, \tau_{(l,m)}) \quad (11)$$

$$h_X = f(E_{\text{до}}, r_2, T_X, B_{\text{до}}, n_z), \quad (11)$$

$$h_Z = f(E_{\text{до}} \times r_2, T_X, B_{\text{до}}, n_{\phi}), \quad (12)$$

$$\Gamma_{\text{ц}} = f(h_X, n_z), \quad (13)$$

$$\Phi_{\text{ц}} = f(h_Z, n_z), \quad (14)$$

где  $\rho = 0,47694$ ,  $\pi = 3,14159$ ;

$r_2$  – радиус зоны обстрела (определяется методом итераций);

$B_{\text{до}}, B_{\text{до}}$  – сведенные срединные ошибки рассеивания условного орудия при стрельбе дивизионом;

$n_z$  – число установок прицела;

$n_{\phi}$  – количество орудий в батарее;

$h_X, h_Z$  – величины скачка прицела и угломера;

$T_X, T_Z$  – функции, зависящие от приведенных размеров цели.

Методом статистических испытаний, установлено, что использование в программном обеспечении АМК-01 зависимостей (9),...(14) повысит эффективность стрельбы на 10 % за счет того, что параметры обстрела будут оптимальны - соответствовать конкретным условиям, в которых выполняется задача. В свою очередь, повышение эффективности стрельбы на 10 %, в среднем, даст рост огневых возможностей штатного боекомплекта на 30 % [3].

Таким образом, дивизионы ствольной артиллерии, дивизионы и батареи РСЗО, вооруженные АМК-01 станут автономными боевыми единицами, способными самостоятельно решать задачу метеорологической подготовки с точностью, позволяющей действенно и с минимальным расходом снарядов, поражать объекты противника без пристрелки на всем диапазоне дальности стрельбы точными внезапными огневыми налетами.

### Список литературы:

1. Блинов Г.И., Щетинин П.А., Дьяконов В.Г. Теория стрельбы наземной артиллерии, Том I. Теория стрельбы наземной артиллерии: - Труд для научных сотрудников, конструкторов артиллерийского вооружения и приборов:- Москва, МО СССР,1960.
2. Пособие по изучению правил стрельбы и управления огнем артиллерии (дивизион, батарея, взвод, орудие). Часть I:- Москва, МО СССР, 1985.
3. Абраменко В.Г. Совершенствование метода поражения отдельных ненаблюдаемых целей огнем артиллерии:- Минск, МО Республики Беларусь,1998.
4. Блинов. Г.И., Щетинин П.А., Дьяконов В.Г. Теория стрельбы наземной артиллерии, Том II. Теория стрельбы наземной артиллерии: - Труд для научных сотрудников, конструкторов артиллерийского вооружения и приборов: - Москва, МО СССР,1960.





5. Круковский А.С., Монченко Н.М., А.А.Оганесов. Подготовка стрельбы и управления огнем артиллерии: - Москва, МО СССР, 1987.

6. Паршин Ж.П., Чунаев Н.И, Логвин А.М. Внешняя баллистика. Том I “Уравнения движения снарядов”: - Москва, МО СССР, 1984.

7. Блинов. Г.И., Щетинин П.А., Дьяконов В.Г. Теория стрельбы наземной артиллерии, Том II. Теория стрельбы наземной артиллерии: - Труд для научных сотрудников, конструкторов артиллерийского вооружения и приборов:- Москва, МО СССР, 1960.

УДК 623.61/621.396.7

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВОЙСК В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ**

**Аладко А.Е.***ОАО «Минский научно-исследовательский приборостроительный институт»*

Появление в мире новых рисков, вызовов и угроз, обострение глобальных проблем человечества, несовершенство существующей архитектуры безопасности, проблемы безопасности в политической сфере, экологические и другие общечеловеческие вызовы, насущные потребности по сохранению дальнейшего устойчивого развития Беларуси объективно потребовали поиска новых подходов к комплексному обеспечению национальной безопасности страны, ее информационной составляющей.

Информационное пространство фактически стало театром военных действий, где каждая противоборствующая сторона стремится получить преимущество, а в случае необходимости разгромить противника. Размах противоборства в информационной сфере достиг таких масштабов, что потребовалось создание специальной концепции получившей название «Информационной войны» и определенных технических средств.

Информационное противоборство – это противоборство с использованием всего спектра информационных возможностей, осуществляемое в целях достижения информационного превосходства над противником. Основным средством ведения информационного противоборства являются национальные и транснациональные средства массовой информации, а также любые другие информационные сети, способные влиять как на мировоззрение, политические взгляды, правосознание, менталитет, духовные идеалы и ценностные установки отдельного человека, так и на общество в целом.

С усилением информационной борьбы, развертыванием информационных войн, в том числе на постсоветском пространстве, актуальность разработки и оснащения Вооруженных Сил Республики Беларусь (других воинских формирований) компактными подвижными техническими средствами, в том числе переносным портативными многофункциональными информационными комплексами постоянно возрастает.

Анализ состояния технических средств Вооруженных Сил Республики Беларусь показывает, что сегодня существует проблема недостаточной оснащенности современными техническими средствами информационного обеспечения (информационного противоборства), которая не позволяет оперативно осуществлять информационное сопровождение выполняемых задач всеми компонентами вооруженной составляющей в любых условиях обстановки.

Своевременно совместно с Министерством обороны Республики Беларусь ОАО «Минский научно-исследовательский приборостроительный институт» изучил принципиальные направления развития в мире современных



тех.средств информационного противоборства и с 2006 года приступил к разработке для Вооруженных Сил подвижных информационных средств:

подвижного информационного центра ИЦ-2006

подвижного радиотелевизионного центра ПРТЦ-2007, которые поэтапно прошли опытную эксплуатацию и приняты на вооружение в 2009 и в 2011 годах соответственно взамен морально и технически устаревших комплексов (таких как машина «Информация И2-80» и армейские типография «БПК-63», «АТМ-80», а также полевого автоклуба ПАК-65/70).

Разработка и постановка в штат Вооруженных Сил современных подвижных информационных средств, таких как **ИЦ-2006** и **ПРТЦ-2007** имела цель создание условий для организации оперативного обмена и распространения информации в условиях отсутствия или уничтожения



*(фото ИЦ-2006)*

государственной информационной инфраструктуры. Данная система в совокупности с информационными структурами государства, государственными и военными СМИ даст возможность немедленного информирования населения республики, личного состава Вооруженных Сил и международной общественности об обстановке в республике. Посредством опережающего распространения информации будет осуществляться информационная защита личного состава Вооруженных Сил и населения страны от деструктивного информационного влияния. В масштабах государства будет создана резервная мобильная информационная сеть, позволяющая осуществлять информирование населения страны, формирование высокого морального духа у личного состава и граждан страны, проведение мероприятий информационно-психологического противоборства, а также воздействие на мировую общественность в любых условиях обстановки. Без создаваемой системы функционирование информационной инфраструктуры Вооруженных Сил и в целом государства в период подготовки и ведения военного конфликта практически невозможно.

Разработка новых современных образцов подвижной техники для Вооруженных Сил не стоит на месте.

Уже сегодня происходит согласование технических параметров нового, а точнее модифицированного подвижного информационного центра на трехосном шасси отечественного производства МАЗ-631705, с комплектом нового передового оборудования мобильных спутниковых систем, позволяющих орга-

низовать канал спутниковой связи, обеспечивающий весь комплекс современных телекоммуникационных услуг:

- передача данных;
- качественная телефонная связь;
- видеоконференцсвязь;
- доступ в сеть Интернет и др.

Тема оснащения Вооруженных Сил современными переносными малогабаритными многофункциональными информационными устройствами получила дальнейшее продолжение после анализа военных конфликтов и ряда проведенных исследований в ходе тактико-специальных учений на полигонах Вооруженных Сил.

Впервые создан и адаптирован к современным условиям обстановки, прошел все виды государственных и исследовательских испытаний, а также опытную эксплуатацию в полевых (подчеркну реальных) условиях портативный информационный комплекс ПИК-2015 и его модификации.



*(фото ПИК-2015)*

Тактико-технические требования к Изделию, его составу, функциональные возможности, условия эксплуатации сформированы исходя из задач и условий, в которых предстоит действовать личному составу подразделений Вооруженных Сил в период военного конфликта.

ПИК-2015 предназначен для мобильных и механизированных подразделений (состава рота, батальон), оснащен многофункциональным набором современных средств оргтехники, способен оперативно решать различные задачи информационного обеспечения личного состава, как в местах постоянной дислокации, так и автономно в полевых условиях.

Оснащение Вооруженных Сил портативными информационными комплексами обеспечит качественно новый уровень информационного обеспечения в войсках, положительно скажется на повышении их боеготовности.

Большинство развитых государств, вставших на путь внедрения новых информационных технологий, уже осознали тот факт, что информационное воздействие есть фактор, обеспечивающий, посредством скрытого влияния через информационную сферу, реализацию своих экономических и военно-политических интересов. Более того, информационное противоборство может



обеспечить выполнение самых решительных целей, достижение которых, ранее, предполагало военное вмешательство, экономическую экспансию или другие виды агрессивных воздействий.

Сегодня ведущие мировые державы, доминируя в информационной сфере, будут наращивать информационное давление на государства, ведущие независимую внешнюю и внутреннюю политику, в целях реализации своих национальных интересов с использованием широкого арсенала технических средств информационно-психологического воздействия.

Исходя из этого очевидно, что основным звеном, обеспечивающим вместе с органами информационно-психологических операций вооруженных сил, является создание государственной стройной управляемой системы подачи информации с контролируемым режимом ее распространения.

УДК 621.317.681.2:621.317.799

**НОВЫЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ, СОЗДАННЫЕ ОАО «МНИПИ»****Володкевич А.А., Фирман М.Г.***Открытое акционерное общество «МНИПИ», Минск*

Инновационное развитие всех отраслей экономики требует создания и внедрения все более совершенных средств измерений, диагностики и контроля для метрологического обслуживания новой техники и технологий на всех стадиях жизненного цикла изделий. Задача создания и внедрения современной контрольно-измерительной аппаратуры актуальна также и для оборонных отраслей. В отличие от приборов общепромышленного применения, к приборам и системам, предназначенным для применения при обслуживании военной техники и вооружений, предъявляется ряд дополнительных требований, в первую очередь требования к условиям эксплуатации.

ОАО «МНИПИ» является одним из основных разработчиков и изготовителей контрольно-измерительной аппаратуры в Республике Беларусь. Начиная с 2011 года, ОАО «МНИПИ» является головной организацией-исполнителем подпрограмм «Радиоэлектронная и оптоэлектронная аппаратура специального и двойного применения» и «Радиоэлектронная аппаратура общепромышленного применения» государственной научно-технической программы «Радиоэлектроника-2». Разработка приборов и средств измерений – одно из основных направлений работ в рамках указанных подпрограмм. ОАО «МНИПИ» - основной разработчик и один из основных изготовителей средств измерений в рамках указанной программы. Создание контрольно-измерительной аппаратуры, предназначенной для использования в оборонных отраслях и для метрологического обслуживания специальной техники, в том числе в местах ее дислокации является одной из основных целей подпрограммы «Радиоэлектронная и оптоэлектронная аппаратура специального и двойного применения».

В результате выполнения ряда государственных научно-технических программ в ОАО «МНИПИ» разработаны и освоены в серийном производстве десятки типов средств измерений, диагностики и другой радиоэлектронной аппаратуры.

Результатом выполнения заданий подпрограммы «Радиоэлектронная и оптоэлектронная аппаратура специального и двойного применения» явилось освоение ряда средств измерений, предназначенных в первую очередь для применения при разработке, производстве, ремонте и диагностировании специальной техники.

В 2011 – 2016 годах предприятием были разработаны 26 типов средств измерений различных величин.

Разработаны и в 2016 году освоены в производстве четыре типа универсальных цифровых вольтметров (табл. 1 - 3):

настольный сервисный вольтметр В7-77/1 класса 0,04%;

системный вольтметр класса 0,01% В7-89 с расширенными функциональными возможностями;



системный вольтметр В9-91, В7-91/1 класса 0,03 %.

Эти вольтметры от ранее освоенных в производстве приборов аналогичного класса отличаются более жесткими условиями эксплуатации, меньшей стоимостью, более широкими функциональными возможностями.

Таблица 1. Технические характеристики вольтметра В7-77/1

<b>U=</b>	от 100 мкВ до 1000 В; (U <sub>к</sub> - 200 мВ; 2, 20, 200, 1000 В)
основная погрешность	(0,04% от U + 0,02% от U <sub>к</sub> ) ... (0,05% от U + 0,02% от U <sub>к</sub> )
<b>U~ (20 Гц...100кГц)</b>	от 1 мВ до 750 В; (U <sub>к</sub> - 200 мВ; 2, 20, 200, 750 В)
основная погрешность	(0,3% от U + 0,2% от U <sub>к</sub> ) ... (1,9% от U + 0,6% U <sub>к</sub> )
<b>I=</b>	от 1 мкА до 10 А; (I <sub>к</sub> - 2, 20, 200 мА; 2 А, 10 А)
основная погрешность	0,05% от I + 0,02% от I <sub>к</sub> .
<b>I~ (20...1000 Гц)</b>	от 10 мкА до 2 А; (I <sub>к</sub> - 2, 20, 200 мА; 2 А, 10 А)
основная погрешность	0,5% от I + 0,1% от I <sub>к</sub>
<b>R</b>	от 1 Ом до 20 МОм; (R <sub>к</sub> - 200 Ом, 2, 20, 200 кОм, 2, 20 МОм)
основная погрешность	(0,1% от R + 0,02% от R <sub>к</sub> ) ... (0,2% от R + 0,02% от R <sub>к</sub> )
Габариты, масса	262x88x300 мм; 3,2 кг
Рабочие условия: диапазон температур от минус 10 до плюс 50°C	

Примечание: здесь и далее применяются следующие обозначения:

**U=** - напряжение постоянного тока;

**U~** - напряжение переменного тока;

**I=** - сила постоянного тока;

**I~** - сила переменного тока;

**U<sub>к</sub>, I<sub>к</sub>, R<sub>к</sub>** – конечные значения диапазонов измерений напряжения, силы тока и сопротивления соответственно.

Таблица 2. Технические характеристики вольтметра В7-89

<b>U=</b>	от 10 мкВ до 1000 В; (U <sub>к</sub> - 200 мВ, 2, 20, 200, 1000 В)
основная погрешность	(0,008% от U + 0,002% от U <sub>к</sub> ) ... (0,01% от U + 0,002% от U <sub>к</sub> )
<b>U~ (20 Гц...100 кГц)</b>	от 1 мВ до 750 В; (U <sub>к</sub> - 200 мВ, 2, 20, 200, 750 В)
основная погрешность	(0,1% от U + 0,05% от U <sub>к</sub> ) ... (0,4% от U + 0,2% от U <sub>к</sub> )
<b>I=</b>	от 1 мкА до 20 А; (I <sub>к</sub> - 200 мкА; 2, 20, 200 мА; 2 А, 20 А)
основная погрешность	(0,12% от I + 0,03% от I <sub>к</sub> ) ... (0,4% от I + 0,1% от I <sub>к</sub> )
<b>I~ (20...5000 Гц)</b>	от 10 мкА до 2 А; (I <sub>к</sub> - 200 мкА, 2, 20, 200 мА, 2 А, 20 А)
основная погрешность	(0,2% от I + 0,2% от I <sub>к</sub> ) ... (1% от I + 0,5% от I <sub>к</sub> )
<b>R</b>	от 1 Ом до 20 МОм; (R <sub>к</sub> - 200 Ом; 2, 20, 200 кОм, 2, 20 МОм)
основная погрешность	(0,05% от R + 0,005% от R <sub>к</sub> ) ... (0,5% от R + 0,2% от R <sub>к</sub> )
Дополнительные функциональные возможности: измерение температуры со стандартными термопреобразователями ТСП. Измерение с внешним шупом постоянного (до 6 кВ) и переменного (до 3 кВ) напряжения. Интерфейс USB.	
Габариты, масса	353 × 284 × 103 мм; 6,0 кг
Рабочие условия: температура от минус 20°C до +50°C; влажность до 95%	

*Таблица 3. Технические характеристики вольтметров В7-91, В7-91/1*

U=	от 10 мкВ до 1000 В (U <sub>к</sub> - 200 мВ, 2, 20, 200, 1000 В)
основная погрешность	(0,03% от U + 0,002% от U <sub>к</sub> ) ... (0,03% от U + 0,005% от U <sub>к</sub> )
U~ (20 Гц...100 кГц)	от 1 мВ до 750 В (U <sub>к</sub> - 200 мВ, 2, 20, 200, 750 В)
основная погрешность	(0,3% от U + 0,1% от U <sub>к</sub> ) ... (0,5% от U + 0,1% от U <sub>к</sub> )
I=	1 мкА до 2 А (I <sub>к</sub> - 200 мкА, 2, 20, 200 мА, 2 А)
основная погрешность	0,03% от I + 0,02% от I <sub>к</sub>
I~ (20...1000 Гц)	от 10 мкА до 2 А (I <sub>к</sub> - 200 мкА, 2, 20, 200 мА, 2 А)
основная погрешность	0,3% от I + 0,1% от I <sub>к</sub>
R	от 1 Ом до 20 МОм (R <sub>к</sub> - 200 Ом; 2, 20, 200 кОм, 2, 20 МОм)
основная погрешность	(0,1% от R + 0,01% от R <sub>к</sub> ) ... (0,3% от R + 0,1% от R <sub>к</sub> )
Математическая и логическая обработка результатов измерений. Интерфейс USB	
Рабочие условия: диапазон температур от минус 10 до плюс 50°C; влажность до 80%	
Габариты; масса	340x285x104 мм; 3,8 кг
Дополнительные функциональные возможности вольтметра В7-91:	
Измерение напряжения постоянного тока до 6 кВ с внешним щупом. (U <sub>к</sub> – 6 кВ). Основная погрешность $\pm(1,2\% \text{ от } U + 0,1\% \text{ от } U_k)$	
Измерение напряжения переменного тока до 3 кВ с внешним щупом, 50 $\pm$ 0,5 Гц. (U <sub>к</sub> – 3 кВ). Основная погрешность $\pm(1,5\% \text{ от } U + 0,3\% \text{ от } U_k)$	
Измерение силы постоянного тока до 20 А (I <sub>к</sub> – 20 А). Основная погрешность $\pm(0,2\% \text{ от } I + 0,02\% \text{ от } I_k)$	
Измерение силы переменного тока до 20 А, (20 Гц ... 1 кГц) Основная погрешность $\pm(0,6\% \text{ от } I + 0,1\% \text{ от } I_k)$	

Одной из актуальных задач в области приборостроения является обеспечение процессов калибровки и поверки средств измерений. Применяемые для этих целей эталоны обычно являются весьма дорогостоящими изделиями и обеспечивают свои характеристики в особых лабораторных условиях. В ОАО «МНИПИ» разработан и освоен в производстве универсальный калибратор Н4-201, который по сравнению с калибраторами зарубежного производства отличается существенно более низкой стоимостью при оптимальном наборе функциональных возможностей и метрологических характеристик и обеспечивает калибровку и поверку электроизмерительных приборов среднего и повышенного класса точности в диапазоне напряжений до 1000 В и силы тока до 50 А (табл. 4). Калибратор по сравнению с выпускающимся в настоящее время прибором Н4-101 обладает большей точностью воспроизведения (0,015% на постоянном напряжении), более широким диапазоном частот воспроизводимого переменного напряжения (до 100 кГц). Как и прибор Н4-101, этот калибратор обеспечивает свои характеристики в сравнительно широком диапазоне рабочих температур, что позволяет применять его непосредственно в местах эксплуата-





ции поверяемой техники. Метрологические характеристики калибратора Н4-201 обеспечивают калибровку и поверку электроизмерительных приборов среднего класса точности, в том числе значительной номенклатуры контрольно-измерительных приборов, применяемых в войсках.

Таблица 4. Технические характеристики универсального калибратора Н4-201

Диапазон воспроизведения напряжения постоянного тока: от 20 мкВ до 1000 В, поддиапазоны (U <sub>к</sub> ) 200 мВ; 2; 20; 200; 1000 В. Основная погрешность, (% от U + % от U <sub>к</sub> ):	U <sub>к</sub> 200 мВ	0,012 + 0,003
	U <sub>к</sub> 2 В, 20 В	0,008 + 0,002
	U <sub>к</sub> 200 В	0,012 + 0,003
	U <sub>к</sub> 1000 В	0,02 + 0,003
Диапазон воспроизведения напряжения переменного тока: от 0,3 мВ до 750 В, (от 20 Гц до 100 кГц, синус) поддиапазоны (U <sub>к</sub> ) 200 мВ; 2; 20; 200; 750 В. Основная погрешность, (% от U + % от U <sub>к</sub> ):	в диапазоне 20 Гц ... 30 кГц:	
	U <sub>к</sub> 200 мВ, 2, 20 В	0,15 + 0,02
	в диапазоне 30 ... 100 кГц:	
	U <sub>к</sub> 200 мВ, 2, 20 В	0,15 + 0,075
	в диапазоне 20 Гц ... 5 кГц:	
	U <sub>к</sub> 200 В	0,15 + 0,05
	в диапазоне 25 Гц ... 2,5 кГц:	
	U <sub>к</sub> 750 В	0,15 + 0,05
Диапазон воспроизведения силы постоянного тока: от 0,03 мкА до 50 А, поддиапазоны (I <sub>к</sub> ) 200 мкА; 2; 20; 200 мА; 2, 50 А. Основная погрешность, (% от I + % от I <sub>к</sub> ):	I <sub>к</sub> 200 мкА	0,02 + 0,002
	I <sub>к</sub> 2, 20, 200 мА	0,01 + 0,002
	I <sub>к</sub> 2 А	0,02 + 0,002
	I <sub>к</sub> 50 А	0,15 + 0,010
Диапазон воспроизведения силы переменного тока: от 3 мкА до 50 А, (от 40 до 5000 Гц, синус); поддиапазоны (I <sub>к</sub> ) 200 мкА; 2; 20; 200 мА; 2, 50 А. Основная погрешность, (% от I + % от I <sub>к</sub> ):		
	I <sub>к</sub> от 200 мкА до 2 А	0,05 + 0,012
	I <sub>к</sub> 2 А (1...5 кГц)	0,15 + 0,03
	I <sub>к</sub> 50 А (до 1000 Гц)	0,20 + 0,03
Диапазон температур рабочих условий	от плюс 5 до плюс 40° С	
Габариты, масса	540,5x465x184,5 мм, 20 кг	

В области создания приборов для измерения параметров цепей на переменном токе (емкость, индуктивность, добротность и др.) актуальными задачами, наряду с повышением точности, являются задачи расширения диапазонов тестовых частот, расширение функциональных возможностей и автоматизация измерений. Для решения этих задач освоены в производстве три типа новых анализаторов иммитанса: Е7-28 (диапазон частот от 25 Гц до 10 МГц, класс точности 0,1%), Е7-29 (диапазон частот от 50 Гц до 15 МГц, класс точности 0,2%, жесткие условия эксплуатации), Е7-30 (диапазон частот от 25 Гц до 3 МГц, класс точности 0,1%). Характеристики приборов приведены в табл. 5 – 7. Приборы обеспечивают автоматическую компенсацию параметров присоединительных устройств, математическую обработку результатов измерений, графическую развертку (представление графиков зависимости измеряемой величины от частоты).

Таблица 5. Технические характеристики анализатора иммитанса широкополосного E7-28

Диапазон измерений:	
сопротивления, реактивного сопротивления, модуля комплексного сопротивления	от 10 МОм до 100 МОм
индуктивности	от 160 нГн до 640 кГн
емкости	от 1,6 пФ до 0,64 Ф
активной, реактивной, комплексной проводимости	от 10 нСм до 100 См
добротности, тангенса угла потерь	от 10-4 до 104
угла фазового сдвига	от минус 180 до +180°
Базовая погрешность	0,1%
Рабочие частоты	от 25 Гц до 10 МГц.
Напряжение смещения	от 0 до 40 В
Напряжение испытательного сигнала	от 5 мВ до 1 В (с.к.з.)
Интерфейс	USB 2.0
Диапазон рабочих температур	от +5 до +40 °С
Габариты; масса	270х134х320 мм; 5 кг

Таблица 6. Технические характеристики анализатора иммитанса широкополосного E7-29

Диапазон измерений:	
сопротивления, реактивного сопротивления, модуля комплексного сопротивления	от 10 МОм до 100 МОм
индуктивности	от 1 нГн до 100 Гн
емкости	от 0,001 пФ до 100 мкФ
активной, реактивной, комплексной проводимости	от 10 нСм до 100 См
добротности, тангенса угла потерь	от 10-4 до 104
угла фазового сдвига	от минус 180 до +180°
Базовая погрешность	0,2 %
Рабочие частоты	от 50 Гц до 15 МГц
Напряжение смещения	от 0 до 40 В
Напряжение испытательного сигнала	от 40 мВ до 1 В (с.к.з.)
Интерфейс	USB 2.0
Диапазон рабочих температур	от минус 10 до +40°С
Габариты; масса	270х134х320 мм; 5 кг



Таблица 7. Технические характеристики измерителя иммитанса Е7-30

Диапазон измерений:	
сопротивления, реактивного сопротивления, модуля комплексного сопротивления	от 100 мкОм до 1 ГОм
индуктивности	от 0,01 нГн до 10 кГн
емкости	от 0,001 пФ до 1 Ф
активной, реактивной, комплексной проводимости	от 0,01 нСм до 10 См
добротности, тангенса угла потерь	от 10-4 до 104
угла фазового сдвига	от минус 90 до +90°
Базовая погрешность	0,1%
Рабочие частоты	от 25 Гц до 3 МГц.
Напряжение смещения	от 0 до 40 В
Напряжение испытательного сигнала	от 5 мВ до 1 В (с.к.з.)
Интерфейс	RS-232-C/USB 2.0
Диапазон рабочих температур	от +5 до +45°C
Габариты; масса	270x134x320 мм; 5 кг

Для метрологического обеспечения производства и эксплуатации измерителей иммитанса и других средств измерений параметров цепей на переменном токе создан и освоен в производстве набор мер электрического сопротивления Н2-2. Набор состоит из 10 мер (0 Ом, 1, 10 Ом, ...

1 МОм,  $\infty$ ) и обеспечивает передачу размера единицы сопротивления на переменном токе при частотах до 10 МГц с погрешностью (0,03...0,3)%.

Созданы четыре типа цифровых двухканальных осциллографов (табл. 8 – 10):

С8-52 – диапазон частот до 120 МГц, жесткие условия эксплуатации, цветной графический дисплей со светодиодной подсветкой;

С8-53, С8-53/1 – диапазон частот до 100 МГц, малые габариты и масса (3,5 кг);

С8-54 – диапазон частот до 200 МГц, 400 Мвыб/с в каждом канале, жесткие условия эксплуатации, цветной TFT ЖК дисплей.

Все перечисленные осциллографы обеспечивают различные виды автоматических цифровых измерений, работоспособны при питании от сети и от аккумулятора.

Таблица 8. Технические характеристики цифрового осциллографа С8-52

Коэффициенты отклонения	от 0,002 до 20 В/дел (ряд 1,2,5...)
основная погрешность	$\pm 3\%$
Допускаемый размах суммарного напряжения	не более 250 В
Коэффициенты развертки	от 1 нс/дел до 50 с/дел (ряд 1, 2, 5 ...)



основная погрешность	$\pm 1,5 \%$ .
Диапазон частот синхронизации	от 0,6 Гц до 120 МГц
Частота дискретизации	до 250 МВыв/с в каждом канале
Цифровые измерения	курсорные и 10 видов автоматических
Режимы фильтрации, пикового детектирования, усреднения, накопления сигналов. Вычисление суммы, произведения, спектра сигналов. Интерфейс RS-232C	
Потребляемая мощность	90 ВА от сети 230 В 40 Вт от встроенного аккумулятора 12 В
Диапазон рабочих температур	от минус 10 оС до плюс 40 оС.
Габариты, масса	346 x 152 x 252 мм; 7 кг

Таблица 9. Технические характеристики цифровых осциллографов C8-53, C8-53/1

Экран	ЖК- 5,7", C8-53/1-цветной, C8-53-монохромный
Входы	2 канала, вход синхронизации
Коэффициенты отклонения	от 2 мВ/дел до 20 В/дел (ряд 1, 2, 5 ...)
Коэффициенты разверток	от 2 нс/дел до 10 с/дел (ряд 1, 2, 5 ...)
Частота дискретизации	200 МВыв/с в каждом канале
Диапазон частот синхронизации	до 100 МГц
Погрешность амплитудных измерений	$(2,5+U_k/U)\%$ , где $U_k$ – конечное значение диапазона
Погрешность временных измерений	$(1,0+T_n/T)\%$ , где $T_n$ – длительность развертки
Предзапуск	50 дел.
Послезапуск	500 дел.
Цифровые измерения	Курсорные и 22 вида автоматических
Интерфейсы	USB, Ethernet
Пиковый детектор, усреднение, сглаживание, отображение минимальных и максимальных значений, накопление сигналов, сохранение осциллограмм во встроенной энерго-независимой и/или внешней памяти, отображение спектра сигнала, выбор сетки экрана, изменение цвета и яркости сетки и отображения сигналов, сохранение всех установок после завершения сеанса работы, сохранение образа экрана на USB Flash Drive	
Питание: сеть 230 В (40 ВА) или внешний аккумулятор $(12\pm 3)$ В.	
Диапазон рабочих температур	C8-53: от плюс 5 до плюс 40°С C8-53/1: от минус 10 до плюс 40°С
Габариты, масса	346x152x235 мм; 3,5 кг

Таблица 10. Технические характеристики цифрового осциллографа C8-54

Экран	TFT ЖК цветной 5,7"; 320x240 пиксел
Входы	2 канала, вход синхронизации
Диапазон коэффициентов отклонения	от 0,002 до 5 В/дел (ряд 1, 2, 5 ...)
Диапазон коэффициентов развертки	от 1 нс/дел до 10 с/дел (ряд 1, 2, 5 ...)
Частота дискретизации	400 МВыв/с в каждом канале
Диапазон частот синхронизации	до 200 МГц
Время нарастания переходной характеристики:	1,75 нс
Цифровые измерения	Курсорные и 22 вида автоматических
Погрешность амплитудных измерений	$(2,5+U_k/U)\%$ , где $U_k$ – конечное



	значение диапазона
Погрешность временных измерений	$(1,0 + T_n/T)\%$ , где $T_n$ – длительность развертки
Величина предзапуска развертки, не менее	50 дел экрана
Величина послезапуска развертки, не менее	500 дел экрана
Дополнительные функции	Регистратор, частотомер, спектральный анализ
Погрешность измерений в режиме частотомера	частоты $\pm 0,02\%$ ; периода $\pm 0,06\%$
Скорость записи сигнала в режиме регистратора	от 100 мс/дел до 10 с/дел
Интерфейсы	USB, Ethernet
Пиковый детектор, усреднение, сглаживание, отображение минимальных и максимальных значений, накопление сигналов, сохранение осциллограмм во встроенной и энергонезависимой и/или внешней памяти, выбор типа сетки экрана, изменение цвета и яркости отображаемых сигналов и сетки, сохранение всех установок после завершения сеанса работы, сохранение образа экрана на USB Flash Drive	
Питание	$\sim 230$ В, (90 ВА) или внешний источник постоянного тока $(12 \pm 3)$ В
Диапазон рабочих температур	от минус 10 оС до плюс 40 оС
Габариты, масса	346x152x252 мм; 4 кг

Перечень разработанных и выпускаемых предприятием электронно-счетных частотомеров в 2015 году дополнился новым прибором ЧЗ-96. Этот частотомер также предназначен для применения в сравнительно жестких условиях эксплуатации. Диапазон частот от 0,01 Гц до 3,2 ГГц (табл. 11). По сравнению с ранее разработанными в ОАО «МНИПИ» частотомерами он имеет более широкие функциональные возможности, более совершенное программное обеспечение для внутриприборной обработки сигналов и результатов измерений.

Таблица 11. Технические характеристики электронно-счетного частотомера ЧЗ-96

Измерение частоты	от 0,01 Гц до 200 МГц; (синус, импульс)	от 100 до 3200 МГц. (синус)
Измерение периода, длительности импульсов	от 5 нс до 106 с (синус); от 10 нс до 100 с (импульс)	
Измерение интервалов времени	от 0,1 мкс до 100 с	
Измерение отношения частот	А/С, С/А, В/С, В/А до 999999999	
Счет числа импульсов	за период и длительность сигнала	
Уровень измеряемых сигналов	0,02...10 В (синус); 0,05...10 В (импульс)	0,03...1 В (0,03 до 20 мВт)
Метки времени	10-8 ... 10-3 с	
Число усредняемых периодов	1 ... 105	
Частота опорного генератора	5 МГц ( $\pm 1 \cdot 10^{-8}$ f ном.)	
Нестабильность опорного генератора:		
временная	$\pm 2 \cdot 10^{-8}$ за 30 суток; $\pm 5 \cdot 10^{-8}$ за 12 месяцев	
в диапазоне рабочих температур	$\pm 2 \cdot 10^{-8}$ (от минус 10 до +50°С)	
Измерение скажкости	от 1,000001 до 999999999	-

Режим тахометра. Запуск внутренний, однократный или программный; внешний. Вычисление функций $1/T$ , $1/F$ , коэффициента заполнения, автоматическая установка уровня запуска. Интерфейс USB 2.0 по протоколу SCPI.	
Питание	~230 В, 40 ВА
Габариты, масса	345x285x106 мм; 4 кг

Контроль метеорологических параметров является важной задачей в авиации, артиллерии и других видах вооруженных сил. В ОАО «МНИПИ» разработаны и освоены в производстве четыре типа измерительных преобразователей температуры и влажности, обеспечивающие преобразование измеряемых величин в нормированное значение постоянного напряжения или силы тока – ПИТ01, ПОВТ01, ПОВТ01А, ПОВТ2. Эти преобразователи применяются в настоящее время в ряде специализированных метеорологических комплексов, а также при испытаниях технических средств.

Таблица 12. Технические характеристики измерительных преобразователей температуры и относительной влажности

Термопреобразователь сопротивления ПИТ 01		
для измерения температуры почвы (сыпучих материалов) от минус 60 до +60°C		
Чувствительный элемент Pt 100, класс А по ГОСТ 6651. Максимальный ток 1 мА.		
Габариты, масса		Ø8x100 мм; 0,7 кг
Длина кабеля (3000,0±50) мм; (5000,0±50) мм; (8000±50) мм; (12000,0±50) мм		
Преобразователь относительной влажности и температуры ПОВТ 01		
преобразование значения относительной влажности воздуха в постоянное напряжение и измерение температуры воздуха термопреобразователем сопротивления Pt 100		
Диапазон преобразования относительной влажности (10 мВ/1%)		от 10 до 100%
абсолютная основная погрешность		± 3 %
Сопротивление нагрузки		не менее 10 кОм
Диапазон измерений температуры		от минус 30 до +60°C
Чувствительный элемент Pt 100 класса допуска А и W100 = 1,3850 по ГОСТ 6651.		
Питание – источник постоянного тока от 13,5 до 16,5 В. (потребляемый ток ≤8 мА)		
Габариты, масса		Ø25x215 мм; 0,5 кг
Преобразователь относительной влажности и температуры ПОВТ 01А		
преобразование значений влажности и температуры воздуха в постоянное напряжение		
Диапазон преобразования относительной влажности (0,10 мВ/1%)		от 10 до 100%
абсолютная основная погрешность		± 3 %
Сопротивление нагрузки каждого канала		не менее 10 кОм
Диапазон преобразования температуры (10 мВ/°C)		от минус 30 до +70°C
абсолютная основная погрешность		± 0,5°C
Питание – источник постоянного тока от 13,6 до 16,5 В. (потребляемый ток ≤15 мА)		
Габариты, масса		Ø25x215 мм; 0,5 кг
Преобразователь относительной влажности и температуры ПОВТ 02		
преобразование значений относительной влажности и температуры воздуха в постоян-		



ный ток		
Диапазон преобразования относительной влажности (0,16 мА/1%)		от 10 до 100%
	абсолютная основная погрешность	$\pm 3 \%$
Диапазон преобразования температуры (10 мВ/°C)		от минус 30 до +70°C
	абсолютная основная погрешность	$\pm 0,5^\circ\text{C}$
Питание – источник постоянного тока от 21,6 до 26,4 В. (потребляемый ток $\leq 50$ мА)		
Габариты, масса: блок преобразования 115x90x195, выносной зонд Ø25x215 мм; 0,5 кг		

В выполнении заданий ГНТП «Радиоэлектроника-2» приняли участие более 20 организаций промышленности, отраслевой, академической и вузовской науки.

Начиная с 2016 года, выполняется ГНТП «Радиоэлектроника-3», цели и задачи которой аналогичны целям и задачам завершенной программы. Выполнение этой программы будет способствовать решению одной из актуальных задач – повышению уровня оснащенности оборонных отраслей промышленности и Вооруженных Сил современным контрольно-измерительным оборудованием, повышению конкурентоспособности и научно-технического уровня продукции отечественного приборостроения.

УДК 621.317.2

## **ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СРЕДСТВ РЕГИСТРАЦИИ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ СИЛОВЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

**Гришин С.А., Климентовский В.В.***ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника», Минск*

*Представлены описание программно-аппаратного комплекса для регистрации параметров процессов разгара теплонапряженных элементов конструкции жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) и результаты его применения в процессе огневых стендовых испытаний модельных ЖРД.*

В народном хозяйстве и в сфере обороны и безопасности широко используются различные виды силовых и энергетических агрегатов, которые представляют собой сложные технические системы, зачастую работающие в тяжелых условиях и испытывающие при работе значительные механические и термические напряжения. Выход из строя такого энергонасыщенного оборудования, а тем более его катастрофический отказ чреват не только масштабными экономическими потерями, но даже разрушениями инфраструктуры или срывом выполнения специальных задач. Поэтому значительное внимание традиционно уделяется контролю его технического состояния и режимов работы. Например, регулярное проведение планового демонтажа, инспекций и технического обслуживания позволяет выявить широкий спектр развивающихся неисправностей, но в периоды времени между проведением этих мероприятий контроль за состоянием оборудования ослаблен. Кроме того, выполнение таких работ связано со значительными трудозатратами специалистов высокой квалификации, обычно может проводиться только при наличии соответствующей производственной базы, а обслуживаемое оборудование выводится из эксплуатации на длительное время. Более эффективным может быть проведение технического обслуживания «по состоянию». Реализация такого метода подразумевает постоянный мониторинг технического состояния и режимов работы оборудования. Существующие методы контроля не всегда могут обеспечить необходимую эффективность или быстродействие. Например, широко применяемые средства вибродиагностики смогут зарегистрировать отклонения от нормальных режимов работы турбокомпрессоров ЖРД тогда, когда возникнет существенная потеря массы и проявится дисбаланс вращающихся деталей. В то же время вынос массы материалов подвергающихся износу и разрушению деталей конструкции из газового тракта двигателя начинается раньше и желательно зафиксировать этот факт и принять необходимые меры до начала развития аварийной ситуации. Во время работы силовые и энергетические агрегаты становятся источниками различных физических полей, параметры которых могут нести информацию о процессах, происходящих в оборудовании. При работе реактивных двигателей происходит разделение зарядов





и вынос нескомпенсированных зарядов из газового тракта двигателя, характер движения этих зарядов определяется, в частности, акустическими процессами в камерах сгорания двигателя, и другими явлениями, сопровождающими работу ЖРД, поэтому характеристики создаваемых благодаря движению таких зарядов переменных электрических и магнитных полей можно использовать в качестве диагностических признаков при мониторинге работы силовой установки. Продукты износа или разрушения элементов конструкции двигателя, проходя по газовому тракту, попадают в факел и изменяют спектр его оптического излучения. Исследование спектра этого излучения позволяет идентифицировать источники выносимых материалов в узлах и агрегатах двигателя. Традиционные методы исследования характеристик рабочего процесса в камерах сгорания (КС) не всегда эффективны, в частности, при проведении диагностики физико-химических процессов в объеме КС, и практически не пригодны для создания системы управления, мгновенно реагирующей на резкие изменения параметров рабочего процесса. Поэтому в последнее время разрабатываются новые методы, основанные, например, на оптических, электрофизических, акустических способах диагностики рабочего процесса в ЖРД. В ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника» разработан и изготовлен экспериментальный образец программно-аппаратного комплекса (ПАК) для регистрации параметров процессов разгара теплонапряженных элементов конструкции ЖРД с использованием бесконтактных электромагнитных, оптических, тепловых, акустических, вибрационных и других методов и средств контроля.

Программно-аппаратный комплекс позволяет исследовать процессы возникновения электромагнитных полей высокотемпературных газовых потоков; влияние основных режимных параметров работы ЖРД на электромагнитные характеристики таких потоков; амплитудно-частотные характеристики электромагнитных полей и оптического излучения высокотемпературных газовых потоков в процессе огневых стендовых испытаний ЖРД; процессы попадания частиц материалов и конденсированной фазы в газовый тракт ЖРД; процессы разрушения проточной части ЖРД. При этом ПАК регистрирует величины компонент вектора напряженности переменного магнитного поля; напряженность переменного электрического поля; спектры оптического излучения факела ЖРД; параметры теплового поля; видеоданные процесса проведения огневых испытаний; вибрации и звуковые колебания. Общий вид ПАК показан на рисунке 1.



Рис. 1 - Экспериментальный образец программно-аппаратного комплекса для регистрации параметров процессов разгара теплонапряженных элементов конструкции жидкостных ракетных двигателей:

1 - Цифровая PTZ-видеокамера, 2 - Измерительный комплекс, 3 - Антенна измерителя переменного электрического поля, 4 - Антенна измерителя переменного магнитного поля, 8 - Датчик переменного электрического поля, 9 - Датчик переменного магнитного поля индукционный, 11 - Телескоп Кассегрена, 12 - Спектрометр оптического излучения, 14 - Микрофон, 18 - Вибродатчик, 21 - Термодары, 23 - Пирометр, 24 - Приборная стойка, 25 - Блок электропитания для видеокамеры, 26 - Ноутбук, 27 - Принтер, 28 - Поворотное устройство двухосевое.

Экспериментальный образец ПАК имеет следующие основные технические характеристики:

- Диапазон регистрации напряженности магнитного поля - от -50 А/м до +50 А/м;
- Диапазон регистрации напряженности электрического поля – от -3 кВ/м до +3 кВ/м;
- Частотный диапазон регистрации напряженностей электрического и магнитного полей – от 20 Гц до 50 кГц;
- Диапазон регистрации оптического излучения - от 300 до 1000 нм, разрешение – 0,66 нм;
- Диапазон регистрации температуры - от 0 °С до 1000 °С;
- Амплитудный диапазон регистрации вибраций - +-50g, в диапазоне частот - 0,5 Гц - 12 кГц, чувствительность - 98 мВ/г;
- Максимальный измеряемый уровень звукового давления – 146 дБ, чувствительность – 45 мВ/Па, частотный диапазон – 2Гц - 20 кГц;
- Частота опроса измерительных преобразователей медленноменяющихся процессов - 100 Гц.

С помощью разработанного программно-аппаратного комплекса на стенде филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана (поселок Орево, Московской области) осуществлена регистрация информативных параметров при проведении огневых испытаний модельных жидкостных ракетных двигателей. Экспериментальная установка разрабатывалась для проведения огневых стендовых испытаний модельного ЖРД,



моделирования различных аварийных ситуаций в работе двигателя и регистрации параметров электромагнитного поля, создаваемого во время работы модельного ЖРД. При проведении огневых испытаний модельных ЖРД, созданных МГТУ им. Н.Э. Баумана, измерялись переменные магнитные и электрические поля и регистрировались спектры оптического излучения. На рисунке 2 представлены конструкции исследуемых модельных ЖРД.

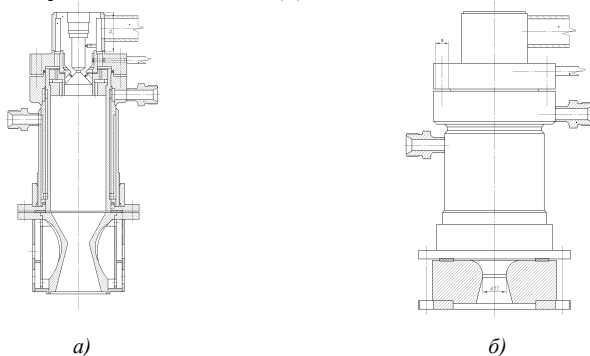


Рис. 2 – Исследуемые модельные жидкостные ракетные двигатели: а) двигатель с охлаждаемым соплом; б) двигатель с разгорающимся вкладышем критического сечения.

На рисунке 3 показан модельный ЖРД с разгорающимся вкладышем критического сечения сопла с установленными в районе критического сечения первичными измерительными преобразователями электрического и магнитного полей, а также вибродатчиком. На рисунке 4 представлен вид разгорающегося вкладыша критического сечения ЖРД после проведения огневых испытаний.

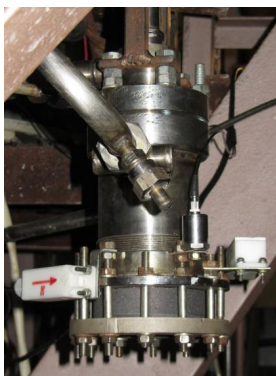


Рис. 3 – Размещение на испытываемом модельном ЖРД преобразователей переменного магнитного и электрического полей и вибродатчика.

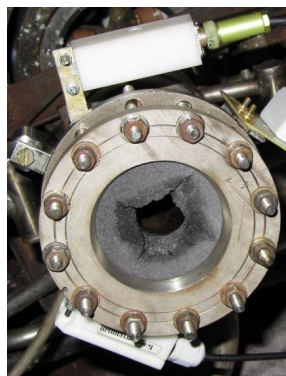


Рис. 4 – Вид разгорающегося вкладыша критического сечения ЖРД после проведения огневых испытаний.

В таблице 1 приведены основные параметры работы модельных ЖРД при проведении огневых испытаний.

Таблица 1 - Основные параметры работы модельных ЖРД при проведении огневых испытаний

Давление в камере сгорания $p_k$ , МПа	1...3
Расход окислителя (газообразного кислорода) $m_o$ , кг/с	0,10...0,30
Расход горючего (керосина) $m_f$ , кг/с	0,10...0,30
Коэффициент избытка окислителя,	0,2...2,0
Время отдельного пуска $t$ , с	1...20

Штатными измерительными средствами испытательного стенда контролировались следующие режимные параметры проведения огневых пусков: давление в баке керосина; перепад давления на дроссельном расходомере магистрали кислорода; давление в магистрали подачи керосина; давление в камере сгорания модельного ЖРД; температура в магистрали подачи кислорода; температура охлаждающей воды на входе в камеру сгорания; температура охлаждающей воды на выходе из камеры сгорания; расход керосина.

Анализ измерительной информации, полученной при помощи штатных измерительных средств испытательного стенда и при помощи разработанного программно-аппаратного комплекса позволил выявить очевидную взаимосвязь между параметрами работы модельного ЖРД и характеристиками регистрируемых вблизи от ЖРД электрического и магнитного полей. Например, на рисунке 5 приведен сигнал (2), зарегистрированный при помощи преобразователя переменного магнитного поля, синхронизированный с профилем изменения давления в камере сгорания ЖРД (1). Отчетливо видны характерные фазы работы модельного ЖРД: открытие клапана окислителя, включение и выключение системы воспламенения, постепенное повышение давления в камере сгорания и выдерживание его в течение примерно 10 секунд, закрытие клапана подачи горючего. После этого амплитуда сигнала ступенями уменьшается. Это связано с продувкой камеры сгорания азотом в течение 3 с и наличием избыточного давления в КС (~4 ати). Наибольший сигнал регистрируется преобразователем переменного магнитного поля при работе электроисковой системы воспламенения.

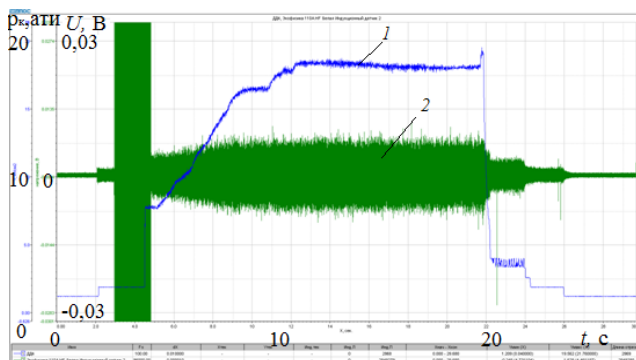


Рис. 5 — Профиль изменения давления в камере сгорания ЖРД (1) и осциллограмма сигнала с преобразователя переменного магнитного поля (2).

На рисунке 5 видна взаимосвязь постепенного роста давления в камере сгорания и увеличения амплитуды колебаний напряженности магнитного поля.



При проведении корреляционного анализа установлена близкая к линейной (коэффициент корреляции 0,863) зависимость напряженности магнитного поля и электрического поля вблизи от критического сечения от давления в камере сгорания модельного ЖРД, (рисунок 6).

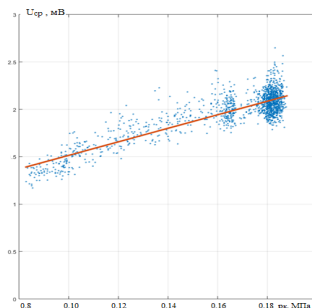


Рис. 6 – Зависимость осредненного значения сигнала преобразователя переменного магнитного поля от давления в камере сгорания.

Регистрация и последующие обработка и анализ спектрального состава излучения факела испытываемого ЖРД до начала и во время разгара вкладыша критического сечения позволили зафиксировать появление спектральных линий, связанных с излучением выносимых из газового тракта двигателя материалов. Оработана методика измерений и выполнения корреляционного и спектрального анализа электрофизических характеристик продуктов сгорания керосина и кислорода, зарегистрированных в процессе огневых стендовых испытаний модельного ЖРД с помощью первичных измерительных преобразователей электрического и магнитного поля. В результате проведения измерений и математической обработки получены зависимости напряженностей электрического и магнитного поля от времени, от частоты и от давления в камере сгорания. Результаты спектрального анализа экспериментальных данных и полученные корреляционные зависимости электрических и магнитных полей от технологических параметров подтверждают возможность применения электромагнитных средств и методов контроля в системах технической диагностики ЖРД. Установленная зависимость напряженности магнитного поля и электрического поля от давления в камере сгорания модельного ЖРД, близка к линейной и может быть использована в качестве диагностического признака при разработке быстросрабатывающей системы аварийной защиты ЖРД.

#### Список литературы:

1. Гришин, С.А. Система бесконтактного контроля состояния элементов конструкции энергетических и силовых установок. / С.А. Гришин, В.В. Климентовский, Н.С. Недвецкий, В.А. Селянтьев, К.Ю. Желудевич, А.Н. Буй // Всероссийская научно-техническая конференция АВИАДВИГАТЕЛИ XXI ВЕКА. Москва 24-27 ноября 2015 г. Сборник тезисов докладов. – М.: ЦИАМ, 2015. – 1133 с. С. 926-927.

УДК 621.382

# БАЗОВЫЙ СТРУКТУРНЫЙ КРИСТАЛЛ МН2ХА010 – СРЕДСТВО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОКАНАЛЬНЫХ АНАЛОГОВЫХ МИКРОСХЕМ ДЛЯ ЖЕСТКИХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Дворников О. В., Дятлов В. Л.

ОАО "МНИПИ", Минск

Для создания многоканальных аналоговых интегральных микросхем (ИС) разработан базовый структурный кристалл (БСК) МН2ХА010, который содержит функциональные ячейки с аналоговыми компонентами и базовые ячейки с несоединенными интегральными элементами:  $n$ - $p$ - $n$  и  $p$ - $n$ - $p$ -транзисторами, полевыми транзисторами с  $p$ - $n$ -переходом и каналом  $p$ -типа ( $p$ -ПТП), полупроводниковыми резисторами и конденсаторами со структурой металл-диэлектрик-полупроводник.

Упрощенная структурная схема БСК приведена на рис. 1.

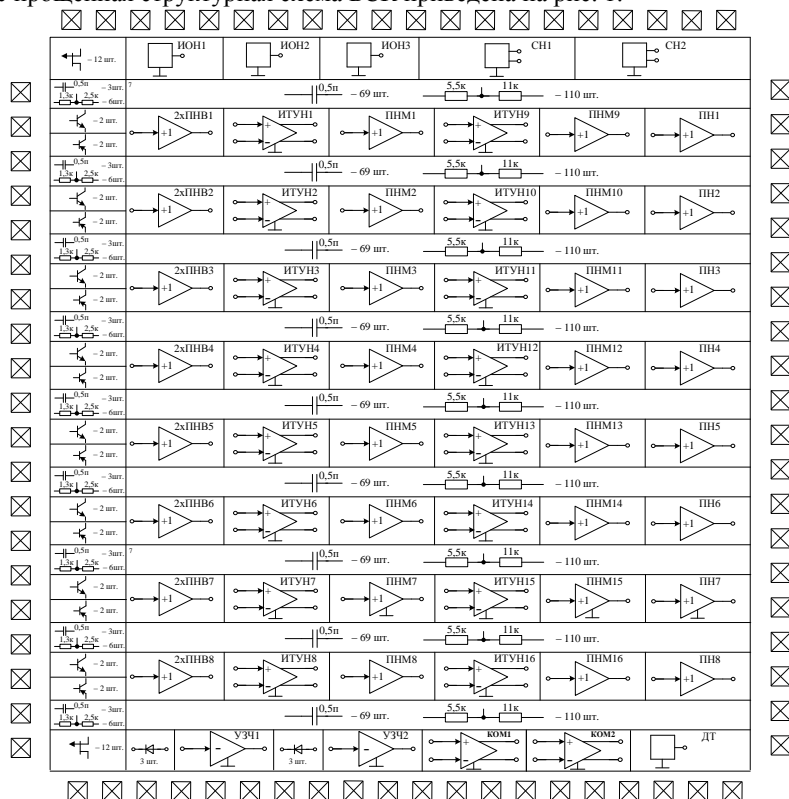


Рис. 1. - Структурная схема БСК МН2ХА010



БСК состоит из 8-ми одинаковых усилительных каналов и двух дополнительных каналов и включает следующие функциональные ячейки:

- 2хПНВ1-2хПНВ8 – сдвоенный повторитель напряжения входной (8 шт.) с головным р-ПТП и входным током в нормальных условиях не превышающим 0,1 нА;

- ПНМ1-ПНМ16 – повторитель напряжения маломощный (16 шт.);

- ИТУН1-ИТУН16 – источник тока, управляемый напряжением. Последовательное соединение ИТУН и ПНМ образует операционный усилитель (ОУ), который характеризуется напряжением смещения нуля - 5 мВ; входным током - 10 мкА, коэффициентом усиления напряжения - 60 дБ, полосой пропускания при десятикратном усилении - 20 МГц;

- ПН1-ПН8 – повторитель напряжения выходной (8 шт.), который рекомендуется применять при работе с низкоомной нагрузкой  $R_L > 100 \text{ Ом}$ ;

- УЗЧ1, УЗЧ2 – усилитель зарядочувствительный (2 шт.) с головным р-ПТП и максимальным коэффициентом преобразования входного заряда в выходное напряжение - 1 В/пКл;

- КОМ1, КОМ2 – компаратор (2 шт.) с входным током - 5 мкА, чувствительностью - 10 мВ, задержкой распространения - 5 нс;

- ИОН1-ИОН3 – источник опорного напряжения величиной 1,22 В (3 шт.);

- СН1, СН2 – стабилизатор напряжения величиной  $\pm 3 \text{ В}$  (2 шт.);

- ДТ – датчик температуры, для которого температурный коэффициент выходного тока - 2,0 мкА/°С.

Всего на БСК имеется несоединенных резисторов – 2056 шт., конденсаторов – 784 шт., транзисторов – 56 шт., защитных диодов – 6 шт., контактных площадок – 80 шт.

Наличие в БСК МН2ХА010 достаточно большого количества заранее сформированных активных компонентов является основой для проектирования радиационно-стойких аналоговых процессоров и преобразователей сигналов различного назначения, в том числе:

- операционных, мультидифференциальных и инструментальных усилителей основных модификаций,

- малошумящих и зарядочувствительных усилителей,

- активных RC-фильтров,

- мостовых измерительных схем,

- приемников дифференциальных линий связи,

- управляемых усилителей,

- амплитудных детекторов,

- логических элементов с токовым преобразованием сигналов,

- аналоговых ключей и т.д.

Электрические параметры аналоговых компонентов БСК нормированы в диапазоне температур от минус 60°С до 125°С и приведены в табл.1.

Таблица 1. Электрические параметры БСК при напряжении питания  $\pm(5,0 \pm 0,5)$  В

Наименование параметра, единица измерения, режим измерения	Обозначение	Норма параметра		Температура среды, °С
		не менее	не более	
1	2	3	4	5
Операционный усилитель, состоящий из ИТУН и повторителя напряжения маломощного				
1 Входной ток, мкА	II	-10,0	10,0	25±10
		-15,0	15,0	-60; 125
2 Напряжение смещения нуля, мВ, при RL=2 кОм	UIO	-5,0	5,0	25±10
		-10,0	10,0	-60; 125
3 Ток потребления, мА	ICC	–	8,0	25±10
			12,0	-60; 125
4 Коэффициент усиления напряжения, дБ, при RL=2 кОм	AU	60	–	25±10
		55		-60; 125
5 Максимальное выходное напряжение, В, при RL=2 кОм	UOMAX	-2,5	2,5	25±10
6 Полоса пропускания, МГц, при AU = -10, RL=2 кОм, CL=14 пФ	BW	20	–	25±10
7 Максимальная скорость нарастания выходного напряжения, В/мкс, при AU = -10, RL=2 кОм, CL=14 пФ	SR	100,0	–	25±10
8 Коэффициент ослабления синфазных входных напряжений, дБ, при RL=2 кОм	KCMR	70,0		25±10
9 Максимальное синфазное входное напряжение, В	UICMMAX	-2,0	2,0	25±10
Компаратор				
10 Входной ток, мкА	II	–	5,0	25±10
			10,0	-60; 125
11 Ток потребления, мА	ICC	–	8,0	25±10
			10,0	-60; 125
12 Максимальный выходной ток, мА	IOMAX	3,5	–	25±10
		3,0		-60; 125
13 Чувствительность, мВ, при RL=100 Ом	S	–	10,0	25±10
			15,0	-60; 125
14 Время задержки распространения при включении, нс, при RL=100 Ом	tPHL	–	5,0	25±10
15 Время задержки распространения при выключении, нс, при RL=100 Ом	tPLH	–	5,0	25±10
16 Время нарастания выходного напряжения от уровня 0,1 до уровня 0,9, нс, при RL=100 Ом	tR	–	5,0	25±10
17 Время спада выходного напряжения от уровня 0,9 до уровня 0,1, нс, при RL=100 Ом	tF	–	5,0	25±10
18 Максимальное синфазное входное напряжение, В	UICMMAX	-2,0	2,0	25±10





Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
Повторитель напряжения входной				
19 Входной ток, нА	II	–	0,1 100,0	25±10 –60; 125
20 Выходное напряжение покоя, мВ, при RL=100 кОм	UOO	–50,0 –150,0	50,0 150,0	25±10 –60; 125
21 Коэффициент усиления напряжения при RL=100 кОм	AU	0,9	–	25±10 –60; 125
Усилитель зарядочувствительный				
22 Ток потребления, мА	ICC	–	4,0 6,0	25±10 –60; 125
23 Выходное напряжение покоя, В, при сопротивлении резистора обратной связи RF=10 МОм	UOO	–0,2 – 1,0	0,2 1, 0	25±10 –60; 125
24 Амплитуда импульса выходного напряжения, В, при RF=10 МОм, входном заряде QINP=10 пКл, емкости соединенной со входом (CINP) CINP=100 пФ	UOA	0,8	–	25±10
Источник опорного напряжения				
25 Ток потребления, мА	ICC	–	3,0 4,0	25±10 –60; 125
26 Выходное напряжение, В, при RL=100 Ом	UO	1,15 1,1	1,35 1,4	25±10 –60; 125
Стабилизатор напряжения				
27 Ток потребления, мА	ICC	–	9,0 12,0	25±10 –60; 125
28 Выходное напряжение, В, при RL=600 Ом	UO	6,0 5,8	6,6 6,8	25±10 –60; 125
Датчик температуры				
29 Ток потребления, мА	ICC		8,0 10,0	25±10 –60; 125
30 Выходной ток, мкА, при RL=3 кОм	IOO	–330,0	330,0	25±10
31 Температурный коэффициент выходного тока, мкА/°С, при RL=3 кОм	αI	2,0	–	–60; 125

Исследование влияния гамма-излучения  $^{60}\text{Co}$  со средней энергией 1,25 МэВ на статические параметры аналоговых компонентов МН2ХА010: ОУ, компаратора, УЗЧ, ИОН, СН, - выявило, что примененные при разработке БСК новые конструктивно-схемотехнические решения, учитывающие особенности радиационного изменения параметров комплементарных биполярных транзисторов, обеспечивают незначительное изменение статических параметров при поглощенной дозе гамма-излучения до  $DG = 2$  Мрад.

Основные результаты радиационных исследований приведены на рисунках 2-7.

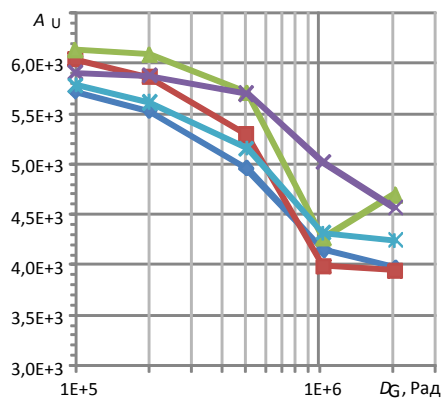


Рис. 2 - Зависимость коэффициента усиления напряжения ОУ от поглощенной дозы гамма-излучения

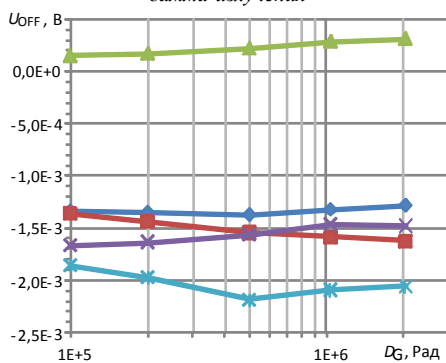


Рис. 3 - Зависимость напряжения смещения нуля ОУ от поглощенной дозы гамма-излучения

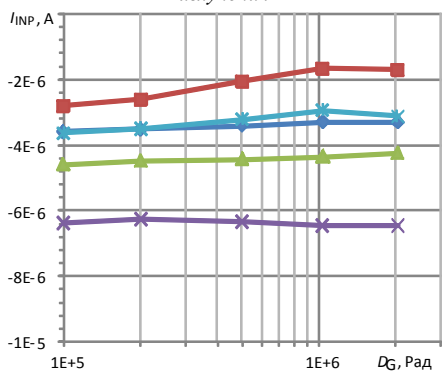


Рис. 4 - Зависимость входного тока ОУ от поглощенной дозы гамма-излучения

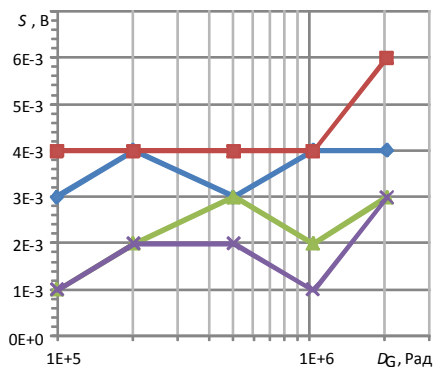


Рис. 5 - Зависимость чувствительности компаратора  $S$  от поглощенной дозы гамма-излучения

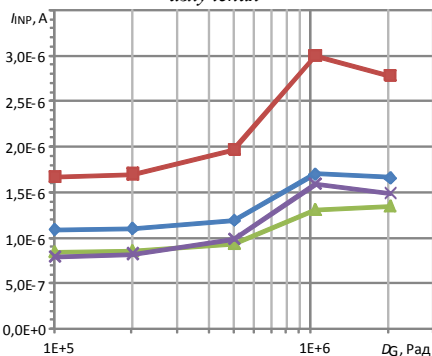


Рис. 6 - Зависимость входного тока компаратора от поглощенной дозы гамма-излучения

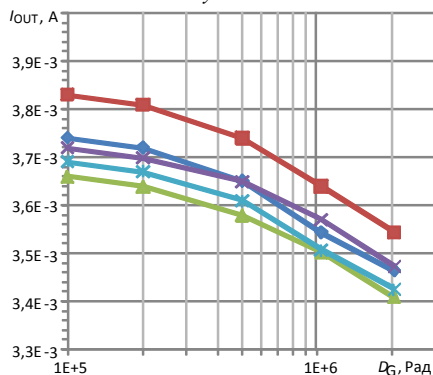


Рис. 7 - Зависимость выходного тока компаратора от поглощенной дозы гамма-излучения

УДК 621.382

## КОМПЛЕКТ МНОГОКАНАЛЬНЫХ АНАЛОГОВЫХ МИКРОСХЕМ НА ОСНОВЕ БАЗОВОГО СТРУКТУРНОГО КРИСТАЛЛА МН2ХА010

Дворников О.В., Дятлов В.Л.

ОАО "МНИПИ", Минск

К настоящему времени на основе базового структурного кристалла (БСК) МН2ХА010 разработаны и изготовлены опытные образцы трех интегральных микросхем (ИС): МН2ХА010-02, МН2ХА010-03, МН2ХА010-04.

Схемы электрические принципиальные одного канала разработанных многоканальных ИС показаны на рис. 1-3, а на рис. 4-9 приведены электрические схемы используемых аналоговых компонентов БСК.

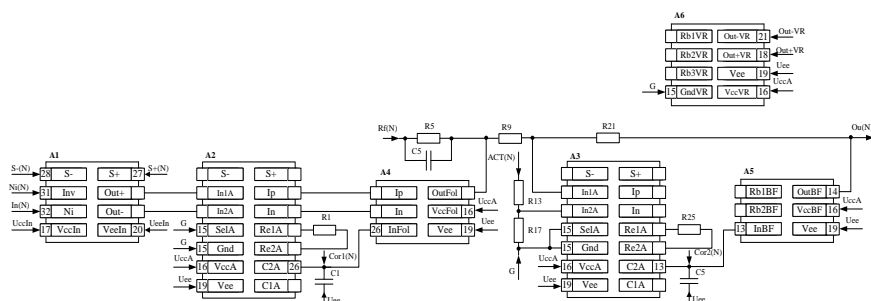


Рис. 1 - Схема одного канала микросхемы мн2ха010-02

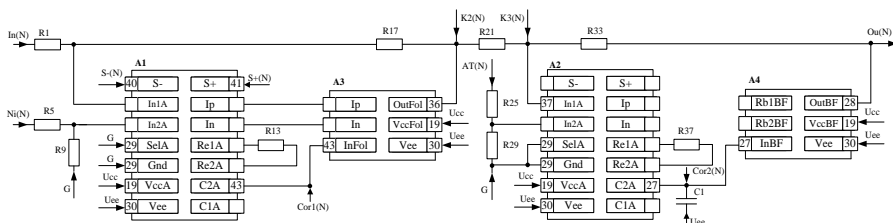
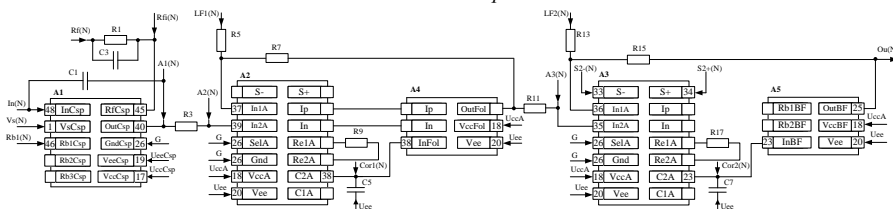


Рис. 2 - Схема одного канала микросхемы мн2ха010-03



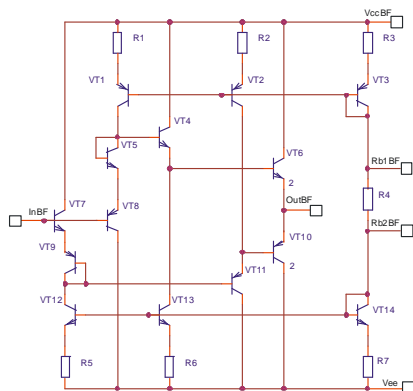


Рис. 4 - Схема повторителя напряжения

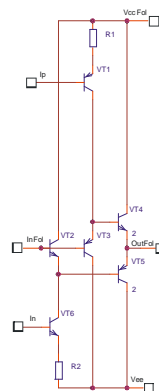


Рис. 5 - Схема повторителя напряжения малоомощного

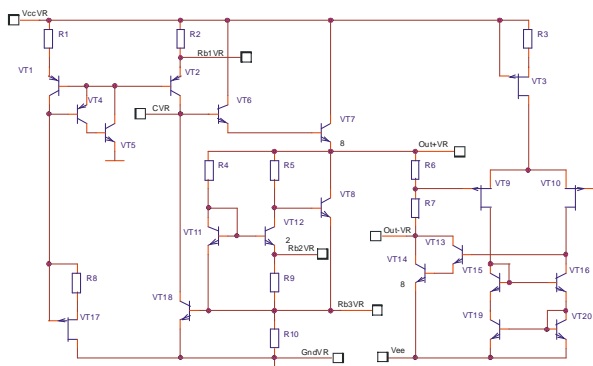


Рис. 6 - Схема стабилизатора напряжения

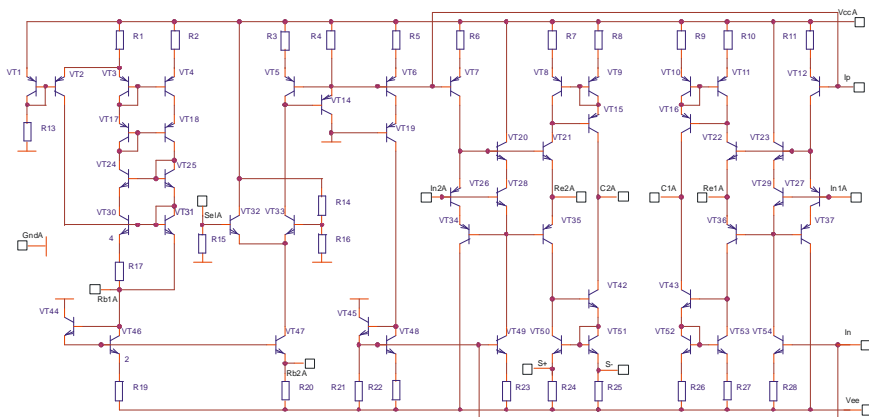


Рис. 7 - Схема источника тока, управляемого напряжением

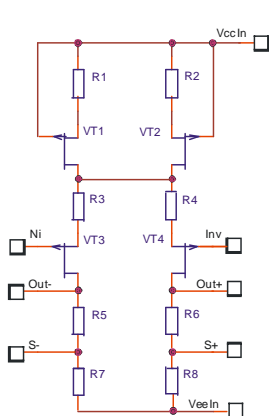


Рис. 8 - Схема усилителя на-  
пряжения входного

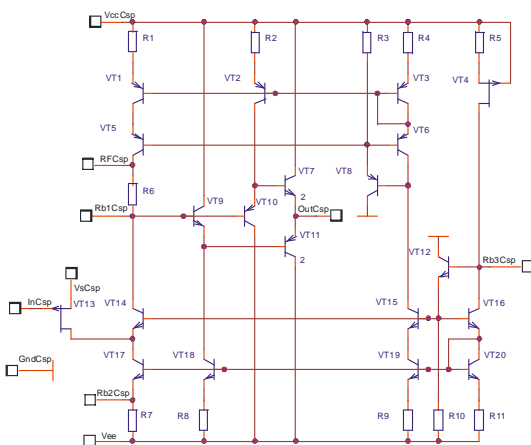


Рис. 9 - Схема усилителя зарядочувствительного

Микросхема мн2ха010-02 представляет собой четырехканальный трансимпедансный усилитель для фотоприемников и предназначена для обработки сигналов высокоомного источника с внутренним сопротивлением  $RS = 1,6 \text{ МОм}$ , внутренней емкостью  $CS = 60 \text{ пФ}$  и источника опорного сигнала с внутренним сопротивлением  $- 1 \text{ кОм}$ .



Микросхема мн2ха010-02 преобразует ток, поступающий на ее вход, в напряжение, которое усиливается и фильтруется. Величина коэффициента преобразования входного тока в выходное напряжение и верхней граничной частоты полосы пропускания каждого канала определяются внешними элементами.

Каждый канал микросхемы мн2ха010-02 включает усилитель напряжения входной с головными полевыми транзисторами с р-п-переходом (рис. 8), и два операционных усилителя (ОУ), состоящих из источников тока, управляемых напряжением (рис. 7) и повторителей напряжения (рис. 4, 5).

Кроме того, в микросхеме предусмотрен стабилизатор напряжения (рис. 6), выходы которого могут быть соединены с шинами питания входных усилителей для стабилизации их режима работы.

Микросхема мн2ха010-03 представляет собой четырехканальный усилитель напряжения для фотоприемников и предназначена для обработки сигналов низкоомного источника с внутренним сопротивлением около 100 Ом, внутренней емкостью около 60 пФ и источника опорного сигнала с внутренним сопротивлением - 1 кОм.

Микросхема мн2ха010-03 усиливает дифференциальный сигнал между ее входами и осуществляет его фильтрацию.

Каждый канал Ис состоит из двух ОУ идентичных примененным в мн2ха010-02. На ОУ с маломощным выходным каскадом (рис. 5) реализован усилитель дифференциального напряжения, а на ОУ с мощным выходным каскадом (рис. 4) - инвертирующий усилитель напряжения, допускающий изменение постоянного уровня напряжения на выходе с помощью опорного сигнала.

Микросхема мн2ха010-04 является двухканальным аналоговым интерфейсом пьезоэлектрического датчика. Микросхема преобразует заряд, поступающий на ее вход от пьезоэлектрического датчика, в напряжение, которое усиливается и фильтруется последующими каскадами. Величина коэффициента преобразования входного заряда в выходное напряжение каждого канала и полосы пропускания определяются внешними элементами.

Каждый канал микросхемы включает усилитель зарядочувствительный (рис. 9) и два ОУ, на которых реализован полосовой фильтр с дополнительным усилением напряжения.

Полупроводниковые пластины с кристаллами БСК были изготовлены на ОАО «ИНТЕГРАЛ». Измерения микросхем выполнялись с помощью автоматизированного стенда, управление которым осуществлялось с помощью разработанного в среде «Agilent VEE» специализированного программного обеспечения. Основные результаты измерений ИС приведены в таблицах 1-3 и показаны на рис. 10-12.

Таблица 1. Основные результаты измерений микросхемы МН2ХА010-02 при напряжении питания  $\pm 6,0$  В и температуре  $25 \pm 3^\circ\text{C}$

Наименование параметра, режим измерения, единица измерения	Результаты измерений
Ток потребления от положительного источника питания (ICC+), мА	от 64 до 78
Ток потребления от отрицательного источника питания (IEE-), мА	от 58 до 68
Максимальное выходное напряжение (UOMAX) при сопротивлении нагрузки $R_L = 600$ Ом, В	от $\pm 3,75$ до $\pm 4,2$
Коэффициент преобразования (KIU), мВ/нА	от 210 до 245
Максимальное напряжение опорного сигнала (UACT), В	от $\pm 3,75$ до $\pm 4,2$

Таблица 2. Основные результаты микросхемы МН2ХА010-03 при напряжении питания  $\pm 6,0$  В и температуре  $25 \pm 3^\circ\text{C}$

Наименование параметра, режим измерения, единица измерения	Результаты измерений
Ток потребления от положительного источника питания (ICC+), мА	от 64 до 70
Ток потребления от отрицательного источника питания (IEE-), мА	от 61 до 67
Максимальное выходное напряжение (UOMAX) при $R_L = 1$ кОм, В	от $\pm 4,3$ до $\pm 4,4$
Коэффициент усиления напряжения (AU) при $R_L = 1$ кОм	от 2500 до 2700
Максимальное напряжение опорного сигнала (UAT), В	от $\pm 4,3$ до $\pm 4,6$

Таблица 3. Основные результаты микросхемы МН2ХА010-04 при напряжении питания  $\pm 5,0$  В и температуре  $25 \pm 3^\circ\text{C}$

Наименование параметра, режим измерения, единица измерения	Результаты измерений
Ток потребления от положительного источника питания (ICC+), мА	от 22 до 29
Ток потребления от отрицательного источника питания (IEE-), мА	от 22 до 29
Максимальный выходной импульс напряжения, В	от $\pm 2,8$ до $\pm 3,25$
Коэффициент преобразования входного заряда в выходное напряжение, при входном заряде $Q_{INP}=100$ фК и емкости соединенной с входом $C_{INP}=100$ пФ, (KQU) В/пКл	от 7,7 до 9,8



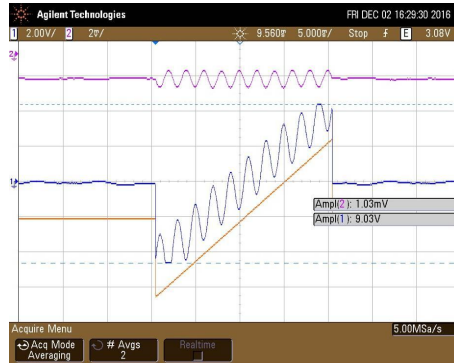


Рис.10 - Осциллограммы входного и выходного напряжения MH2XA010-03 при определении  $U_{OMAX}$  и  $U_{AT}$  при  $R_L=1$  кОм. Вверху – вход, в середине – выход, внизу - опорный сигнал

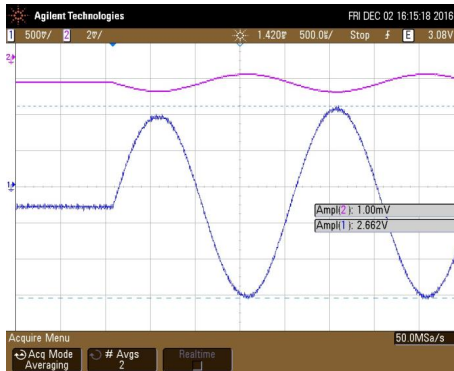


Рис. 11 - Осциллограммы входного и выходного напряжения MH2XA010-03 при определении  $A_U$  при  $R_L=1$  кОм. Вверху – вход, внизу – выход

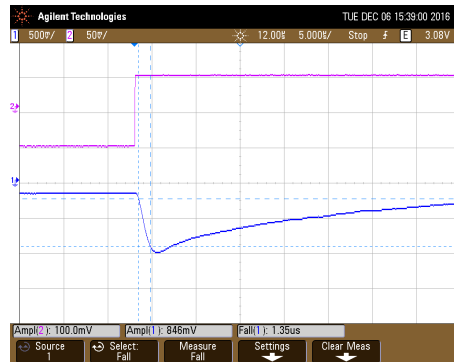


Рис. 12 - Осциллограммы входного и выходного напряжения MH2XA010-04 при определении  $K_{QU}$  и оценке быстродействия при  $Q_{INP} = 100$  Кл. Вверху – вход, внизу - выход

УДК 621.317

## АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ И ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

**Заневский Д.В., Шостак С.А.***Военная академия Республики Беларусь, Минск*

В учреждении образования «Военная академия Республики Беларусь» курсанты всех инженерных специальностей изучают: электронные вольтметры (аналоговые и цифровые), электронно-счетные частотомеры, осциллографы (одно- и двухканальные), практически осваивают методы измерений тока, напряжения, сопротивления, частоты, параметров радиотехнических сигналов (осциллографические измерения).

Традиционно, для обучения различным методам и способам измерений, а также для изучения измерительной техники в области электро- и радиоизмерений, используется система «измерительный генератор – измерительный прибор». Учитывая, что изучаемые измерительные приборы и преобразователи имеют широкий динамический диапазон измерений уровня сигнала, широкий частотный диапазон, а также набор форм и параметров измеряемых сигналов, количество измерительных генераторов, необходимых для обеспечения учебного процесса, также становится значительным. Так, например, на кафедре радиотехники для обеспечения учебного процесса ранее использовались следующие источники измеряемых сигналов:

генераторы синусоидальных сигналов ГЗ-102, ГЗ-106, ГЗ-112;

генераторы импульсных сигналов Г5-60, Г5-63;

генераторы СВЧ Г4-78 – Г4-82;

генератор функциональный различных сигналов Г6-46;

самодельная установка для формирования сигналов «однополупериодное выпрямление», «двухполупериодное выпрямление», амплитудно-модулированного сигнала (для оценки помехозащищенности различных аналого-цифровых преобразователей);

универсальный источник питания.

Далее предполагалось два варианта проведения лабораторных работ: без смены рабочих мест и с постоянной сменой оборудования для проведения измерений.

В первом варианте организуется по одному рабочему месту на каждую лабораторную работу. В этом случае требуется меньше измерительной аппаратуры, но методика проведения лабораторных работ значительно усложняется в части проведения коллоквиума и контроля процесса выполнения работ. При этом курс лабораторных работ проводится после завершения всего теоретического курса, что в методическом плане является не совсем правильным.

Второй вариант предполагает выполнение всеми обучаемыми одной лабораторной работы, что является в методическом плане более правильным (рассмотренный теоретический материал закрепляется практическими изме-



ниями). Однако значительно возрастает трудоемкость обеспечения лабораторных работ.

Очевидным выходом из такой ситуации может быть закупка современных генераторов, обеспечивающих весь спектр измеряемых сигналов. Однако при этом значительно возрастает время, требуемое обучаемому на освоение такого сложного устройства, и настройка его для генерации нужного сигнала. При этом время на проведение измерений пропорционально сокращается.

Кроме того, подобная традиционная система обучения, основанная на системе «измерительный генератор – измерительный прибор», обладает существенным недостатком: обучаемый управляет измерительным генератором и знает значение физической величины, которую ему необходимо измерить. Это значительно снижает эффективность обучения, так как в протокол измерений можно занести известное значение физической величины без проведения измерений.

Таким образом, для исключения такой возможности необходимо генератор вывести из управления обучаемым, то есть между измерительным генератором и измерительным прибором установить компьютер, управляющий процессом установки параметров генерации и, заодно, ходом выполнения лабораторной работы.

На кафедре радиотехники разработан аппаратно-программный комплекс для проведения лабораторных работ, в котором аналоговые генераторы заменены одним цифровым генератором сигналов произвольной формы В-332, управляемым с персонального компьютера.

Разработанный аппаратно-программный комплекс обладает достаточной функциональностью. Он предусматривает объединение 15 локальных рабочих мест в сеть с сервером сети, расположенном на рабочем месте преподавателя.

Такая сеть позволяет организовать полноценные системы тестирования, проверки отчетов по лабораторным работам и ведения журнала лабораторных работ, систему мониторинга хода выполнения работы, обучающую систему (рисунок 1).

На локальном рабочем месте располагается персональный компьютер, цифровой генератор сигналов произвольной формы В-332 и универсальный коммутационный блок, имеющий как коаксиальные, так и линейные входы. Через коммутационный блок происходит подключение измерительных приборов к цифровому генератору.

Цифровой генератор сигналов произвольной формы В-332, управляемый с персонального компьютера является основным элементом локального рабочего места.

Внешний вид и структурная схема цифрового генератора сигналов приведены на рисунках 2 и 3 соответственно.

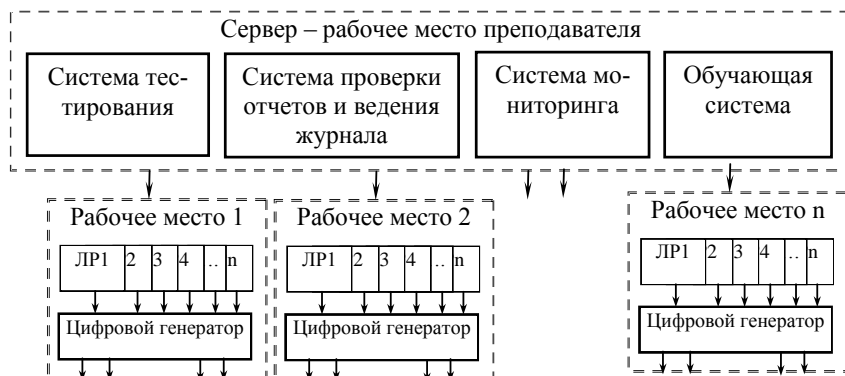


Рис. 1 – Схема аппаратно-программного комплекса

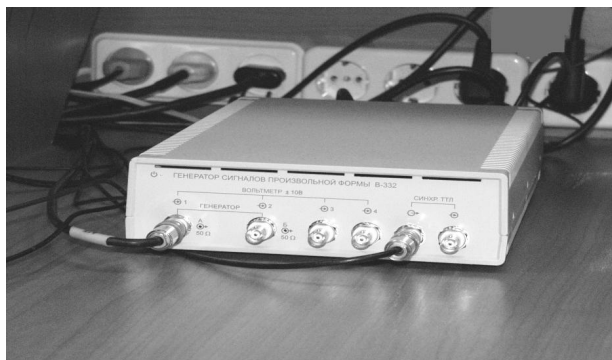


Рис. 2 – Внешний вид генератора В-332

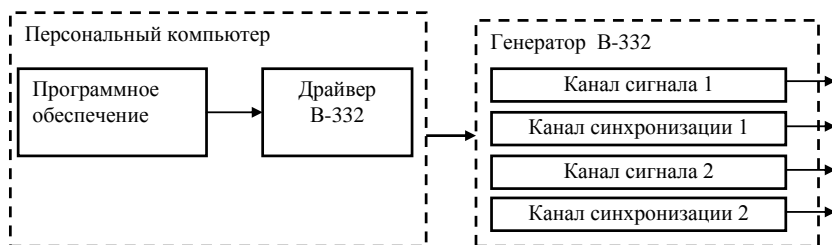


Рис. 3 – Структурная схема генератора В-332

Два канала генерации измерительных сигналов цифрового генератора могут работать как автономно, так и совместно. Совместная работа их требуется, например, для генерации двух синусоид с регулируемым между ними сдвигом



фазы или для генерации амплитудно-модулированного сигнала на втором канале выдается низкочастотный модулирующий сигнал.

Таким образом, цифровой генератор обеспечивает:

- широкий спектр измеряемых параметров (амплитудно-модулированные сигналы, синусоидальные сигналы с управляемым сдвигом фаз, импульсные сигналы с управляемыми значениями длительности фронтов и спадов и т. д.);
- значительную экономию аппаратных средств, так как заменяет множество аналоговых генераторов;
- высокую надежность. За 3,5 года работы отказов не было. Кроме того, исключаются поломки переключателей, кнопок, других органов управления стирание надписей над ними, ввиду отсутствия таковых;
- уменьшение численного состава бригады по выполнению лабораторной работы до 1-2 человек;
- исключение потерь учебного времени на установку заданных параметров и соответственно увеличение времени, отводимого на проведение измерений;
- обучаемые не знают действительных значений измеряемых сигналов и в протоколы измерений заносятся результаты, полученные в процессе измерений;
- расширилась функциональность рабочих мест. На каждом рабочем месте можно проводить любые лабораторные работы. Нет необходимости следить за составлением расписания лабораторных работ.

Цифровой генератор сигналов в ПЭВМ реализуется в виде вычислительного класса, свойствами которого являются параметры и форма сигнала, который необходимо генерировать по двум каналам сигнала и соответствующим им каналам синхронизации.

Кроме управления генератором в данной системе персональный компьютер должен управлять процессом выполнения лабораторной работы обучаемым. Функции программы управления ходом лабораторной работы:

«захватить» генератор, чтобы другая лабораторная работа не вмешивалась в его работу;

вести регистрационные данные обучаемых (фамилии, группа);

выдать на экран задание по текущему пункту лабораторной работы и таблицу протокола проведения измерений (рисунок 4);

с привязкой к регистрационным данным с помощью генератора квазислучайных чисел сгенерировать вариант параметров генерируемого сигнала;

Пункт 4. Измерение длительностей фронта и среза импульса



	Длительность фронта	Длительность среза	Относительная погрешность, %	Абсолютная погрешность измерения фронта	Абсолютная погрешность измерения среза
<input type="button" value="Включить сигнал"/>	23 мс		10		
	Длительность фронта	Длительность среза	Относительная погрешность, %	Абсолютная погрешность измерения фронта	Абсолютная погрешность измерения среза
<input type="button" value="Включить сигнал"/>	12 мкс		10		
					<input type="button" value="Выполнение"/>

Рис. 4 – Вид протокола измерений по пункту

по нажатию кнопки «включить сигнал» ввести параметры согласно варианта в цифровой генератор и включить его генерацию;

сохранить параметры сигнала в оперативной памяти и рассчитать значения и допуска, которые соответствуют правильным результатам измерений или расчетов погрешностей;

при вводе результатов измерений проверять их правильность. Если результат в пределах допустимых значений, окрашивать ячейку в зеленый свет, если нет – в красный, если вводятся не цифры, то белый.

отслеживать факт подбора, перебора значений для получения «зеленого» окна, предупреждать обучаемого о недопустимости подбора, при необходимости обнулять результаты по пункту. При обнаружении факта подбора повторно, обнулять результаты по всей лабораторной работе;

при выполнении всех измерений по пункту, зачитывать выполнение пункта работы;

при выполнении всех пунктов работы (зачтены все пункты) автоматически формировать отчет в Excel;

сохранять промежуточные результаты при выходе из программы, если все пункты еще не выполнены;

автоматически восстанавливать правильно внесенные данные при повторном входе в программу под теми же регистрационными данными.

Кроме программно-аппаратной системы обучения, разработана также экзаменационная система. Она осуществляет контроль знаний и навыков обучаемых по проведению практических измерений. Ее функциями являются:

выбор вида измерения;

генерация в случайном порядке значений параметров сигналов;

проверка введенных результатов измерений и выставление оценки;

индикацию правильных значений измеряемых параметров и их погрешностей.

Внешний вид программы приведен на рисунке 5.

НОМЕР ПРАКТИЧЕСКОГО ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО ВОПРОСА 28. Измерить С1-65А параметры импульсного сигнала

Вопрос №26 Измерить с помощью осциллографа С1-65А параметры импульсного сигнала

Результат измерения амплитуды, В	Абсолютная погрешность измерения, В	Результат измерения периода	Единица измерения	Абсолютная погрешность измерения	Единица измерения	Результат измерения длительности, мкс	Единица измерения	Абсолютная погрешность измерения	Единица измерения
0,11	0,005	37,6	мс	1,88	мс	9,4	мкс	0,47	мкс

Правильные значения результатов измерения

Результат измерения амплитуды, В	Абсолютная погрешность измерения, В	Результат измерения периода	Абсолютная погрешность измерения	Результат измерения длительности, мкс	Абсолютная погрешность измерения
0,1	0,005	37,6 мс	1,88 мс	9,4 мс	0,47 мс

Ваша оценка **5**

Рис. 5 – Экзаменационная система

Описанные выше элементы аппаратно-программного комплекса размещены на локальном рабочем месте обучаемого.

Основой системы проверки отчетов и ведения журнала выполнения лабораторных работ является программа автоматической проверки отчетов. После выполнения работы сформированные отчеты на рабочих местах помещаются на рабочие столы. По команде с рабочего места преподавателя они перемещаются с рабочих мест на сервер преподавателя, где и запускается программа их проверки. Программа проверки производит:



открытие документа Excel, считывание регистрационных данных обучаемых и номера лабораторной работы;

по регистрационным данным обучаемых и номеру лабораторной работы производится генерация номеров вариантов пунктов;

производится расчет значений и допусков, соответствующих каждой ячейке таблицы;

если значения в пределах допуска, ячейка становится зеленой, в обратном случае – красной (рисунок 6).

2. Измерение частоты синусоидального и импульсного сигналов									
Вид сигнала	Частота	единица измер.	Время измерен.	Погрешн. дискр.	множитель	Относит. погр.	множитель	Абсолют. погр.	единица измер.
Синусоидальный	97,46	кГц	1 с	1,026	х0,00001	6,026	х0,00001	0,0058	кГц
Импульсный	14,75	кГц	10 с	0,67	х0,00001	5,67	х0,00001	0,000836	кГц

2. Измерение частоты синусоидального и импульсного сигналов									
Вид сигнала	Частота	единица измер.	Время измерен.	Погрешн. дискр.	множитель	Относит. погр.	множитель	Абсолют. погр.	единица измер.
Синусоидальный	262,5	кГц	1 с	0,38	х0,00001	5,38	х0,00001	0,0141	кГц
Импульсный	31,24	кГц	10 с	0,32	х0,00001	5,32	х0,00001	0,00166	кГц

Рис. 6 – Результат проверки пункта 2 отчета

Система тестирования состоит из трех программ: редактора тестов, сервера тестов и пользовательской программы тестирования. Первые две программы располагаются на рабочем месте преподавателя, а пользовательская программа – на рабочих местах слушателей. Распределение вопросов по лабораторным работам, порядок выбора их, ограничение времени тестирования и критерии оценки задаются в редакторе тестов. Сервер тестов служит для выбора теста по номеру лабораторной работы, раздачи вопросов на рабочие места и выставления оценок за тест. Результаты тестирования сохраняются на сервере и заносятся в журнал выполнения лабораторных работ.

Система мониторинга хода выполнения лабораторных работ выводит на экран преподавателю экраны компьютеров обучаемых и позволяет контролировать ход выполнения ими лабораторной работы. При необходимости можно вмешаться в работу любого компьютера, а если надо, подключить все мониторы к одному рабочему месту и показать, как необходимо выполнять тот или иной пункт лабораторной работы.

Обучающая система включает учебно-методический комплекс, набор тренажеров измерительных приборов, обучающих программ и видеоматериалов по проведению наиболее сложных измерений. Она взаимодействует с рабочими местами через систему мониторинга, вывода изображение рабочего стола преподавателя на мониторы рабочих мест обучаемых.

Таким образом, разработанный программно-аппаратный комплекс значительно облегчает работу преподавателя, повышает эффективность обучения электро- и радиоизмерениям, повышает мотивацию обучаемых и соответствует современным требованиям в области формирования профессиональных компетенций.

УДК 623.454.862

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ РАДИАЦИИ ДЛЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ

**Кожемякин В.А.<sup>1</sup>, Полищук В.П.<sup>2</sup>***<sup>1</sup> Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ», <sup>2</sup> Военная академия Республики Беларусь, Минск*

Широкое распространение малоразмерных беспилотных систем в качестве средств мониторинга объектов окружающей среды стимулировало нарастающий интерес к бортовым малогабаритным устройствам детектирования гамма-излучения. Цель их применения в составе малоразмерных и миниатюрных летательных аппаратов – обеспечение дистанционного радиационного мониторинга в зонах, прилегающих к радиационно-опасным и радиационно-чувствительным объектам [1].

Для использования в составе таких летательных аппаратов предлагается линейка интеллектуальных блоков детектирования (датчиков) гамма-излучения, способная выполнять следующие функции в зависимости от их назначения и решаемых задач [2, 3]:

- обнаруживать источники радиоактивного загрязнения;
- измерять уровни радиации на высоте полета;
- приводить измеренное значение мощности дозы на высоте полета к уровню 1 метр (при наличии информации о высоте полета над поверхностью объекта);
- осуществлять идентификацию радионуклидного состава загрязнения по гамма-спектрам;
- оценивать плотность поверхностного загрязнения гамма-излучающими радионуклидами.

В таблицах 1-2 приведены основные технические характеристики интеллектуальных блоков детектирования гамма-излучения, из числа которых может быть выбран потребителем приемлемый вариант в соответствии с допустимой массой полезной нагрузки и целевым применением. Во всех типах блоков детектирования осуществляется полная обработка информации до получения измеряемой величины (мощность дозы, спектр гамма-излучения), поступающей по интерфейсу связи на бортовые устройства беспилотных малоразмерных летательных аппаратов (БМЛА).

К настоящему времени сцинтилляционные блоки детектирования БДКГ-11М, БДКГ-24, БДКГ-04, БДКГ-211М, а также другие типы близких к ним по техническим характеристикам уже нашли свое применение в составе БМЛА.





Таблица 1. Спектрометрические блоки детектирования на основе сцинтилляторов NaI(Tl)

Основные характеристики	БДКТ-201М	БДКТ-203М	БДКТ-205М	БДКТ-11М БДКТ-211М	БДКТ-19М БДКТ-219М
Детектор NaI(Tl)	Ø25x16 мм	Ø25x40 мм	Ø40x40 мм	Ø63x63 мм	Ø63x160мм
Диапазон энергий	20 кэВ – 3 МэВ				
Диапазон измерения мощности амбиентного эквивалента дозы (МД)	50 нЗв/ч – 1 мЗв/ч	30 нЗв/ч – 500 мкЗв/ч	30 нЗв/ч – 300 мкЗв/ч	30 нЗв/ч – 150 мкЗв/ч	0,03 – 50 мкЗв/ч
Предел основной относительной погрешности измерения МД	±20%				
Энергетическая зависимость относительно энергии 662 кэВ	±20% (40 кэВ – 3 МэВ)				
Чувствительность к гамма-излучению <sup>137</sup> Cs, (имп-с-1/мкЗв-ч-1)	165	400	800	2450	6000
Временная дискретность измерения	1/3 с	1/3 с	1/3 с	1/3 с	1/3 с
Типовое энергетическое разрешение для энергии 662 кэВ ( <sup>137</sup> Cs)	8%	8%	7,5%	7,5%	8%
Степень защиты	IP68	IP68	IP68	IP54 IP68	IP54 IP68
Интерфейс	USB / RS232 / RS485				
Диапазон рабочих температур	-35...+55°C	-35...+55°C	-35...+55°C	-20...+50°C -35...+55°C	-20...+50°C -35...+55°C
Относительная влажность воздуха (≤35°C без конденсации влаги)	≤98%	≤98%	≤98%	≤95% ≤98%	≤95% ≤98%
Габаритные размеры, масса	Ø63x313мм, 1 кг	Ø63x333мм, 1 кг	Ø63x333мм, 1 кг	Ø78x320мм, 1,7 кг Ø90x350мм, 2 кг	Ø76x422мм, 3 кг Ø90x430мм, 3,3 кг

Таблица 2. Дозиметрические блоки детектирования на основе сцинтилляционной пластмассы

Основные характеристики	БДКТ-04 БДКТ-204	БДКТ-24 БДКТ-224	БДКТ-30 БДКТ-230	БДКТ-32 БДКТ-232	БДКТ-103
Детектор на основе сцинтилляционной пластмассы	Ø30x15 мм	Ø50x40 мм	Ø50x40 мм	Ø70x80 мм	200x180x 70 мм
Диапазон энергий	15 кэВ – 3 МэВ 60 кэВ – 3 МэВ	30 кэВ – 3 МэВ	50 кэВ – 3 МэВ	35 кэВ – 3 МэВ	80 кэВ – 3 МэВ
Диапазон измерения мощности амбиентного эквивалента дозы	50 нЗв/ч – 10 Зв/ч	30 нЗв/ч – 1 Зв/ч	–	30 нЗв/ч – 500 мЗв/ч	30 нЗв/ч – 50 мЗв/ч
Диапазон измерения мощности поглощенной дозы	–	–	30 нГр/ч – 1 Гр/ч	–	–
Предел основной относительной погрешности измерений	±20%	±20% ±15%	±20% ±15%	±20%	±20%
Чувствительность к гамма-излучению <sup>137</sup> Cs, (имп-с-1/мкЗв-ч-1)	70	530	600 имп-с-1/ мкГр-ч-1	1700	15000

Основные характеристики	БДКГ-04 БДКГ-204	БДКГ-24 БДКГ-224	БДКГ-30 БДКГ-230	БДКГ-32 БДКГ-232	БДКГ-103
Энергетическая зависимость относительно энергии 662 кэВ	±35% ±25%	±25%	±25%	±25%	±40%
Временная дискретность измерения	0,1 с	0,1 с	0,1 с	0,1 с	0,1 с
Степень защиты	IP64 IP57	IP64 IP67	IP64 IP67	IP64 IP67	IP64
Интерфейс	RS232 RS485	RS232 RS485	RS232 RS485	RS232 RS485	RS232 RS485
Диапазон рабочих температур	-35...+55°C	-40...+50°C -40...+55°C	-40...+50°C -40...+55°C	-40...+50°C -40...+55°C	-40...+55°C
Относительная влажность воздуха (≤35°C без конденсации влаги)	≤98%	≤98%	≤98%	≤95% ≤98%	≤95%
Габаритные размеры, масса	Ø60x205мм, 0,45 кг Ø60x230мм, 0,55 кг	Ø60x200мм, 0,65кг Ø60x250мм, 0,75кг	Ø60x200мм, 0,65кг Ø60x200мм, 0,75кг	Ø76x245мм, 0,78 кг Ø76x245мм, 0,9 кг	360x220x x80 мм, 5 кг

В частности, высокочувствительный блок детектирования БДКГ-111 и широкодиапазонный блок детектирования гамма-излучения (дозиметрические) используются в аппаратуре дистанционного радиационного контроля БАРК-АТ102, созданной для оснащения белорусского летательного аппарата «Гриф-100» (рисунок 1а), а также применена в составе белорусского БМЛА «Буреветник» (рисунок 1б).

Высокочувствительный спектрометрический блок детектирования БДКГ-11М, способный обеспечивать измерение мощности дозы гамма-излучения, а также спектр гамма-излучения для последующей идентификации радионуклидов в наземном комплексе управления и приема информации, установлен и апробирован на октокоптере «БАС» в Болгарии (рисунок 1в), была построена карта радиационной обстановки в зоне пункта захоронения радиоактивных отходов.

Широкодиапазонный дозиметрический блок детектирования БДКГ-24 апробирован в составе октокоптера российской компании «ZALA AERO GROUP» и БМЛА планерного типа (рисунки 1г и 1д)

Для белорусского БМЛА INDELA SKY/AT вертолетного типа создан экспериментальный образец аппаратуры «АГСАТ» на основе блоков детектирования БДКГ-211М и БДКГ-24 (рисунок 1е), а также макет «АГСАТ-1» на основе блока детектирования БДКГ-103 (рисунок 1ж).

Принцип дистанционной гамма-спектрометрии с последующей идентификацией радионуклидов во всех приведенных в таблице 1 блоках детектирования, а также других типов с использованием NaI(Tl) – сцинтилляционных спектрометров, наиболее эффективен для измерений на высотах полета не более 50 м. В таких случаях аппаратный спектр не перенасыщен компонентой рассеянного гамма-излучения, что позволяет успешно осуществить распознавание радионуклидов по линии полного поглощения в пределах энергетического разрешения.

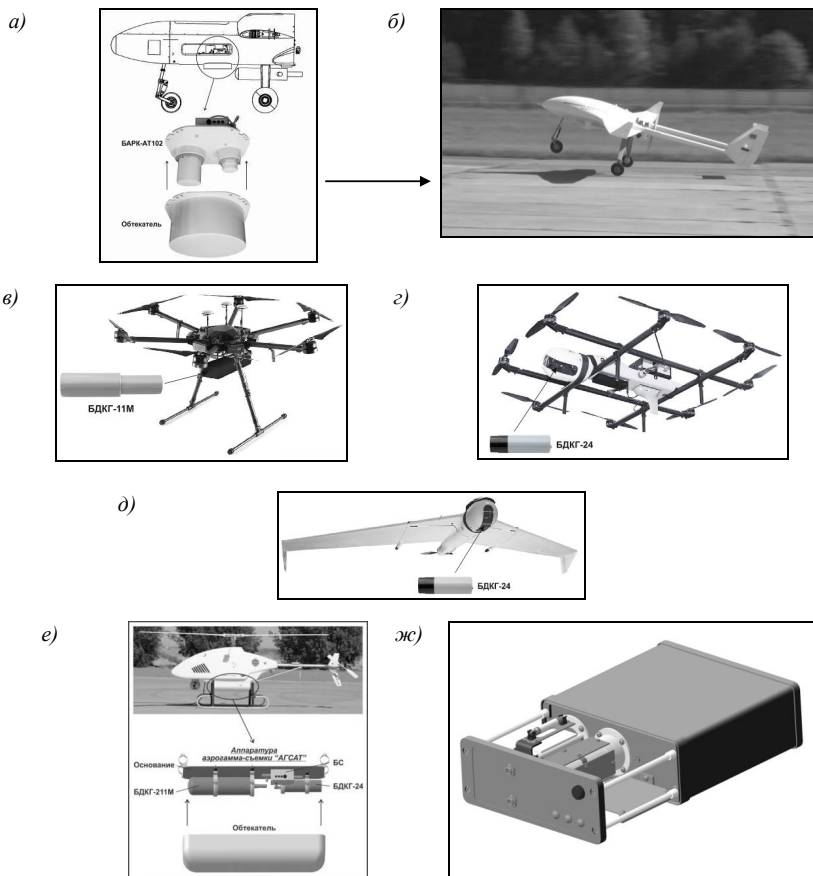


Рис. 1 - Аппаратура радиационного контроля для: а) летательных аппаратов «Гриф-100» и б) «Буревестник»; в) октокоптера «БАС»; г) октокоптера и д) БМЛА планерного типа «ZALA AERO GROUP»; е) и ж) – варианты для беспилотного вертолета «INDELLA»

Принцип дистанционной дозиметрии заключается в определении усредненных по площади уровней радиации на высоте полета, используя «высотные коэффициенты пересчета». Наименьшая зависимость (методическая погрешность) этих коэффициентов от энергии гамма-излучения наземных излучателей обеспечивается при высотах полета не более 150 м. Энергия первичного гамма-излучения – наиболее влияющий, но не единственный фактор, сказывающийся на точности определения уровней мощности дозы на высоте 1 м. Другие факторы – аппаратурная погрешность, погрешность из-за влияния реальных условий измерений и др. также вносят свой вклад, в итоге суммарная погрешность [4]

дистанционных измерений в диапазоне высот полета до 150 м составляет 50 % при доверительной вероятности равной 0,95 (таблица 3).

Таблица 3. Суммарная погрешность дистанционных измерений

Суммарная погрешность, %	Высота $h$ , м			Энергия первичного гамма-излучения $E_0$ , МэВ
	50	150	300	
Суммарная погрешность $\Delta_{\text{сум}}$ (при $P=0,95$ )	46,39	46,68	47,69	0,662
$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{\text{сум}} + \Delta_{\text{доп}}$	45,30	50,78	72,52	0,5-0,9

Проблема оценки масштаба и плотности загрязнения местности радионуклидом  $^{137}\text{Cs}$  по-прежнему актуальна на территории стран, пострадавших от последствий Чернобыльской катастрофы, а также в Японии после аварии на АЭС «Фукусима». Имеется широкий спектр приборов и аппаратуры, позволяющий провести измерение мощности дозы и спектрального распределения гамма-излучения в полевых условиях с GPS-привязкой на местности. Но без соответствующего программного средства комплексный анализ полученных данных крайне трудоемкий и непроизводительный.

Ранее нами было разработано программное обеспечение «GARM», которое служит инструментом визуализации и анализа данных радиационных измерений, выполненных приборами и аппаратурой с наличием функции GPS-привязки на местности. В процессе полевых испытаний оборудования радиационного контроля (использовался прибор МКС-АТ6101С с блоками детектирования БДКГ-11М и БДКГ-04) на зараженной местности совместно с МАГАТЭ, подготовительной комиссией Организации договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ОДВЗЯИ), Полесским государственным радиационно-экологическим заповедником (ПГРЭЗ) и другими организациями [5] была выявлена необходимость в предоставлении пользователю аналитической информации о масштабе и поверхностной плотности загрязнения местности радионуклидом  $^{137}\text{Cs}$  на основе данных наземной или воздушной радиационной съемки. Для оценки масштаба загрязнения был разработан и реализован алгоритм построения изолиний и градиентной заливки области по интересующему параметру.

Были проведены масштабные испытания аппаратуры аэрогамма-съемки в ПГРЭЗ совместно с ОДВЗЯИ. Получены большие массивы дозиметрических данных о радиоактивном загрязнении территории: значения мощностей доз гамма-излучения на уровне 1 м (рисунок 2) от поверхности земли и значения мощностей доз гамма-излучения на высоте 50, 100, 150 и 200 м над поверхностью земли с борта вертолета МИ-2.

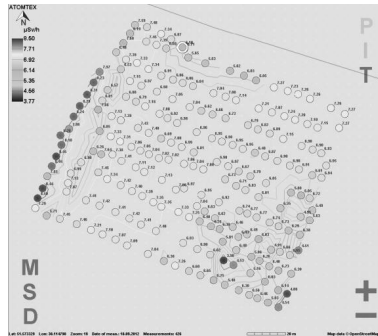


Рис. 2 - Результаты пешеходного сканирования

Результатом обработки данных в программе GARM является оценка мощности дозы гамма-излучения на высоте 1 м над поверхностью земли по значениям мощности дозы гамма-излучения, измеренным на высотах от 50 до 200 м. При сличении результатов дистанционной съемки и наземных измерений на 1 м установлено их совпадение в пределах  $\pm 10\%$  (таблица 4). При этом в качестве высотных коэффициентов пересчета использовались их численные значения, полученные путем математического моделирования (метод статистических испытаний Монте-Карло) с учетом высоты полета, температуры и давления атмосферы, глубины слоя преимущественного залегания радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  в почве, плотного лугового травяного покрова, а также экранирования блоков детектирования корпусом вертолета МИ-2.

Таблица 4. Сличение дистанционной съемки и наземных измерений на высоте 1 м над поверхностью земли результатов

Высота $h$ , м	$K_{h(11\text{м})}^{\text{экс}}$	$K_{h(01)}^{\text{экс}}$	$\bar{K}_h^{\text{экс}}$	$K_h^{\text{теор}}$	$K_m \cdot K_h^{\text{теор}}$ ( $K_h^{\text{теор}}$ с учетом поправки $K_m$ )	Относительное отклонение теоретических данных от экспериментальных, %
50	1,87	2,28	2,07	2,16	1,94	+6,5
100	3,03	3,63	3,33	3,58	3,23	+3,0
150	4,28	4,96	4,62	5,64	5,08	-9,1
200	7,07	7,85	7,46	8,77	7,90	-5,8

Значения высотных коэффициентов  $K_h^{\text{теор}}$ , рассчитанных методом Монте-Карло, с хорошей точностью аппроксимировались выражением [6]:

$$K_h^{\text{теор}} = \exp(k_0 + k_1 h + k_2 h^2 + k_3 h^3 + k_4 h^4),$$

где  $h$  – высоты над земной поверхностью в метрах;

$k_0, k_1, k_2, k_3, k_4$  – коэффициенты, определяемые выбранными условиями измерений и параметрами излучающего слоя.

На рисунках 3 и 4 приведены картограммы мощности дозы гамма-излучения при воздушной гамма-съемке на выбранном однородном по уровням радиации участком-мишенью на территории ППРЭЗ.

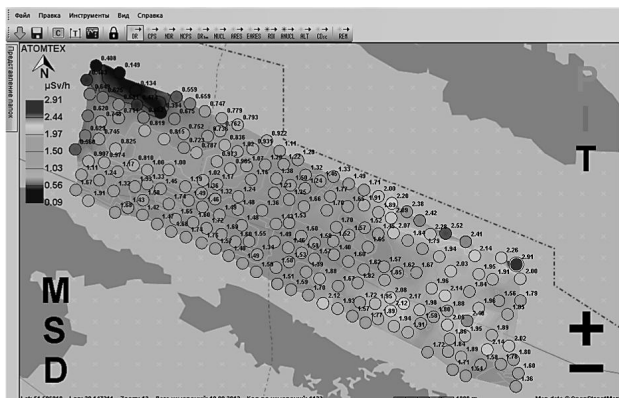


Рис. 3 - Данные аэрогамма-съемки в ПГРЭЗ. Мощность дозы гамма-излучения на высоте 100 м над поверхностью земли. Размер площадки 8 км на 2 км.

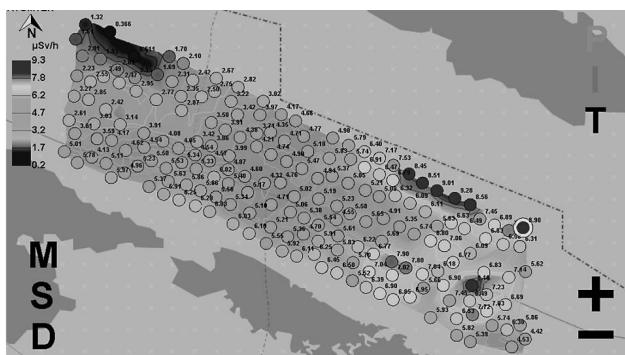


Рис. 4 - Данные по оценке мощности дозы гамма-излучения на высоте 1 м по результатам измерений на высоте 100 м.

С использованием базы данных ПГРЭЗ по удельной активности и поверхностной плотности загрязнения почв радионуклидом  $^{137}\text{Cs}$  было проведено их сличение с данными по оценке плотности загрязнения, полученными при наземной и воздушной съемке. Проведено сличение оценки плотности загрязнения с результатами десяти пробоотборов, попадающих в зону площадки, предоставленными ПГРЭЗ и Гомельским институтом радиологии. Предварительный анализ данных показал, что расхождение в определении поверхностной плотности загрязнения находится в пределах  $\pm 30\%$  (рисунки 5 и 6) [7].

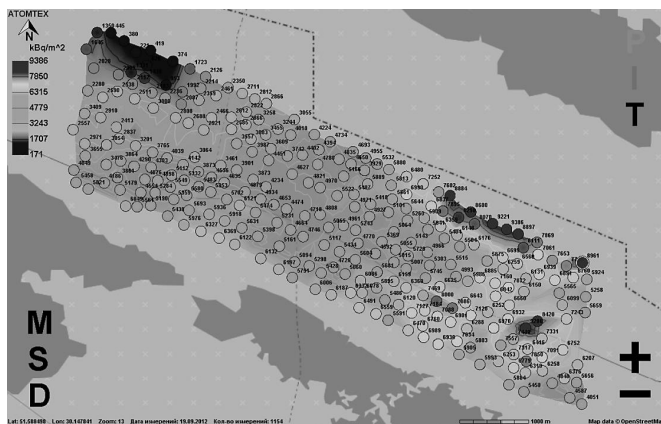


Рис. 5 - Оценка плотности загрязнения местности радионуклидом  $^{137}\text{Cs}$  в (средняя глубина залегания  $^{137}\text{Cs}$  в почве на всей территории составляет 5 см, средняя плотность почвы 1,26 г/см<sup>3</sup>)

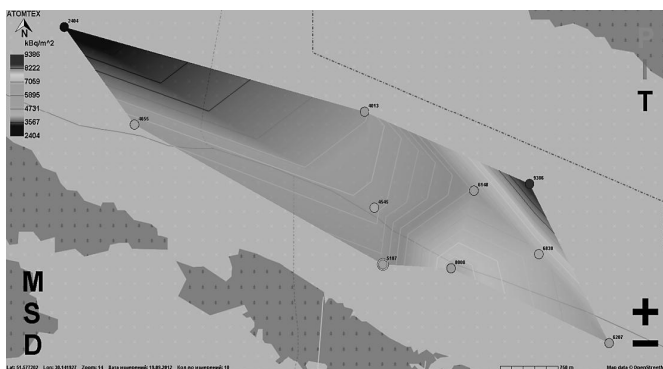


Рис. 6 - Точки аэрогамма-съемки, совпадающие с точками пробоотбора.

В случае точечных гамма-источников или локальных загрязнений (несколько десятков метров) наиболее целесообразным представляется решение задачи их поиска и обнаружения. При этом по направлению полета будет наблюдаться нарастание и спад уровней радиации, точка максимума фиксируется координатами его местоположения, а затем осуществляется пролет через данную точку, перпендикулярно начальному направлению полета. Локализация и измерение радиационных уровней, а также спектров гамма-излучения наиболее успешно реализуются на БМЛА вертолетного типа.

Работы по расширению линейки интеллектуальных датчиков радиации продолжаются. В частности, возникают потребности в создании измерительных каналов дозиметрического и спектрометрического назначения, в т.ч. широкодиапазонных блоков детектирования массой 100-400 г. На данный момент вре-

мени уже имеются экспериментальные образцы, удовлетворяющие этим требованиям [8].

Выводы:

1. Разработана и освоена в производстве линейка конкурентоспособных блоков детектирования гамма-излучения, которые могут быть использованы в составе БМЛА для целей радиационного мониторинга [9].
2. Проведена апробация отдельных блоков детектирования в составе БМЛА.
3. Организованы и проведены натурные испытания блоков детектирования.
4. В результате натурных испытаний определены экспериментально и сопоставлены с расчетными значениями высотных коэффициентов пересчета, установлена высокая степень их согласия.
5. Получен достаточный материал для выработки рекомендаций по проведению аэрогамма-съемки для организаций-потребителей.
6. Результаты работы актуальны для данного весьма быстро развивающегося направления беспилотных систем [10].

#### Список литературы:

1. Старков В.Н. Современные подходы к созданию аппаратуры воздушной радиационной разведки для семейства БПЛА / В.Н. Старков, В.А. Кожемякин, В.П. Полищук, В.Г. Шахов // Наука и военная безопасность. – 2012. – №1. – С. 30–33.
2. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Аварийно-спасательные работы при ликвидации последствий аварий на радиационно-опасных объектах. Общие требования. Межгосударственный стандарт. ГОСТ 22.8.06-2002.
3. Израэль Ю.А. Гамма-излучение радиоактивных выпадений / Ю.А. Израэль, Е.Д. Стукин // М., Атомиздат, 1967.
4. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. ГОСТ Р 8.736-2011.
5. Отчет о проведении натурных испытаний спектрометрических радиационных сканеров АТ6101С, изготовленных по заказу подготовительной комиссии организации договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний. Фонды УП «АТОМТЕХ», Минск, 2012.
6. Табличные и графические данные по моделированию переноса гамма-излучения в воздушной среде методом статистических испытаний Монте-Карло. Минск. Фонды УП «АТОМТЕХ», 2013.
7. Быстров Е.В. Программное средство для оценки масштаба и плотности загрязнения местности радионуклидом Cs-137 по данным воздушной и наземной радиационной съемки / Е.В. Быстров, Е.А. Коновалов, В.А. Кожемякин // ППСР-2015, г. Санкт-Петербург, РФ 2015.
8. Лопатик А.Р. Нейтронный и гамма-детекторы на основе кремниевого фотоумножителя / В.А. Кожемякин, М.В. Коржик, А.Р. Лопатик, А.А. Федоров // ППСР-2015, г. Санкт-Петербург, РФ 2015.





9. Кожемякин В.А. Линейка интеллектуальных блоков детектирования для использования в составе роботизированных систем / В.А Кожемякин // ППСР-2015, г. Санкт-Петербург, РФ 2015.

10. Бахур А.Е. Перспективы использования БПЛА в радиозекологии и при поисковых геологоразведочных работах / А.Е. Бахур, А.В. Стародубов // АНРИ. –2016. – №3. – С. 2–8.

УДК 621.317.799:621.3.049.77

## МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИЗДЕЛИЙ В ПРОЦЕССЕ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

**Лисенков Б.Н., Грицев Н.В.**

*Открытое акционерное общество «МНИПИ», Минск*

**Актуальность.** Важнейшим требованием к полупроводниковым изделиям специального назначения является требование к их радиационной стойкости. Достоверность оценки радиационной стойкости, можно повысить с помощью контроля поведения характеристик тестируемого объекта непосредственно в процессе облучения, когда обычная измерительная аппаратура по ряду причин неприменима.

Поскольку требования к достоверности оценки радиационной стойкости весьма высоки, разработка методов и средств контроля параметров полупроводниковых изделий в процессе радиационного воздействия является актуальной.

**Цель исследования.** Радиационную стойкость полупроводниковых изделий с высокой достоверностью определяют путем измерения параметров рабочих микросхем и тестовых структур после воздействия на них ионизирующего излучения.

Однако особенности поведения интегральных схем (ИС) при радиационном облучении в типовых режимах функционирования, то есть, при подаче питающих напряжений, входных сигналов и подключении типовой нагрузки могут быть выявлены лишь с помощью специальных испытаний [1, 2].

Это ставит задачу разработки методов и средств измерения параметров ИС непосредственно в испытательной камере.

При определении радиационной стойкости полупроводниковых изделий на основании контроля параметров тестовых структур, достоверность оценки повышают путем увеличения количества объектов тестирования одновременно подвергаемых испытаниям.

Для исключения промахов и ошибок, связанных с коммутацией множества объектов тестирования и измерением их параметров, а также для сокращения продолжительности испытаний, необходима автоматизация операций контроля. Однако производство соответствующих средств измерения в странах СНГ отсутствует.

Таким образом, возникает еще одна задача, связанная с разработкой средств измерений, способных обеспечить автоматизацию контроля при проведении радиационных испытаний.

**Контроль радиационной стойкости ИС.** Контроль поведения ИС непосредственно в процессе радиационного воздействия, позволяет более достоверно спрогнозировать их поведение в реальных условиях применения. Однако для этого необходимы специальные методы и средства измерения, поскольку испытательная камера, в которой объект подвергают радиационному воздействию



вию, должна быть удалена на безопасное, с учетом других мер защиты, расстояние (до 20 м).

При измерении динамических параметров ИС в нормальных условиях, передачу широкополосного испытательного импульса на ее вход обеспечивают с помощью согласованного коаксиального кабеля, а передачу выходного сигнала на вход осциллографа – с помощью высокоомного пробника, который не нагружает выходной каскад ИС.

Если расстояние между тестируемой ИС и контрольно-измерительной аппаратурой составляет несколько метров и более, передача измерительных импульсов существенно усложняется.

Известна методика контроля функционирования, аналоговых ИС в условиях облучения, основанная на передаче выходного сигнала тестируемой ИС на расстояние более 10 м с помощью симметричной линии связи по кабелю типа "витая пара" без перегрузки тестируемой ИС по мощности [1].

Согласно этой методике сигнал с выхода облучаемой ИС поступает на формирователь парафазного сигнала и далее по симметричной линии - на приемник, осуществляющий преобразование сигнала в однофазный. С выхода приемника сигнал подают на вход осциллографа.

Методика обеспечивает контроль функционирования аналоговых ИС, но не позволяет измерять временные параметры выходного сигнала и контролировать относительное изменение этих параметров в процессе радиационного воздействия.

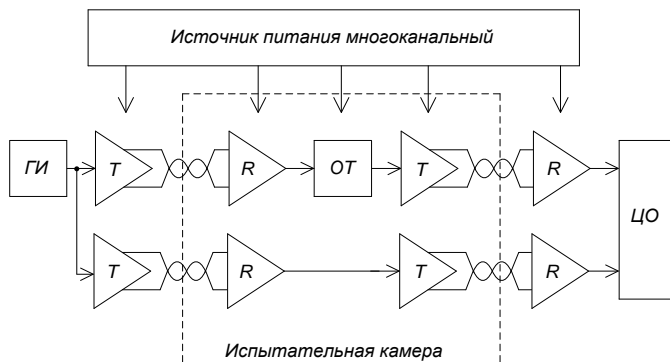
Функциональные возможности известной методики можно значительно расширить, за счет передачи в испытательную камеру и обратно, наряду с измерительным импульсом, вспомогательного опорного импульса.

В качестве приемников и передатчиков парафазного сигнала целесообразно использовать микросхемы специализированных операционных усилителей, которые способны осуществлять прием-передачу сигнала на расстояние в десятки метров в полосе частот до сотен мегагерц.

Новая методика позволяет учесть задержки и искажения формы испытательного импульса в линии связи и обеспечивает возможность измерения динамических параметров ИС во время радиационного облучения.

Экспериментальные исследования разработанной методики измерений выполнены на основе макета, в котором в качестве передатчика и приемника парафазного сигнала использованы микросхемы специализированных операционных усилителей и два кабеля витой пары CAT-6 длиной 16 м.

Структурная схема системы измерения динамических параметров ИС, реализующая новую методику, представлена на рисунке 1.



ГИ – генератор импульсов, Т – передатчик парафазного сигнала, R – приемник парафазного сигнала, ОТ – объект тестирования, ЦО – цифровой осциллограф.

Рис. 1 - Структурная схема системы измерения динамических параметров цифровых и аналоговых ИС.

Очевидно, что в условиях радиационного эксперимента более информативным является относительное изменение измеряемого параметра, а не его абсолютное значение, которое можно измерить в нормальных условиях [2].

Испытания макета показали, что он обеспечивает измерение относительных изменений временных параметров ИС, удаленной на расстояние до 16 м, с разрешением порядка 1 нс.

**Контроль радиационной стойкости тестовых структур.** В ОАО «МНИПИ» разрабатывается автоматизированный измерительный комплекс (АИК), предназначенный для контроля параметров тестовых структур при проведении испытаний на радиационную стойкость. АИК включает: измеритель вольтамперных характеристик (ВАХ), матричный коммутатор ( $5 \times 48$ ) и внешний персональный компьютер (ПК), который управляет выбором тестируемого элемента из множества элементов, подключенных к портам коммутатора, и проверкой параметров этого элемента с помощью измерителя ВАХ.

Основу матричного коммутатора составляют ключи, расположенные в перекрестиях линий (А, В, С, D, ...) и колонок, каждая из которых соответствует выходному порту (1, 2, 3, 4,...) коммутатора. Замыкание определенных ключей обеспечивает подключение измерительных приборов к интересующему электроду тестируемого элемента.

В простейшем случае, при тестировании двухполюсника присоединенного к колонкам 2 и 4 коммутатора, с помощью источника тока, присоединенного к его строкам А и В, и измерителя напряжения, присоединенного к его строкам С и D, необходимо замкнуть ключи А2, В4 и С2, D4, которые выбирает оператор на основании измерительной схемы, представленной на рис. 1, при формировании теста.

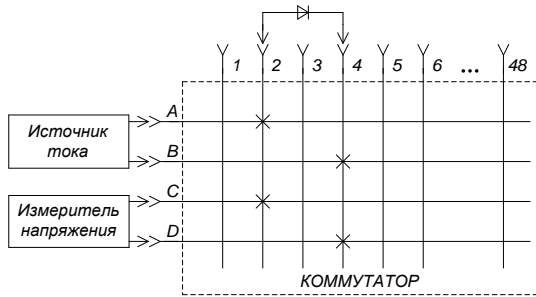


Рис. 2 – Измерительная схема для тестирования диода с помощью матричного коммутатора: × – замкнутые узлы.

При контроле трех- и четырехполюсников подготовка программы тестирования в части задания состояния матричного коммутатора усложняется. Это связано с тем, что для каждого теста необходимо составить измерительную схему, отображающую совокупность измерительных приборов связанных с каждым из электродов тестируемого элемента, на основании которой можно определить, какие узлы матрицы должны быть замкнуты.

С целью исключения ошибок сложные измерительные схемы необходимо визуализировать и документировать. Современные матричные коммутаторы снабжены устройствами индикации, которые отображают все узлы матричного коммутатора и позволяют выделить узлы с замкнутыми ключами, но не позволяют отобразить измерительную схему, включающую электроды (узлы) тестируемого элемента и подключенные к ним приборы.

Устройства индикации состояния матричного коммутатора содержат либо множество светодиодов, расположенных в узлах матрицы выполненной графически на передней панели коммутатора, при этом количество светодиодов соответствует числу узлов коммутатора, либо на базе графического дисплея, занимающего большую часть площади передней панели [3].

Индикатор состояния матричного коммутатора позволяет проконтролировать замкнутые узлы, но практически не влияет на оперативность управления коммутатором, так как основное время в этом процессе занимает составление и анализ измерительных схем для различных тестов и объектов тестирования.

Измерительную схему для каждого теста и каждого объекта тестирования необходимо либо представить мысленно в виде абстрактного образа, либо отобразить визуально в графическом или табличном виде, либо составить ее текстовое описание.

Кроме того, индикатор состояния требует дополнительных аппаратных затрат и существенно увеличивает стоимость матричного коммутатора.

При тестировании полупроводниковых элементов с помощью источников-измерителей (ИИ) уже не требуется подключения к электроду одновременно нескольких измерительных приборов, так как ИИ формирует испытательный сигнал (ток или напряжение) и одновременно измеряет сигнал-отклик (напряжение или ток), возникающий на электроде [4].

Структурная схема АИК представлена на рисунке 3.

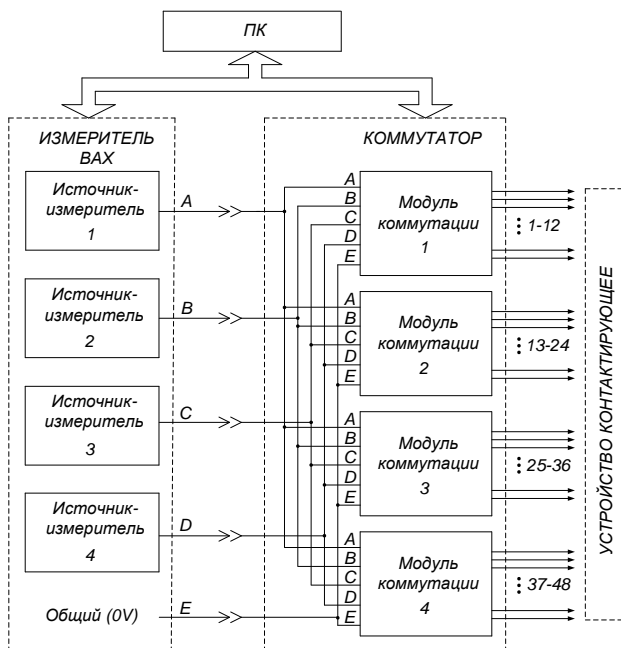


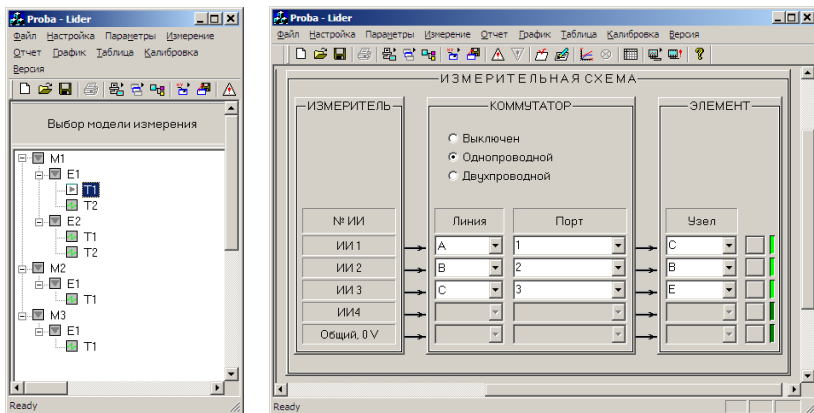
Рис.3 - Структурная схема АИК.

Благодаря возможности выбора типа формируемого и измеряемого сигналов, ИИ может рассматриваться как самостоятельная ступень коммутации, которая обеспечивает подключение к электроду тестируемого элемента источника и измерителя электрических сигналов и выбор типа каждого из них (тока или напряжения) и метод задания состояния коммутатора можно упростить.

Разработан метод задания режима работы АИК, в том числе задания состояния матричного коммутатора, включающий следующие операции:

- выбор типа тестируемого элемента (диод, транзистор, и др.), в соответствии с которым на дисплее АИК отображается измерительная схема формируемого теста с соответствующим количеством узлов;
- задание портов матричного коммутатора, соответствующих электродам (узлам) выбранного элемента;
- установку типа испытательного и измеряемого сигнала по каждому электроду тестируемого элемента.

Для иллюстрации разработанной методики задания состояния коммутатора, на рисунке 4 представлены фрагменты главного окна управления АИК. На одном из них отображается файл (дерево) моделей измерения, а на другом – измерительная схема для тестирования биполярного транзистора (с узлами: коллектор – С, база – В и эмиттер – Е), представленная в виде таблицы.



а)

б)

а) – дерево моделей измерения, б) – измерительная схема

Рис. 4 – Фрагменты главного окна управления АИК.

Элемент, выбранный из комплекта элементов подсоединенных к портам коммутатора, индицируют в главном окне управления АИК с помощью дерева моделей измерения. Например, на рисунке 3а, это элемент E1 из модуля M1, для которого выбран тест T1. Узлы этого элемента отображены на поле ЭЛЕМЕНТ измерительной схемы на рисунке 3б.

На поле "Измерительная схема" показано, что:

- коммутатор подключен и измерителю ВАХ по однопроводной схеме;
- входы матричного коммутатора (А, В, С) подключены к каналам измерителя ВАХ (ИИ1, ИИ2, ИИ3), соответственно;
- порты коммутатора (1, 2, 3) соединены, например, с помощью зондов или присоединительного устройства, с узлами (С, В, Е) биполярного транзистора.

Из схемы, показанной на рисунке 3б, следует, что, при тестировании выбранного элемента, в матричном коммутаторе должны быть замкнуты между собой: линия А – с портом 1, линия В – с портом 2 и линия С – с портом 3.

Таким образом, измерительная схема представленная в виде таблицы в главном окне управления, полностью определяет состояние матричного коммутатора во всех тестах выбранного элемента.

Задание значений токов и напряжений в узлах измерительной схемы (на электродах тестируемого элемента) осуществляют в окне "Настройка параметров измерения", представленном на рисунке 5.

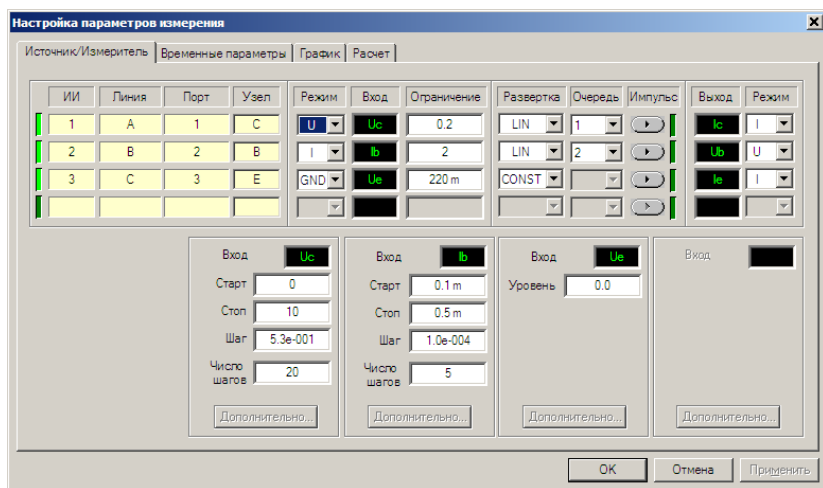


Рис. 5 – Фрагмент окна "Настройка параметров измерения".

В левой части окна, в качестве дополнительной информации на желтом фоне, показано соответствие между номерами ИИ и линиями коммутатора и между портами коммутатора и узлами тестируемого элемента, согласно измерительной схеме из главного окна АИК.

В правой части окна задают параметры испытательного и измеряемого сигналов и вид развертки для измерения ВАХ.

Поскольку измерительная схема выбранного теста отображается на экране внешнего ПК, то громоздкий и дорогостоящий индикатор состояния матричного коммутатора является для АИК избыточным и, в данном случае, исключен.

Таким образом, предложенная методика задания состояния матричного индикатора позволяет визуально проанализировать полную измерительную схему, представленную в виде таблицы на экране ПК и определить узлы коммутатора, которые должны быть при этом замкнуты. Это повышает оперативность формирования последовательности тестов при программировании АИК и упрощает конструкцию коммутатора.

По команде оператора ИЗМЕРЕНИЕ АИК поочередно подключает с помощью коммутатора тестируемые элементы к измерителю ВАХ и осуществляет последовательное выполнение тестов, указанных в файле моделей измерения, для каждого элемента.

АИК предназначен для применения в центре коллективного пользования «Радиационный центр» при ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», который уже оснащен необходимыми источниками ионизирующих излучений.

В настоящее время, из-за отсутствия в Республике Беларусь оборудованной испытательной базы, радиационные испытания отечественных электронных компонентов проводятся в Российской Федерации, стоимость которых весьма высока.





Например, стоимость испытаний одной партии микросхем памяти (10-15 шт.) составляет 20 тыс. у.е., одной партии тестовых структур - 10 тыс. у.е.

Использование АИК, позволит выполнять испытания изделий микроэлектроники на радиационную стойкость в Республике Беларусь, как на стадии изготовления пластин, так и на стадии готовых изделий.

Применение комплекса увеличит производительность и повысит достоверность радиационных испытаний за счет увеличения количества объектов тестирования одновременно подвергаемых облучению и за счет анализа поведения их характеристик непосредственно в процессе облучения, когда обычные средства измерений неприменимы.

**Выводы.** Предложена и экспериментально опробована методика контроля ИС расположенной в удаленной на расстоянии до 16 м испытательной камере непосредственно в процессе радиационного воздействия.

Опробован макет измерительной системы, реализующей эту методику, который позволяет измерять временные параметры ИС и контролировать их относительное изменение с разрешением до 1 нс.

Предложен метод задания режима работы АИК, включающий задание состояния матричного коммутатора, который обеспечивает визуальный анализ измерительной схемы на экране компьютера, и позволяет определить замкнутые узлы коммутатора.

Комплекс предназначен для контроля параметров тестовых структур при проведении испытаний на радиационную стойкость. В состав АИК входит программируемый измеритель ВАХ, матричный коммутатор ( $5 \times 48$ ) и внешний персональный компьютер.

### Список литературы:

1 Дворников О.В. Прогнозирование стойкости биполярных микросхем к различным видам проникающих излучений / О.В. Дворников, В.А. Чеховский, В.Л. Дятлов, Ю.В. Богатырев, С.Б. Ластовский // Материалы 23-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (Севастополь, 8-13 сент. 2013 г.). – Т.2. – с.925-927.

2 Боруздина А.Б. Дозовая деградация динамических параметров микросхем памяти / А.Б. Боруздина, А.В. Уланова, Н.Г. Григорьев, А.Ю. Никифоров // Микроэлектроника. – 2012 – том 41, №4. – с. 284-290.

3. Каталог Keithley – Tektronix 2014. издание 2 [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tektronix.ru/>. – Дата доступа 24.06.2016.

4. Измеритель параметров полупроводниковых приборов ИППП-1. Руководство по эксплуатации. УШЯИ.411251.003 РЭ. часть первая –47с.

УДК 621.007

## АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ, ВОЗМОЖНОСТЕЙ И ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ИДЕОЛОГИЧЕСКОЙ РАБОТЕ С ЛИЧНЫМ СОСТАВОМ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ

**Русак А.С.***Государственное учреждение «Научно-исследовательский институт Вооруженных Сил Республики Беларусь»*

Как известно, моральный дух войск является одним из главных факторов достижения победы. История знает немало примеров, когда прекрасно вооруженные, но слабые духом армии терпели сокрушительные поражения и наоборот, войска наполненные верой в победу, информированные и уверенные в своих силах, пусть даже уступающие противнику в своей оснащенности, побеждали.

В условиях резкого обострения глобальных противоречий изменились сущность войны и содержание вооруженной борьбы, что обуславливает необходимость повышение эффективности информационно-технического обеспечения идеологической работы с личным составом Вооруженных Сил.

**Основными исходными данными** для развития исследуемой информационно-технической системы являются результаты оценки военно-политической обстановки в мире, социально-политической и информационной обстановки в Республике Беларусь, состояние и тенденции развития информационно-технических средств Вооруженных Сил.

Анализ применения информационно-технической системы в работе с личным составом показывает, что основными ее функциями являются **получение, преобразование, хранение и передача** информации между **субъектами и объектом** идеологической работы.

*Основные термины и понятия.*

**Субъекты** – командиры (начальники), штабы, органы идеологической работы.

**Объект** идеологической работы – личный состав.

**Техническое средство** предназначено для реализации любой из функций, указанных выше.

**Информационно-техническая система** – совокупность технических средств, обеспечивающих получение, преобразование, хранение и передачу информации между субъектами и объектом идеологической работы.

**Технические средства** рассматриваемой информационно-технической системы включают:

радиоприемники, микрофоны, громкоговорители, телевизионные приёмники с цифровыми титрами, видеокамеры, магнитофоны, цифровые фотоаппараты, полевые трансляционные узлы, DVD-проигрыватели, мультимедийные видеопроекторы, радиотрансляционная аппаратура, множительная техника (ризографы, принтеры, сканеры), комплекты кабельного и эфирного телевидения, светотехническая аппаратура, музыкальные (электромusикальные) инструменты, цифровые ресиверы, автоматизированные рабочие места библиотек, подвижный телевизионный комплекс, подвижный информационный центр, подвижный радиотелевизионный центр.



Возможности существующих технических средств по получению передаче, хранению и обработке информации Вооруженных Сил раскрыты в Таблицах 1–4.

Таблица – 1. Получение информации

Источник информации	Войсковой уровень	
	мирное время	военное время
Радиоканалы ДВ, СВ, КВ, УКВ – диапазонов	Рота	Рота
Телевизионные каналы	Рота	Батальон
Глобальная сеть Интернет	Бригада	Бригада
Печатные материалы (книги, газеты, журналы)	Рота	Рота
Концертная деятельность	Бригада	Бригада

Таблица – 2. Передача информации

Источник информации	Войсковой уровень	
	мирное время	военное время
Трансляция радиоканалов ДВ, СВ, КВ, УКВ – диапазонов	стратегический	стратегический
Телевизионные каналы	стратегический	стратегический
Глобальная сеть Интернет	Бригада	Бригада
Ретрансляция радиоканалов ДВ, СВ, КВ, УКВ – диапазонов	Батальон	Батальон
Печатные материалы (размножение на штатной технике)	Бригада	Бригада
Концертная деятельность	Бригада	Бригада

Таблица – 3. Хранение информации

Источник информации	Войсковой уровень	
	мирное время	военное время
Печатные материалы (книги, газеты, журналы)	Рота	Рота
Лазерные диски (CD, DVD)	Рота	Рота
Магнитные диски, ленты	Рота	Рота
Глобальная сеть Интернет	Бригада	Бригада
Спец. устройства энергонез. памяти (флэш-карты и т.д.)	Рота	Рота

Таблица – 4. Обработка информации

Источник информации	Войсковой уровень	
	мирное время	военное время
Печатные материалы (книги, газеты, журналы)	Бригада	Бригада
Лазерные диски (CD, DVD)	Рота	Рота
Магнитные диски, ленты	Бригада	Бригада
Глобальная сеть Интернет	Бригада	Бригада
Спец. устройства энергонез. памяти (флэш-карты и т.д.)	Рота	Рота

Раскроем *основные тенденции развития* информационно-технических систем идеологической работы с личным составом.

1. *Разработка универсальных, комплексных информационно-технических средств*, основанных на современных моделях информационных коммуникаций и обеспечивающих работу с личным составом по всем ее направлениям. Примером является подвижный информационный центр **ИЦ-2006 (РБ)**, обеспечивающий сбор, обработку и распространение информации, ее размещение в сети Интернет, фото- и видеосъемку с последующим монтажом материала, а также создание макетов и тиражирование полиграфической продукции, организацию теле и радиообслуживание личного состава, демонстрацию фильмов.

2. *Совершенствование технических возможностей для работы войсковых психологов* путем создания автоматизированных рабочих мест, аппаратно-программных психодиагностических комплексов, компьютерных полиграфов. С помощью применения компьютерных технологий психодиагностического обследования военнослужащих и гражданского персонала **АРМ ВП 83м379 (РФ)** совершенствуется психологическое сопровождение войсковым психологом учебно-боевой деятельности войск, а **АРМ СПО «ОТБОР-В» (РФ)** оптимизирует психодиагностическое обследование специалистом профотбора военнослужащих и граждан, поступающих на военную службу, прогнозирует успешность их учебно-боевой деятельности.

3. *Повышение мобильности и автономности* в организации досуга и отдыха военнослужащих и членов их семей. В полевых условиях походный автоклуб **ПАК – 07 (РФ)** позволяет воспроизводить аудио- и видео программы, вести фото- и видеосъемку. Автоклуб **АК-03 (РФ)**, оборудованный различным светотехническим, звуковым и видеооборудованием, а также трансформируемым кузовом с подъёмной крышей и выдвижной сценой обеспечивает проведение культурно-массовых мероприятий, собраний, брифингов, работу агитационных бригад в полевых условиях.

4. *Разработка походных типографий с цифровой обработкой информации*. Например, походная цифровая типография **ПЦТ-07 (РФ)** осуществляет полный цикл цифровой обработки информации и обеспечивает изготовление в полевых условиях брошюр, карт, схем, боевых листов и различных типов печатной продукции форматов А4, А3, а также на рулонных материалах шириной до 900 мм.

5. *Внедрение технических средств на батальонном, ротном звеньях*. Разработанный в Республики Беларусь портативный информационный комплекс **«ПИК - 2015» (РБ)**, способен организовать онлайн-видеоконференцию между командованием и отдельным подразделением, осуществить фото- и видеосъемку с последующим монтажом и демонстрацию личному составу, трансляцию теле и радиопередач.

6. *Сопряжение технических средств с существующей сетью государственной информационно-технической системы*, обеспечение технических возможностей к наращиванию элементов государственной сети теле и радио-



вещания. Например, подвижный радиотелевизионный центр **ПРТЦ-2007 (РБ)**, позволяет осуществлять приём, запись, трансляцию и ретрансляцию телевизионных передач спутникового телевидения, радиопередач через эфир и кабельные сети, проводить приём, запись видео и аудио информации из сети Интернет, с возможностью их передачи через эфир и кабельные сети с предварительной обработкой и без таковой, организовать теле и радиотрансляцию аудио и видеоматериалов с различных типов носителей (кассеты, CD, DVD , и др.) через эфир и кабельные сети;

7. **Повышение оперативности в работе с личным составом**, за счет использования современных спутниковых средства связи, оптоволоконных линий, сотовой мобильной сети связи, Wi-Fi, местных локальных кабельных сетей.

**Основные требования**, предъявляемые к информации предоставляемой информационно-технической системой:

**объективность (достоверность)**, отражающая истинное положение дел;

**полнота**, обеспечивающая степень ее понимания для принятия решения;

**точность**, определяющая ее близость к реальному состоянию объекта, процесса или явления;

**актуальность**, показывающая ее значимость для настоящего времени, злободневность и насущность;

**полезность (ценность)**, оцениваемая применительно к нуждам ее потребителя.

Перспективная информационно-техническая система и ее элементы должны обеспечивать **оперативность и полноту** получения, обработки и доведения информации, а также обладать высокой **мобильностью, живучестью и автономностью**.

Основными критериями при разработке информационно-технических систем являются **«эффективность – стоимость»**.

Указанные выше критерии могут быть **достигнуты путем**:

использования технических средств на новой элементной базе;

внедрения современных технических средств управления и связи;

расширения аудитории путем приема и передачи информации в режиме реального времени с использованием глобальной сети Интернет;

сопряжения (подключения) к местной информационной базе, получения и передачи информации, трансляции теле и видеоинформации в локальных сетях;

расширения технических возможностей для специалистов – психологов;

разработки мобильных и автономных средств обеспечения культурно-досуговой работы с личным составом.

Таким образом, современные технические средства, основанные на современных моделях коммуникаций, должны обеспечивать контроль информационно-коммуникативной среды, оперативное управление информационными потоками, что способствует формированию и поддержанию высокого морально-психологического состояния личного состава, обеспечивающего выполнение функциональных задач по предназначению.

### Список литературы:

1. Об утверждении инструкции о порядке организации идеологической работы в Вооруженных Силах: приказ Министра обороны Республики Беларусь, 10 сент. 2014, № 967 . – Минск, 2014.
2. Кондюрин, В. И. Технические средства пропаганды в армии и на флоте / В.И. Кондюрин, Е.Г. Тютюник. – 3-е изд., дораб. и доп. – Москва: Воениздат, 1987.
3. Кузнецов, В.В. Системный анализ в фундаментальных и прикладных исследованиях / В.В. Кузнецов, С.В. Бабуров, А.А. Мальчевский, А.В. Самойлов, А.Ю. Шатраков. – Санкт-Петербург: Политехника, 2014. – 378с.
4. Савенко, С.В. Внедрение и использование технических средств пропаганды в идейно-воспитательной работе с воинами Советских Вооруженных Сил / С.В. Савенко. – Москва: Военно-политическая академия, 1977. – 203 с.
5. <http://www.vpk.gov.by/catalog/mnipi>. Date of access: 20.03.2017.
6. <http://www.multipsychemetr.ru/izdel>. Date of access: 20.03.2017.
7. <https://42.tut.by/529939>. Date of access: 11.03.2017.



УДК 004.65:004.75:004.5:004.91

## БЕЛОРУССКОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ СИСТЕМ УЧЕТА И КОНТРОЛЯ В ВООРУЖЕННЫХ СИЛАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Сытова С.Н.<sup>1</sup>, Дунец А.П.<sup>1</sup>, Коваленко А.Н.<sup>1</sup>, Мазаник А.Л.<sup>1</sup>, Сидорович Т.П.<sup>1</sup>, Черепица С.В.<sup>1</sup>, Семашко А.А.<sup>2</sup>, Г.Г. Дегтерюк<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт ядерных проблем Белгосуниверситета, Минск, <sup>2</sup>202 Химмотологический центр горючего Вооружённых Сил Республики Беларусь, Минск

**Актуальность.** В настоящее время свободное программное обеспечение (СПО) занимает на мировом рынке информационных технологий большую нишу, предоставляя пользователю, в отличие от проприетарных (лицензионных, коммерческих) программных продуктов, право на неограниченную установку, свободное использование, модификацию и передачу таких программных продуктов. СПО имеет ряд преимуществ по сравнению с проприетарным программным обеспечением (ПО). Использование свободного программного обеспечения облегчает процессы проверки безопасности и сертификацию разработанного ПО, поскольку его исходные коды и полная техническая документация находятся в свободном доступе. Таким образом устраняются формальные технические препятствия на пути сертификации программного обеспечения с открытыми исходными кодами. Этим обусловлен явный разворот в последнее время ИТ-рынка в сторону СПО – как на Западе, так и на постсоветском пространстве. В настоящее время все страны Таможенного Союза стремятся шире использовать свободное программное обеспечение.

В Республике Беларусь уделяется большое внимание безопасности информационных систем, в частности, приняты Указы Президента Республики Беларусь, распоряжения Премьер-министра, постановления Министерства связи и информатизации Республики Беларусь в области информатизации. Использование СПО является одним из реальных способов повысить степень защиты информации и реализовать необходимые меры по совершенствованию защиты информации. В соответствии с Приказом Министра обороны РБ №112 от 18 февраля 2011 г. «Об утверждении перечня форматов представления и протоколов передачи данных, используемых в информационных системах Вооруженных Сил и транспортных войск» ПО с поддержкой операционной системы Linux является приоритетным при использовании в Вооруженных силах Республики Беларусь.

В современном мире электронный документооборот – это удобный сервис по работе с документами, представленными в электронном виде, реализующий принципы «бесбумажного делопроизводства». Предлагаемые на рынке универсальные «коробочные» системы электронного документооборота (СЭД) предполагают стандартный набор функций, невозможность полного соответствия потребностям конкретной организации, относительно низкую стоимость. Индивидуально разрабатываемые СЭД – персонифицированные системы с большими временными затратами на разработку и ее высокой стоимостью.

Наиболее распространенные российские и белорусские СЭД – 1С:Документооборот 8, DocsVision, Directum, "Делопроизводство", "Обращения граждан", «РЕКОРД»™, СЭД RS-Док и FlowDoc и др. Только 1С:Документооборот, «Доцero» и «Канцлер» позволяют работать под операционной системой Linux с использованием, однако, коммерческого ПО: MS SQL Server, PostgreSQL, IBM DB2, Oracle MySQL.

Назначением ЛИС (лабораторная информационная система – LIMS (сокр. от англ. Laboratory Information Management System) является получение достоверной информации по результатам испытаний в полном соответствии с ИСО/МЭК 17025-2007 «Общие требования к компетенции испытательных и калибровочных лабораторий» и оптимизации управления этой информацией с целью её использования для принятия корректных своевременных управленческих решений. Работа по внедрению ЛИС очень трудоемкая, причем не только со стороны поставщика системы, но и со стороны заказчика. Одним из мировых лидеров по разработке ЛИС является американская STARLIMS Corp. Рынок ЛИС и СЭД в последние годы является одним из самых динамично развивающихся сегментов отечественной ИТ-индустрии. Однако таких программных продуктов, сочетающих черты ЛИС и СЭД на основе свободного ПО и доверенного системного обеспечения, практически нет.

Рассмотрим белорусскую разработку на СПО – систему eLab, являющуюся лабораторной информационной системой с элементами электронного документооборота. Одной из целей ее создания было ее использование для автоматизации систем учета и контроля разнообразной направленности в Вооруженных Силах Республики Беларусь. С 2012 г. «Электронная система контроля качества и управления запасами горючих и смазочных материалов E-lab ГСМ» стоит на боевом дежурстве в 202 Химмотологическом центре горючего для контроля качества и учета ГСМ Вооруженных Сил РБ (см. Рис. 1 и [1–3]).

**Цель исследования.** Основа системы eLab заложена разработкой системы электронного документооборота E-lab в рамках ГКПНИ «Инфотех» (2006–2008). Система внедрена в учебный процесс ведущих белорусских вузов страны (БГУ, БГТУ, БНТУ), химико-токсикологической лаборатории Минского городского наркологического диспансера. В 2013 г. она внедрена в белорусском отделении российской компании ГазПромНефть.





Марки/сорта ГСМ Brands of Fuels and Oils				
Объект испытаний: Все типы горюче-смазочных материалов				
< <<<< 1 2 3 4 5 6 >>>> >				
Код	Объект	ТУ	Марка	Примечания
1	топливо ТСММ	ТУ BY 300220696.045-2009	топливо судовое малосернистое маловязкое	
2	топливо ТСМ	ТУ BY 300220696.036	топливо судовое маловязкое	
3	АС-1	ТУ BY 100017108.003-2010	средство смазочное антикоррозионное АС-1	
Код: 3				
Объект испытаний: АС-1 ТУ BY 100017108.003-2010				
Марка: средство смазочное антикоррозионное АС-1				
Примечания:				
4	растворитель для тех.целей	ТУ BY 300220696.042-2007	растворитель для технических целей марки "Д"	
5	топливо ТС дистиллятное	ТУ BY 300220961.003-2010	топливо судовое дистиллятное для морских дизелей	с изм. 1
6	топливо ТС дистиллятное	ТУ BY 300220961.003-2010	топливо судовое дистиллятное для морских дизелей	
7	присадка НКГ	ТУ BY 390401182.020-2009	присадка НКГ марки "А"	
8	растворитель для пром.целей (опытн.образец)	ТУ BY 190690497.001-2011	растворитель для промашленных целей (опытн.образец), марка М	
9	растворитель для пром.целей (опытн.образец)	ТУ BY 190690497.001-2011	растворитель для промашленных целей (опытн.образец), марка Л	
10	бензин авиационный	ГОСТ 1012-72	авиационный бензин Б-91/115	
11	неэтилированный бензин	ГОСТ 31077-2002	автомобильный бензин марки Нормаль-80 класс 2	
12	неэтилированный бензин	ГОСТ 31077-2002	автомобильный бензин марки Нормаль-80 класс 4	

Рис. 1- Экранная копия работы системы «E-lab ГСМ»

Система «E-lab ГСМ» разработана в рамках хозяйственного финансирования 202 Химмотологического центра горючего ВС РБ. В дальнейшем развитие системы eLab проводилось в рамках выполнения задания 1.35 ГПНИ «Информатика и космос, научное обеспечение безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций» (2014–2015). В настоящее время – в рамках заданий 3.1.15 подпрограммы «Атомная энергетика и ядерно-физические технологии» ГПНИ «Энергетические системы, процессы и технологии» (2016–2018) и 1-02 ГНТП «Интеллектуальные информационные технологии» (2016–2020). В 2014 г. успешно выполнен контракт № 196847 с Тихоокеанской Северо-Западной национальной лабораторией (США) в интересах Госатомнадзора Республики Беларусь. Был разработан прототип программного обеспечения учета и контроля источников ионизирующего излучения – eLab-Atom (см. Рис.2. и [4, 5]). В 2015 г. на основе фреймворка eLab создана оригинальная система управления контентом для создания учебно-научных порталов различных профилей на основе свободного программного обеспечения, на основе которой создан электронный портал ядерных знаний учреждений образования Республики Беларусь BelNET (Belarusian Nuclear Education and Training Portal), расположенный в интернете по адресу: <https://belnet.bsu.by>.

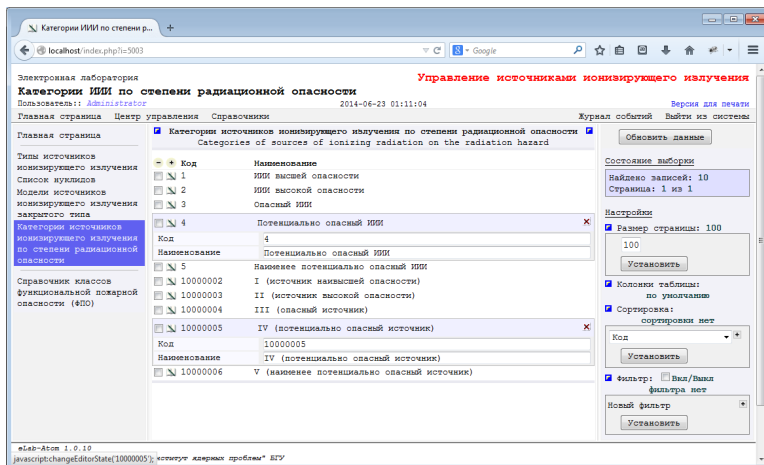


Рис. 2 - Экранная копия работы системы eLab-Atom

В свете бурного развития информационных технологий в современном мире каждая информационная система (ИС), чтобы не умереть, должна постоянно развиваться и совершенствоваться. Это касается и системы eLab. Основное актуальное требование – повышение безопасности в системе и развитие ее функциональности.

**Материалы и методы исследования.** Что такое eLab? Это система клиент-серверной архитектуры, работающая под управлением операционных систем Windows и Linux и предназначенная для реализации и унификации электронного документооборота аккредитованных испытательных лабораторий в соответствии с международными стандартами ИСО/МЭК 17025 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий», ИСО 9001 «Система менеджмента качества. Требования» и ИСО 9004 «Менеджмент для достижения устойчивого успеха организации. Подход на основе менеджмента качества». Она разработана на основе свободного программного обеспечения: Debian GNU/Linux, веб-сервер Apache, сервер баз данных Firebird, сервер приложений PHP. Работа осуществляется как по локальной сети интранет, так и в глобальной сети интернет через Web-интерфейс в многопользовательском режиме с разделением прав доступа посредством широко распространённых браузеров, установленных на компьютере пользователя. В рамках одного установленного экземпляра продукта можно поддерживать одновременно документооборот многих лабораторий и организаций, причём разного профиля.

Дадим описание некоторых алгоритмов повышения безопасности в системе eLab и развития ее функциональности. Предварительно дадим некоторые определения.

**HTML** (от англ. *HyperText Markup Language* – язык гипертекстовой разметки) – стандартный язык разметки документов в интернете.



**HTTP** (от англ. *HyperText Transfer Protocol* – протокол передачи гипертекста) – протокол прикладного уровня передачи данных.

**HTTPS** (от англ. *HyperText Transfer Protocol Secure*) – расширение протокола HTTP, поддерживающее шифрование.

**PHP** (от англ. *Hypertext Preprocessor* – препроцессор гипертекста) – скриптовый язык программирования общего назначения для разработки веб-приложений.

**URL** (от англ. *Uniform Resource Locator* – единый указатель ресурса) – сетевой адрес ресурса.

**VPN** (от англ. *Virtual Private Network* – виртуальная частная сеть) – технологии, позволяющие обеспечить безопасные (с использованием средств криптографии) сетевые соединения поверх другой сети (Интернета).

**Логин** (от англ. *Login*) — имя учётной записи пользователя в компьютерной системе, а также процедура входа пользователя в систему.

Рассмотрим вопросы безопасности в системе. Во-первых, с 2016 г. в системе eLab обеспечен доступ по протоколу HTTPS. Также организован удаленный доступ сотрудников к рабочему месту через VPN.

Во-вторых, при подключении к базам данных (БД) системы адрес ресурса URL HTTP(S)-запроса от клиента к серверу веб-приложений и конфигурация данного сервера однозначно определяют файл ресурса. Если ресурс является, например, HTML-файлом или простым текстовым файлом, то содержимое этого файла «как есть» попадает в HTTP(S)-ответ, который уходит к клиенту. Если в качестве ресурса указан PHP-файл, то сервер веб-приложений запускает процесс интерпретатора PHP, в котором исполняется PHP-код из файла ресурса. Результатом работы интерпретатора является HTML-текст, отправляемый клиенту HTTP(S)-ответом.

Если для формирования ответа требуется информация из базы данных, то файл ресурса должен содержать PHP-код подключения к базе данных, в котором указывается имя базы данных, имя пользователя БД и пароль. Так как PHP-код является открытым (не компилируемым), то простой просмотр файла ресурса любым текстовым редактором позволит узнать учетную запись пользователя БД сервера баз данных.

Для исключения этой возможности имя базы данных и учетную запись пользователя БД нельзя задавать в явном виде. Параметры подключения к БД должны в зашифрованном виде храниться в отдельном конфигурационном файле системы, вычитываться при необходимости подключения к базе данных, расшифровываться и поступать в процедуру подключения в качестве входных параметров. Именно такой алгоритм безопасного подключения к базам данных реализован в eLab (см. Рис. 3).

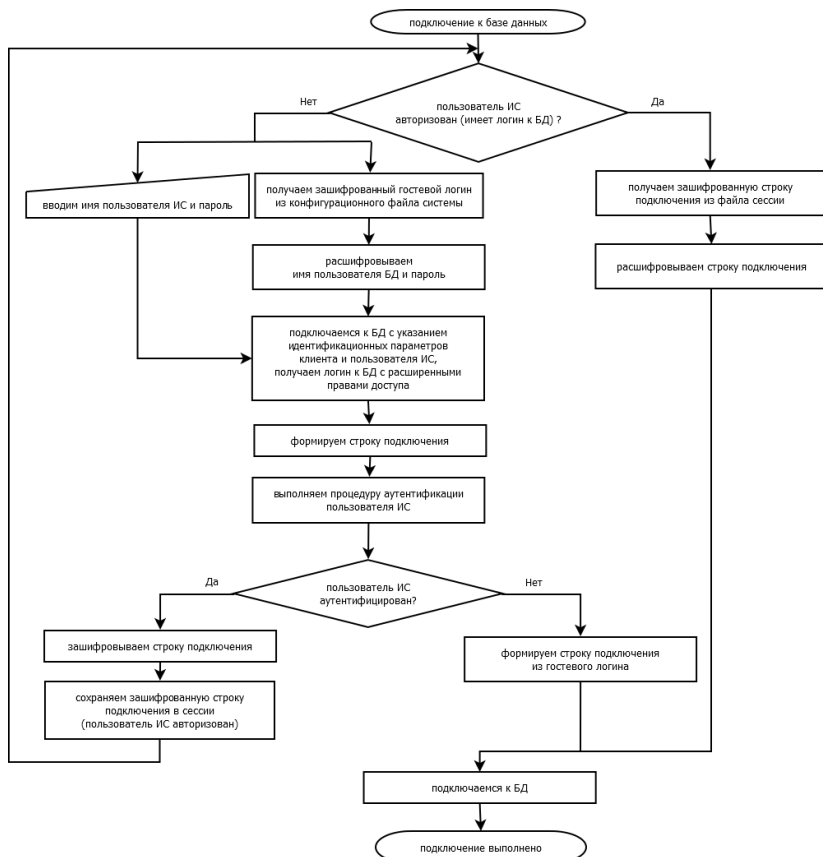


Рис. 3 - Подключение к базе данных

В конфигурационном файле зашифрован безопасный (гостевой) логин к БД, с помощью которого можно выполнить только одну хранимую в базе данных процедуру. Доступ к другим объектам и данным для данного логина ограничен. Указанная процедура принимает на входе идентификационные параметры пользователя ИС и возвращает новый логин с расширенными правами доступа к базе данных, который закрепляется за пользователем ИС в случае успешной аутентификации и в дальнейшем используется для доступа этого пользователя к БД. Указанные логины с расширенными правами доступа недоступны в явном виде для пользователя ни на стороне клиента, ни на стороне сервера приложений.

**Результаты и обсуждение результатов исследования.** Укажем отличительные особенности системы eLab, которые достигнуты в результате развития системы: возможность расширять функциональность системы; настраиваемый пользовательский интерфейс и сохранение его текущих состояний; разделение



полномочий пользователя; быстрая удобная система сортировки, фильтрации и поиска данных; автоматическое обновление и отображение текущего состояния выборки; исключение человеческого фактора и связанных с ним ошибок при формировании регистрационных записей в журналах и выходных документах. Последнее достигается путем использования следующих возможностей системы:

- простой механизм вставки, редактирования, удаления записей, редактирование одновременно нескольких записей;
- проверка правильности вводимых данных, отмена ошибочно введенных данных;
- исключение дублирования вводимой информации;
- автоматическая генерация выходных документов для отчетов по установленной форме;
- возможность пользователю вносить изменения в шаблоны итоговых документов, легко настраивая систему на специфику каждой конкретной лаборатории.

Система eLab, обладая платформенной независимостью серверных и клиентских компонентов, позволяет:

- автоматизировать лабораторные процессы;
- существенно сократить время на:
  - регистрацию образцов и результатов испытаний;
  - выпуску паспортов качества продукции;
  - поиск соответствующих записей в лабораторных журналах;
- полностью исключает ошибки операторов при создании документов;
- формирует сводную лабораторную отчетность;
- повышает производительность лаборатории, качество выполняемых работ и качество контроля за выполнением работ.

Электронная система «E-lab ГСМ» решает следующие производственные задачи:

- управление образцами, поступающими на испытания, регистрация результатов испытаний, паспортизация и контроль качества ГСМ, ведение лабораторных журналов по установленным нормам в соответствии с системой менеджмента качества (СМК) предприятия;
- определение показателей качества в рамках проводимых испытаний, строго регламентируемых нормативной базой и списком параметров испытаний, позволяя четко контролировать выполнение работы, минимизировать издержки и обеспечить эффективное использование оборудования и расходных ресурсов;
- управление складом расходных материалов, включая химические реактивы, учет и контроль средств измерений и испытательного оборудования;
- ведение документооборота в части работы с заказчиками, включая систему ведения договоров, управление счетами-нарядами и актами выполненных работ по установленным нормам;
- управление запасами ГСМ длительного хранения, включая управление складами и резервуарами хранения ГСМ, контроль и прогнозирование состояния ГСМ, формирование сводных планов состояния ГСМ для всех структурных единиц.

**Выводы.** Круглосуточная работа системы «E-lab ГСМ» с 2012 года на обеспечении в 202 Химмотологическом центре горючего Вооружённых Сил Республики Беларусь продемонстрировала ее эффективность, доступность, надежность, безопасность и безотказность системы.

Таким образом показано, что система eLab представляет собой хорошо проработанный программный продукт, находящийся в постоянной эксплуатации, легко модифицируемый и адаптируемый под условия проекта [4, 6]. Аналогов разработанной системы eLab в Республике Беларусь нет.

В заключение приведем некоторые возможные применения программных продуктов, разработанных на основе системы eLab, для использования при автоматизации систем учета и контроля разнообразной направленности в Вооруженных Силах Республики Беларусь:

1. электронная система контроля качества и управления запасами горючих и смазочных материалов «E-lab ГСМ», полностью готовая к установке в частях и подразделениях ВС РБ;
2. система учета и контроля взрывчатых и других опасных веществ;
3. система электронного документооборота для частей и учреждений тылового и технического обеспечения.

**Выражение благодарности.** Работа выполнена в рамках х/д «Исследование алгоритмов повышения производительности системы контроля качества и управления запасами ГСМ Вооружённых Сил Республики Беларусь» «E-lab ГСМ» с 202 Химмотологическим центром горючего Вооружённых Сил Республики Беларусь и задания 3.1.15 подпрограммы 3 «Атомная энергетика и ядерно-физические технологии» ГПНИ «Энергетические системы, процессы и технологии».

#### Список литературы:

1. Черепица, С. В. Система контроля качества и управления запасами горюче-смазочных материалов / С.В. Черепица [и др.]. // Материалы «Международный конгресс по информатике: информационные системы и технологии», г. Минск, 31 октября – 3 ноября 2011 г. – С. 223–227.
2. Charapitsa, S.V. Electronic Management System of Accredited Testing Laboratory E-Lab. / S.V. Charapitsa [et al.] // Abstracts of the 17 International Conference “Mathematical Modelling and Analysis”, June 6–9, 2012, Tallinn, Estonia. – P. 30.
3. Черепица, С. В. Электронная система контроля качества и управления запасами горючих и смазочных материалов «E-lab ГСМ» / С. В. Черепица [и др.]; НИИ ЯП БГУ. – Мн., 2013. – 85 с. : 78 илл. – Рус. – Деп. в ГУ «БелиСА» 26.03.2013 г., № Д201310.
4. Сытова, С.Н. Применение фреймворка ELAB в атомной энергетике / С. Н. Сытова, А. С. Лобко, С.В.Черепица // Доклады IV Межд. Конф. «Ядерные технологии XXI века» (Минск 21-23 октября 2014 г.) / ГНУ «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны НАН Беларуси». – Минск: Право и экономика, 2014. С. 18–23.
5. Сытова, С. Н. Свободное программное обеспечение в области ядерной и радиационной безопасности / С. Н. Сытова [и др.]. // Программа и тезисы докладов VI Межд. Конф. «Ядерные технологии XXI века» (Минск 25–27 ок



тября 2016) / ГНУ «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны НАН Беларуси». – Минск: Право и экономика, 2016. С. 21.

6. Сытова, С. Н. Фреймворк eLab для широкого круга приложений / С. Н. Сытова [и др.]. // Фундаментальные и прикладные физические исследования. 2010–2016 гг. – Минск: Изд-во БГУ, 2016. С.388–399.

УДК 631.321

## **СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА С ПОВЫШЕННЫМИ ТРЕБОВАНИЯМИ К СПЕКТРАЛЬНОЙ И ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОДНОРОДНОСТИ СВЕТОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК**

**Трофимов Ю.В., Лишик С.И., Поседько В.С., Цвирко В.И., Керножицкий Е.В., Челяпин А.Е., Першукевич П.П., Бегунов П.С.**

*Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий Национальной академии наук Беларуси, Минск*

**Введение.** Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий Национальной академии наук Беларуси (далее – ЦСОТ) является одним из ведущих научно-производственных предприятий в области научных исследований, разработки и производства светодиодной техники в Республике Беларусь. Так в период с 2009 г. по 2016 г. разработаны и освоены в производстве высокоэффективные светодиодные уличные светильники, светильники для нужд жилищно-коммунального хозяйства, светодиодные тепличные облучатели, и т.п.

Также в ЦСОТ накоплен определенный опыт и имеется ряд разработок, в том числе двойного назначения, в области специализированных источников света с повышенными требованиями к спектральной и пространственной однородности световых характеристик[1]. Далее будут рассмотрены некоторые из них: специализированный осветитель с повышенными требованиями к пространственной однородности светового потока, камера визуальной оценки цветопередачи (цветовой кабинет) и светодиодные источники излучения метрологического назначения.

### **1. Специализированный осветитель с повышенными требованиями к пространственной однородности светового потока**

Специализированный осветитель предназначен для выполнения исследований (испытаний) электрооптических характеристик узлов, компонентов и изделий в целом фото- и видеорегистраторов при регулируемых по интенсивности и пространственно-однородных уровнях освещенности, а также высоком качестве цветопередачи освещаемых объектов (не менее 95).

Конструктивно специализированный осветитель состоит из монтажного отсека, источников света, системы управления яркостью свечения, а также первичного и вторичного рассеивателей (рис. 1).

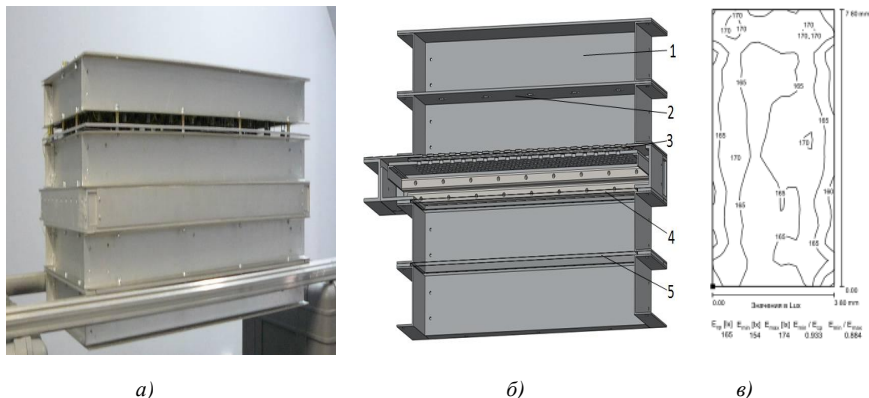
Учитывая высокие требования к спектральному составу излучения (0,4-1,0 мкм), коэффициенту цветопередачи, и временной стабильности данных параметров в качестве источников света были использованы галогенные лампы накаливания мощностью 50 Вт каждая. Для увеличения срока службы лампы использовались в режиме половинной мощности. Всего использовано 50 галогеновых ламп, расположенных в виде матрицы 5x10 с шагом 80 мм по осям x-y.

Регулирование уровня освещенности при одновременном сохранении высокого значения индекса цветопередачи осуществлялось механически посредством перемещения друг относительно друга двух диафрагм при помощи микровинтов.



Высокая однородность светового потока обеспечивалась нанесением светоотражающего пленочного покрытия на стенки секции источников света, а также использованием системы первичного и вторичного рассеивателя.

Проведенные светотехнические расчеты и последующие экспериментальные измерения показали, что неоднородность светового потока по рабочей поверхности размером 380×780 мм составляет не более 12%.





*Рис. 2 – Внешний вид камеры визуальной оценки цветопередачи, подготовленной к эксперименту. Правая половина камеры освещена опорным источником, а левая светодиодным источником света.*

Камера разделена на два отделения – одно освещается светодиодными источниками света, другое – галогенной лампой накаливания, работающей в режиме источника типа А МКО. Светодиодные источники света имеют 4 режима освещения, отличающиеся коррелированной цветовой температурой (КЦТ): 2850К, 4500К с двумя различными индексами цветопередачи (80, 90) и 6500К. Режим освещения первого типа (2850 К) реализован на основе белых люминофорных светодиодов. При этом КЦТ источника соответствует стандартному источнику типа А МКО. Второй и третий режимы освещения (4500 К) реализованы на основе разноцветных RGB-светодиодов с различными индексами цветопередачи. Режим освещения четвертого типа (6500 К) реализован на основе белых люминофорных светодиодов и соответствует стандартному источнику типа D65 МКО. Следует отметить, что существует возможность одновременного включения всех четырех типов светодиодного освещения.

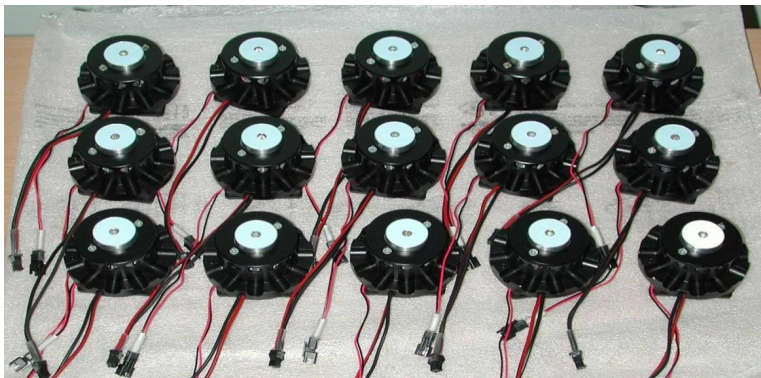
Внутренняя поверхность отделений камеры покрыта серой матовой краской для исключения бликов и снижения дискомфорта для оператора. Уровень освещенности в рабочей зоне оценки цвета составляет 2000 люкс при максимальной электрической мощности не более 250 Вт.

### **3. Светодиодные источники излучения метрологического назначения**

На момент выполнения данной разработки в Республике Беларусь отсутствовали эталонные светодиодные источники излучения (эталон яркости), что в определенной степени сдерживало развитие светодиодной техники в Беларуси. Первым шагом в преодолении препятствий в осуществлении единства измерений послужила разработка и изготовление опытных образцов светодиодных источников излучения метрологического назначения (СИИМН). На рисунке 3 СИИМН пяти типов, различающихся формой спектрального распре-



деления излучения. Каждый СИИМН содержит один мощный светодиод (3 Вт) производства Philips Lumileds Lighting.

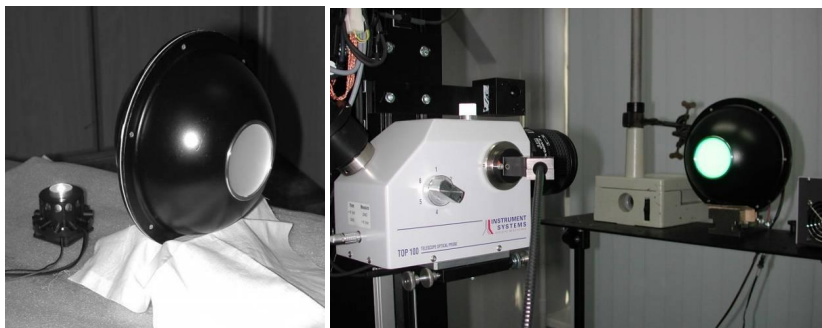


*Рис. 3– Фотография партии опытных образцов СИИМН*

Хорошо известно, что оптические характеристики полупроводниковых источников излучения существенно зависят от температуры активной области, величина которой определяется выделяемой светодиодом тепловой мощностью и температурой окружающей среды [2,3]. Поэтому электрическое питание СИИМН должно осуществляться от высокоточного источника тока, а конструкция СИИМН должна обеспечивать равномерный оперативный отвод выделяемого тепла. Как правило, метрологические лаборатории оснащены системой кондиционирования воздуха, поэтому достаточно провести калибровку СИИМН при фиксированных значениях температуры окружающего воздуха. Другие климатические факторы (влажность воздуха, атмосферное давление) потенциально оказывающие влияние на оптические характеристики СИИМН в данной работе не учитывались как менее значимые.

Корпус СИИМН состоит из двух вложенных друг в друга частей, между которыми принудительным образом прокачивается воздух. На внутреннюю часть или радиатор устанавливается светодиод, а на внешний корпус (с противоположной стороны) – вентилятор.

Форма корпуса СИИМН специально разработана для обеспечения возможности калибровки по двум светотехническим единицам: «усредненная» сила света светодиода в соответствии с требованиями технического регламента № 127 МКО и световая яркость. В первом случае СИИМН устанавливается в прецизионный измерительный тубус, таким образом, чтобы вершина светодиода находилась на расстоянии 100 мм от входного окна измерительной головки. В другом случае СИИМН устанавливается во входное окно ИС с внутренним диаметром 140 см. Конструкция ИС обеспечивает равномерное свечение всей поверхности выходного окна. В этом случае выходное окно ИС диаметром 58 мм служит калибруемым источником излучения, в соответствии с рис. 4.



*Рис. 4 – Фотографии СИИМН и ИС (слева) и части установки по измерению световой яркости и цветности поверхности ИС (справа)*

Проведенные в аккредитованной испытательной лаборатории ЦСОТ измерения спектральных распределений источников излучения, «усредненной» силы света СИИМН, световой яркости поверхности выходного окна интегрирующей сферы, освещаемой СИИМН, цветовых характеристик (координаты цвета X, Y, Z, координаты цветности (x, y), коррелированная цветовая температура) показали высокую стабильность их характеристик.

**Закключение.** Таким образом, на основе проведенных исследований разработаны и изготовлены специализированные источники света, отличающиеся повышенными требованиями к спектральной и пространственной однородности световых характеристик. Созданные устройства имеют большую практическую значимость для развития светодиодной техники, а также с успехом могут применяться для определения фотоэлектрических характеристик узлов, компонентов и видео- и фоторегистрирующих устройств в целом.

#### **Список литературы:**

1. Лишик С.И., Паутино А.А., Поседько В.С., Трофимов Ю.В., Цвирко В.И. Проблемы применения светодиодов в осветительных и светосигнальных устройствах и пути их решения // Светотехника.-2008.-№ 4.-С.22-26.
2. Бумай Ю.А., Бобученко Д.С., Трофимов Ю.В., и др. Определение температуры нагрева мощных светодиодов оптическими и электрическими методами // Материалы 4-ой межд. науч.-техн. конф. «Приборостроение-2011» / Мн.: БНТУ, 2011 – с.37-38.
3. Ю.В.Трофимов, С.И.Лишик, П.П.Першукевич, В.И.Цвирко. Физико-математическая модель полого теплового радиатора для светодиодных уличных светильников // Сб. статей 9-ого Белорусско-Российского семинара «Полупроводниковые лазеры и системы». – 2013.- С.154-157.



УДК 681.785:681.7.068

## ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКАЯ ПЕРИМЕТРОВАЯ ОХРАННАЯ СИСТЕМА «ЗУБР-ИНТЕЛЛЕКТ»

**Чернышёв В. П.<sup>1</sup>, Альгина Е.Г.<sup>1</sup>, Поляков А.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ООО «ГамбитФорт», Беларусь, г. Минск, <sup>2</sup>Белорусский государственный университет

Системы охраны периметра представляют собой комплексную задачу, включающую в себя электронные, оптические и визуальные методы наблюдения, и предназначены для надежного и эффективного раннего обнаружения нарушителя.

ООО «ГамбитФорт» совместно с Белорусским государственным университетом ведет работы по разработке интеллектуальных волоконно-оптических комплексов охраны периметра [1,2]. Так, в частности, компанией разработана и внедрена в практику, включая участок государственной границы РБ длиной ~ 50 км, периметровая охранная система «ЗУБР-Интеллект», в которой путём сочетания высокой чувствительности вибрационных волоконно-оптических датчиков с возможностями алгоритмов машинного обучения и нейрокompьютерных технологий достигнуты оптимальные и достаточно привлекательные для потребителя значения критерия «цена/качество».

Система «ЗУБР-Интеллект» обеспечивает надёжное (с вероятностью не менее 0,95) обнаружение любого, в том числе подготовленного нарушителя, проникающего через ограду внутрь охраняемого периметра. При этом достигается весьма низкая вероятность ложных срабатываний вследствие воздействия на ограду и специализированный волоконно-оптический сенсорный кабель как природных (ветер, дождь, град, грозовые разряды, птицы, животные и др.) и техногенных (ж/д транспорт, строительные работы и др.), так и технологических факторов, связанных с изменением упругих свойств элементов ограды вследствие их старения, играющих важную роль в формировании сигналов системы.

Сигналы, приходящие с ограды, анализируются программным комплексом «ЗУБР-Интеллект», обладающим элементами искусственного интеллекта, что даёт возможность «обучения» системы в условиях охраняемого объекта с целью распознавания и запоминания сигналов, генерируемых данной оградой при различных её возмущениях. Формируемый программой многопараметрический образ сигнала тревоги позволяет в автоматическом режиме отличать факт реального нарушения от других типов возмущений.

### Список литературы:

1. Поляков А.В., Альгина Е.Г. Нейрокompьютерные и волоконно-оптические технологии, применяемые для охраны периметра // Военно-промышленный комплекс. Беларусь. – 2016. – №1. – С.60–66.
2. Поляков А. В., Альгина Е. Г., Чернышёв В. П. Интеллектуальный волоконно-оптический комплекс охраны периметра // Информационные системы и технологии: Материалы Межд. научного конгресса по информатике, Минск, 24–27 октября 2016г. / БГУ. – Минск, 2016. – С. 787–792.



## СРЕДСТВА ПОДВИЖНОСТИ ВООРУЖЕНИЯ

МИНСКИЙ ЗАВОД  
КОЛЕСНЫХ ТЯГАЧЕЙ

**VOLAT**



ТЕХНИКА, НЕ ЗНАЮЩАЯ ПРЕГРАД

MINSK WHEEL TRACTOR PLANT  
150, Partizanski Ave., 220021,  
Belarus, Minsk  
e-mail: [link@mzkt.by](mailto:link@mzkt.by)  
[www.mzkt.by](http://www.mzkt.by)

ОАО «МИНСКИЙ ЗАВОД КОЛЕСНЫХ ТЯГАЧЕЙ»  
пр-т Партизанский, 150, 220021, г. Минск,  
Республика Беларусь  
тел. (+375 17) 330-19-50  
e-mail: [link@mzkt.by](mailto:link@mzkt.by)  
[www.volatdefence.com](http://www.volatdefence.com)



УДК 629.3.021

## РАСЧЁТНОЕ ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЬНОГО РЯДА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ДЛЯ СЕМЕЙСТВА ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ ОАО «МЗКТ». ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА FLOWVISION ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЛОПАСТНОЙ СИСТЕМЫ

Белабенко Д.С.<sup>1</sup>, Романенко С.А.<sup>1</sup>, Шмелев В.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ОАО «Минский завод колесных тягачей», <sup>2</sup> Инжиниринговая компания  
«ТЕСИС»

**Состояние вопроса.** Всестороннее исследование работы гидромеханической передачи (ГМП) и её составных частей является актуальной задачей в виду не только широкого применения на автомобильной технике, но и постоянного совершенствования этого вида трансмиссии. Анализируя научные публикации и современные конструкции ГМП зарубежного и отечественного производства можно сделать вывод, что их развитие идёт в областях кинематических схем, исполнительных механизмов и систем управления.

Гидродинамический трансформатор (ГДТ), являясь одной из основных частей ГМП, позволяющей бесступенчато изменять крутящий момент на ведущих колёсах автомобиля в зависимости от сопротивления движению [1], редко упоминается в научных публикациях. Предположительно, причиной тому может быть то обстоятельство, что значительная часть современных ГМП использует ГДТ только на режиме трогания автомобиля, плавность при дальнейшем движении обеспечивается современными мехатронными системами управления двигателя и ГМП.

В связи с особенностями эксплуатации техники ОАО «МЗКТ» использование ГДТ в силовом потоке даёт ряд преимуществ, особенно при преодолении автомобилем участков с тяжёлыми дорожными условиями за счёт плавного изменения крутящего момента на ведущих колёсах без разрыва потока мощности. Поэтому режим разблокированного ГДТ в шестиступенчатых ГМП ОАО «МЗКТ» в мощностном диапазоне 150...480 кВт используется на всех передачах кроме пятой и шестой, когда дорожные условия позволяют двигаться со скоростями близкими к максимальным. В таком случае для уменьшения расхода топлива и повышения тягово-динамических свойств необходимо особое внимание уделять характеристике совместной работы двигателя и ГДТ с обеспечением наибольшего диапазона регулирования передаточного числа трансмиссии на каждой передаче [2].

В настоящий момент для ГМП нового семейства ОАО «МЗКТ» применяется по одному ГДТ на каждую модель. Завод не имеет собственного производства лопастных колёс ГДТ и методик их проектирования. Как показывает мировая практика, например, компания Allison использует несколько ГДТ для каждой модели ГМП, что позволяет обеспечивать оптимальные характеристики совместной работы с двигателями, которые заключаются в обеспечении требуемых тяговых свойств автомобиля и в то же время прочности деталей ГМП.

Другое решение этой задачи заключается в применении согласующего редуктора. Однако использование такого редуктора усложняет и удорожает конструкцию. Поэтому развитие ГМП в области оптимизации их работы с применяемыми двигателями целесообразно вести в направлении увеличения количества модификаций лопастных систем ГДТ для каждой модели ГМП.

### Устройство ГДТ производства ОАО «МЗКТ»

В конструкции ГМП ОАО «МЗКТ» в мощностном диапазоне 150...480 кВт используются одноступенчатые ГДТ с центростремительным турбинным колесом 2, центробежным насосным колесом 1 и осевым реактором 3, установленным на муфте свободного хода 4 (Рисунок 1).

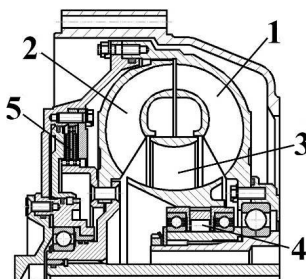


Рис. 1 – Конструкция ГДТ ОАО «МЗКТ»

1 – насосное колесо; 2 – турбинное колесо; 3 – реакторное колесо; 4 – муфта свободного хода; 5 – фрикционная муфта блокировки ГДТ.

В конструкции установлена фрикционная муфта 5, используемая для блокировки ГДТ, что позволяет снижать расход топлива и передавать полную мощность двигателя на ведущие колёса.

Учитывая, что многие производители ГМП перешли к использованию ГДТ с одним реактором благодаря применению технологий получения более качественной обработки поверхностей лопастных колёс при использовании ГДТ с низким коэффициентом трансформации [3] и получению более дешёвой конструкции за счёт применения одного реактора вместо двух, описанная конструкция может быть принята в качестве базовой для разработки модельного ряда ГДТ.

**Аналоги модельных рядов ГДТ.** В качестве первого этапа по разработке методики проектирования лопастных колёс ГДТ следует определить принципы построения модельного ряда. Изучение аналогов позволило выявить принципы, по которым строятся модельные ряды ГДТ других производителей.

Анализ характеристик ГДТ компании Allison серий WT2000, 3000, 4000, 6000 позволяет сделать вывод о количестве модификаций лопастных систем ГДТ. В таблице 1 представлен перечень ГДТ компании Allison с максимальными коэффициентами трансформации, взятыми из рекламных материалов [4].

Выделяется пять модификаций лопастных систем, которые можно условно разделить по значению максимального коэффициента трансформации  $K_0$  (коэффициент  $K_0$ ) на пять групп: группа 1 – 1.58...1.62; группа 2 – 1.73...1.79; группа 3 – 1.85...2.20; группа 4 – 2.34...2.44; группа 5 – 2.71...2.89.





К одной группе отнесены модификации лопастных систем ГДТ с близкими коэффициентами  $K_0$ , применяемых для различных серий ГМП.

С учётом описанной в работе Х.Л. Брацлавского [5] зависимости между такими параметрами ГДТ как коэффициент  $K_0$ , коэффициент прозрачности П (Коэффициент П) и коэффициент крутящего момента насосного колеса  $\lambda_n$  (коэффициент  $\lambda_n$ ), можно сделать вывод, что различные группы лопастных систем, приведенных в таблице 1, отличаются по всем трём параметрам. Как видно компания Allison проводит классификацию ГДТ по коэффициенту  $K_0$ , что объясняется необходимостью обеспечить величину крутящего момента на входе в редуктор ниже допустимого по условию прочности деталей.

В книге «Гидродинамические передачи строительных и дорожных машин» [5] описывается модельный ряд ГДТ, в основе построения которого лежит принцип приведения характеристик ГДТ в соответствие с характеристиками совместно применяемых двигателей. Как справедливо замечает автор [5], промышленностью изготавливается большая номенклатура двигателей, мощность которых постоянно увеличивается. С учётом широкой номенклатуры двигателей и различной величины отбираемой мощности до ГМП для различных транспортных средств количество модификаций лопастных систем ГДТ должно быть практически неограниченным.

На момент проведения исследования ВНИИстройдормаш [5] на отечественной и зарубежной технике применялись ГДТ, которые насчитывали 60 модификаций лопастных систем, 50 типоразмеров активных диаметров и 12 различных схем расположения колёс. Такое разнообразие позволяло обеспечить оптимальное совмещение с применяемыми на тот момент двигателями, однако являлось слишком большим для организации серийного производства на отдельном заводе. К тому же, как упоминалось, с течением времени мощностной диапазон применяемых двигателей расширяется, что требует разработки новых модификаций ГДТ.

Таблица 1 – Таблица параметров ГДТ компании Allison

Серии ГМП 2100/2200		Серии ГМП 3000/3200	
Обозначение ГДТ	Коэффициент $K_0$	Обозначение ГДТ	Коэффициент $K_0$
ТС–210	2,05	ТС–411	2,71
ТС–211	1,91	ТС–413	2,44
ТС–221	1,73	ТС–415	2,35
ТС–222	1,58	ТС–417	2,20
		ТС–418	1,98
		ТС–419	2,02
		ТС–421	1,77
Серия ГМП 4000		Серия ГМП 6000	
Обозначение ГДТ	Коэффициент $K_0$	Обозначение ГДТ	Коэффициент $K_0$
ТС–521	2,42	ТС–580	2,89
ТС–531	2,34	ТС–680	2,08
ТС–541	1,90	ТС–682	1,77
ТС–551	1,79	ТС–683	1,85
ТС–561	1,58		
ТС–571	1,62		

Исследования позволили сделать следующие выводы о принципах построения модельного ряда ГДТ [5]:

1. Для параметрического модельного ряда (образованного изменением типоразмеров по активному диаметру и модификациями лопастной системы) целесообразно применять ГДТ, состоящий из трёх лопастных колёс с центроостримительным турбинным колесом;

2. Для работы с двигателями максимальной мощностью до 550 л.с. целесообразно применять параметрический модельный ряд ГДТ из четырёх типоразмеров ГДТ (340, 390, 450, 520 мм) и семи модификаций лопастных систем.

Исследование также показывает, что ведущие зарубежные компании имеют подобные параметрические модельные ряды с количеством модификаций лопастной системы по мощности для каждого типоразмера активного диаметра равным: TwinDisk – от 5 до 8; Clark – 3; Allison – 5 [5].

Таким образом, графическое изображение модельного ряда ГДТ, разработанного ВНИИстройдормаш имеет вид, показанный на рисунке 2 [5].

Как видно из рисунка 2 параметрический модельный ряд ГДТ устроен так, что первая и седьмая модификации лопастных систем соседних типоразмеров по активному диаметру взаимозаменяемы. Модельный ряд перекрывает мощностной диапазон двигателей от 30 до 550 л.с. Недостатком описанного параметрического модельного ряда ГДТ является то, что в принципах его построения не учитывается существующая номенклатура двигателей, требующих учёта коэффициентов  $K_0$  и  $P$ .

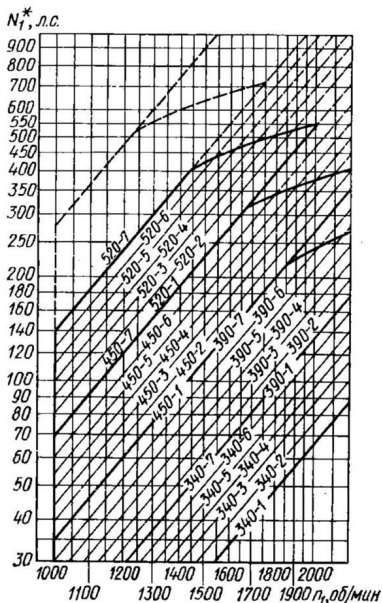


Рис. 2 – Параметрический модельный ряд ГДТ ВНИИстройдормаш



Один из модельных рядов ГДТ, производимых в СССР, описан в ГОСТ 20228-74 [6]. На основании информации, приведённой в упомянутом стандарте, возможно построить графическое отображение различных ГДТ в системе координат с абсциссой крутящего момента насосного колеса при нормированных параметрах и ординатой коэффициента  $\Pi$ .

В качестве нормированных значений параметров, при которых определяется крутящий момент, взяты указанные в ГОСТ 20228-74 частота вращения  $1800 \text{ мин}^{-1}$ , плотность рабочей жидкости  $840 \text{ кг/м}^3$ , коэффициент крутящего момента насосного колеса  $\lambda_{НК1}$  при коэффициенте трансформации  $K=1$ .

Коэффициент  $\Pi$  определяется по формуле (1) [1], [2]:

$$\Pi = \frac{\lambda_{Hmax}}{\lambda_{НК1}}, \quad (1)$$

где  $\lambda_{Hmax}$  – максимальный коэффициент крутящего момента насосного колеса;

$\lambda_{НК1}$  – коэффициент крутящего момента насосного колеса при коэффициенте трансформации  $K=1$ .

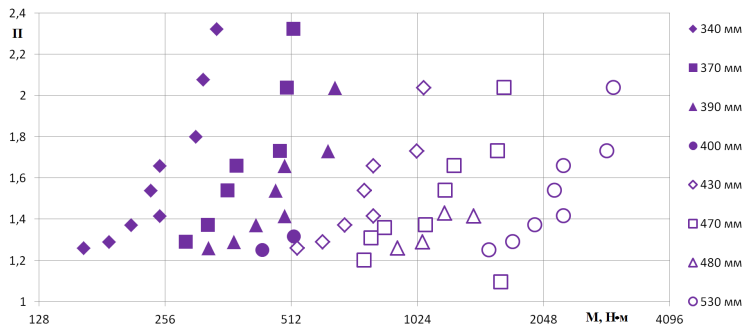


Рис. 3 – Графическое изображение модельного ряда лопастных систем ГДТ по ГОСТ 20228-74 в зависимости от коэффициента  $\Pi$ , крутящего момента насосного колеса (при нормированных параметрах) и активного диаметра

Как видно из графика модельный ряд составлен из ГДТ имеющих 8 типоразмеров по активному диаметру, каждый из которых содержит до 9 модификаций лопастных систем. Справа от графика указаны условные обозначения модификаций лопастных систем для каждого типоразмера по активному диаметру. С учётом того, что каждая модификация лопастной системы отличается одновременно коэффициентами  $\lambda_H$  и  $\Pi$ , то можно все лопастные системы условно разделить на 10 модификаций по коэффициенту  $\Pi$ .

Анализ модельного ряда ГДТ компании Zahnradfabrik, проведён по рекламным материалам [7], из которых видно, что немецкая компания имеет 12 типоразмеров по активному диаметру (Таблица 2). Представление о модификациях лопастной системы можно получить при рассмотрении руководств по эксплуатации ГМП.

Так, например, для ГМП ZF-ECOMAT 4 моделей HP 504 C / HP 594 C / HP 604 C из руководства по эксплуатации можно почерпнуть информацию о

параметрах безразмерной характеристики ГДТ [8]. В таблице 3 приведены значения крутящего момента насосного колеса при частоте вращения  $1000 \text{ мин}^{-1}$  и коэффициент  $K_0$  для некоторых лопастных систем.

По рассмотренным характеристикам ГДТ компании Zahnradfabrik можно сделать вывод, что модельный ряд является параметрическим, состоящим из указанных в таблице 2 типоразмеров по активному диаметру, которые имеют различные модификации лопастных систем.

Таблица 2 – Типоразмерный ряд по активному диаметру модельного ряда ГДТ компании Zahnradfabrik

Активный диаметр, мм	Крутящий момент на насосном колесе при частоте, Н·м		Максимальный коэффициент трансформации
	$1000 \text{ мин}^{-1}$	$2000 \text{ мин}^{-1}$	
240		70-150	2,8-2,1
279,4		100-410	3,1-1,9
280		90-370	3,3-2,0
300		160-620	3,3-1,9
309,9		95-850	4,2-1,8
340	80-260		3,1-2,1
360	140-390		2,6-2,2
370		190-460	3,0-1,8
380	370-720		2,6-2,1
390	330-730		2,2-1,8
400	250-1040		2,5-1,6
440	800-1600		2,1-1,4

Таблица 3 – Характеристики ГДТ компании Zahnradfabrik

Модель ГДТ	Крутящий момент насосного колеса при частоте $1000 \text{ мин}^{-1}$ , Н·м	Коэффициент $K_0$
W360*TPC145*MUE2.22	145	2.215
W360*TPC210*MUE2.43	210	2.430
W360*TPC262*MUE2.40	262	2.400
W360*TPC300*MUE2.36	300	2.360
W360*TPC342*MUE2.27	342	2.270
W360*TPC390*MUE2.17	390	2.165
W390*TPC392*MUE2.20	392	2.195
W390*TPC487*MUE1.98	487	1.982
W390*TPC615*MUE1.83	615	1.829

Отдельные примеры использования ГДТ на советской автомобильной технике представлены в книге «Армейские автомобили» [1]: ГАЗ-13 «Чайка» (ГДТ с коэффициентом  $K_0=2.5$ ), «Волга» ( $K_0=2.1$ ), ЗИЛ ( $K_0=2.75$ ), МАЗ ( $K_0=3.4$ ).

Сравнение советских ГДТ с зарубежными, приведённое в работе Л.Г. Красневского [9], показывает, что на тяжёлой технике применялись преимущественно ГДТ с коэффициентом  $K_0=3.0...3.2$ . Такое высокое значение может быть следствием необходимости увеличения низкого крутящего момента двигателя. С одной стороны при таком значении коэффициента  $K_0$  на стоп-режиме



детали редуктора воспринимают высокий крутящий момент, требующий увеличения их размеров, с другой – требуется меньший диапазон передаточных чисел в редукторе за счёт увеличенного силового диапазона ГДТ. Советские ГДТ имели коэффициент  $K_0$  не ниже 2.0. Подобное положение для отечественных ГДТ сохранилось и в настоящее время.

Из таблиц 2 и 3 видно, что компания Zahnradfabrik имеет часть ГДТ с коэффициентом  $K_0$  ниже 2.0. Это ещё одно ограничение, которое необходимо учитывать при разработке ГДТ, оказывающее влияние на нагруженность деталей ГМП.

На рисунке 4 представлена зависимость между коэффициентами безразмерной характеристики ГДТ, взятая из работы Х.Л. Брацлавского [5].

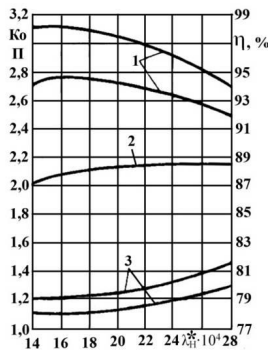


Рис. 4 – Зависимость параметров безразмерной характеристики ГДТ от коэффициента крутящего момента  $\lambda_H^*$  при максимальном коэффициенте полезного действия (КПД)

1 – зависимость диапазона коэффициента  $K_0$  от коэффициента  $\lambda_H^*$ ; 2 – зависимость КПД от коэффициента  $\lambda_H^*$ ; 3 – зависимость диапазона коэффициента  $\Pi$  от коэффициента  $\lambda_H^*$

В работе Н.Д. Мазалова [10] содержатся результаты исследования характеристик существующих ГДТ на предмет определения их взаимосвязи с коэффициентом  $\Pi$  (Рисунок 5).

Современные тенденции развития не только ГДТ, но и двигателей накладывают свои ограничения на принципы построения модельного ряда ГДТ. Стандартизация присоединительных размеров картера и маховика двигателя ограничивает активный диаметр лопастных колёс. В таблице 4 представлены посадочные диаметры в картере двигателя по стандарту SAE.

**Расчётная методика.** Рассмотренные выше отечественные направления, методики и приёмы проектирования модельных рядов ГДТ имеют ряд недостатков. Имеющаяся информация по зарубежным модельным рядам ГДТ не позволяет судить о принципах построения, однако может быть полезной в качестве ориентира для создания модельного ряда ГДТ ОАО «МЗКТ».

На основе проделанной работы установлено, что оценка рациональности выбора модели ГДТ для совместного применения с двигателями должна вестись

не только на основе оптимальной характеристики совместной работы, но учитывать коэффициент трансформации и стандартные размеры картера маховика.

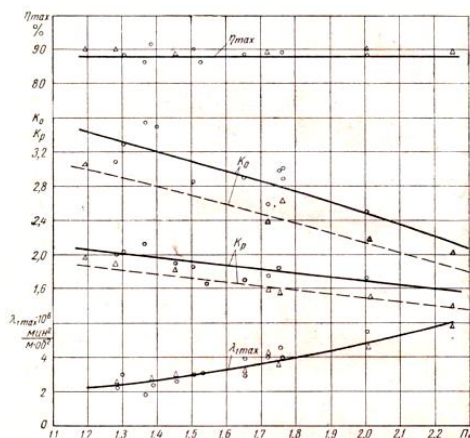


Рис. 5 – Свойства одноступенчатых комплексных ГДТ

$\eta_{max}$  – максимальный КПД;  $K_0$  – диапазон максимального коэффициента трансформации;  $K_p$  – диапазон рабочего коэффициента трансформации;  $\lambda_{1max}$  – максимальный коэффициент крутящего момента насосного колеса

На технику ОАО «МЗКТ» устанавливается ГМП собственного производства с двигателями мощностью от 150 до 480 кВт. При разработке методики к ней предъявлялось требование возможности расширения модельного ряда за счёт выхода за пределы указанного диапазона.

Таблица 4 – Посадочные диаметры в картере двигателя по стандарту SAE

Размер	Диаметр		Применяется в ОАО «МЗКТ»
	дюймы	миллиметры	
SAE00	31.000	787	-
SAE0	25.500	678	-
SAE1/2	23.000	584	-
SAE1	20.125	511	+
SAE2	17.652	448	+
SAE3	16.125	410	+
SAE4	14.250	362	-
SAE5	12.375	314	-
SAE6	10.500	267	-

Методика построения модельного ряда ГДТ ОАО «МЗКТ» позволяет проводить учёт разнообразия применяемых двигателей и механических редукторов в составе ГМП. Требования по учёту характеристик современных двигателей удовлетворяются путём нанесения на координатную систему модельного



ряда ГДТ коэффициентов, рассчитанных на основании внешней скоростной характеристики двигателей.

Для каждого двигателя определяется два параметра: А (характеризует максимальную мощность), Б (характеризует максимальный крутящий момент). Упомянутые параметры определяются по формулам (2) и (3).

$$A = N_{\max} / (w_N)^3, \quad (2)$$

где  $N_{\max}$  – максимальная мощность двигателя;

$w_N$  – угловая скорость двигателя при максимальной мощности.

Параметр А по своему физическому смыслу определяет требуемую энергоёмкость ГДТ при максимальной мощности двигателя.

$$B = M_{\max} / (w_M)^2 \quad (3)$$

где  $M_{\max}$  – максимальная крутящий момент двигателя;

$w_M$  – угловая скорость двигателя при максимальном крутящем моменте.

Параметр Б по своему физическому смыслу определяет требуемую энергоёмкость ГДТ при максимальном крутящем моменте двигателя.

Третий параметр  $\Pi_d$ , вычисляемый по формуле (4), определяет требуемый коэффициент прозрачности ГДТ.

$$\Pi_d = B / A \quad (4)$$

Таким образом каждый двигатель можно разместить в виде точки на координатной системе с осью абсцисс представляющей энергоёмкость ГДТ при коэффициенте трансформации  $K=1$  и осью ординат представляющей коэффициент прозрачности  $\Pi$ . Размещенные точки на координатной системе соответствуют параметрам идеального ГДТ для применения с конкретным двигателем. В действительности часть мощности отбирается на привод различного оборудования, и требуемые характеристики ГДТ отличаются от идеальных. Несмотря на описанный недостаток, упомянутый график позволяет определить общую картину, на основании которой можно построить модельный ряд, обеспечивающий оптимальную характеристику совместной работы со всей номенклатурой применяемых двигателей.

Зависимость значения коэффициента  $K_0$  от  $\lambda_{HK1}$  необходимо учитывать при определении размеров деталей вновь проектируемых редукторов или для подбора ГДТ под уже имеющийся редуктор.

По сведениям, взятым из работы П.И. Артамонова [11], в процессе серийного производства ГДТ неизбежны отклонения геометрии лопастной системы, что вызывает в свою очередь отклонение безразмерной характеристики от приводимой в технических условиях на ГДТ. Допустимое отклонение характеристики коэффициента момента насосного колеса от номинала составляет  $\pm 3\%$  [11]. Поэтому технически неоправданно создавать модельный ряд ГДТ со знаменателем изменения коэффициента момента насосного колеса  $\lambda_{HK1}$  при коэффициенте трансформации  $K=1$  менее 1,06.

На рисунке 6 представлена координатная система ГДТ с расположенными на ней точками, координаты которых соответствуют параметрам двигателей, применяемых на ОАО «МЗКТ».

Вертикальные и горизонтальные линии сетки координат расположены с шагом геометрической прогрессии 1,06. Количество прямоугольных областей

соответствует максимальному количеству ГДТ модельного ряда в диапазоне от 150 до 480 кВт, которое целесообразно изготавливать исходя из точности производства лопастных колёс.

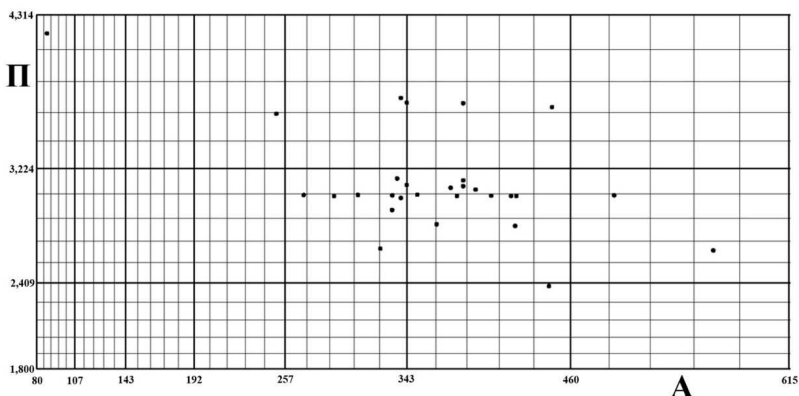


Рис. 6 – Координатная система модельного ряда ГДТ с отображением параметров двигателей, применяемых ОАО «МЗКТ»

На количество ГДТ модельного ряда также накладывают ограничения взаимозависимость трёх коэффициентов  $\Pi$ ,  $K_0$ ,  $\lambda_{HK1}$  и экономические требования. Как видно из рисунка 6, не все прямоугольные области координатной системы содержат информацию о двигателях. К тому же в диапазоне некоторых областей расположены один-два двигателя, что вызывает сомнение в экономической целесообразности создавать новый типоразмер или модификацию лопастной системы для них.

В качестве дополнительной работы было проведено исследование двигателей, которые применялись ранее на автомобильной технике по материалам ОАО «НИИТАВТОПРОМ» [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19]. На рисунке 7 показаны двигатели, применявшиеся на отечественной автомобильной технике с 1975 по 1987 год и двигатели, применяемые на ОАО «МЗКТ» в настоящее время. Данные 1986 года представлены зарубежными двигателями.

Из представленного графика на рисунке 7 можно сделать следующие выводы:

- 1) С течением времени характеристики двигателей смещаются в диапазон больших мощностей и крутящих моментов;
- 2) Зарубежные двигатели равномерно распределены по координатной системе, отечественные – занимают локальные области;



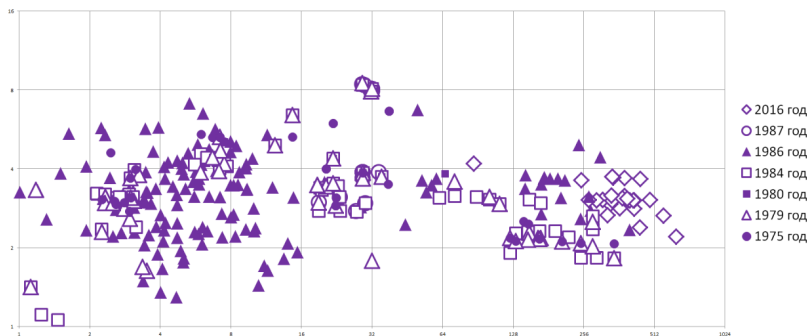


Рис. 7 – Сравнение характеристик двигателей с 1975 по 2016 годы

3) Двигатели, применявшиеся на автомобильной технике ранее, для которых были разработаны свои лопастные системы ГДТ, незначительно перекрывают область современных двигателей, применяемых ОАО «МЗКТ».

Исходя из вышеописанного, можно сделать вывод, что существующие лопастные системы, разработанные в СССР, не могут в полной мере обеспечить оптимальной совместной работы ГДТ с современными двигателями. К тому же разработка модельного ряда ГДТ со знаменателем геометрической прогрессии 1,06 нецелесообразна, так как необходимость учёта коэффициентов  $K_0$  и  $\Pi$  при выборе лопастной системы увеличивает отклонение от оптимального совмещения ГДТ с двигателем.

Проведённая работа показала, что для техники ОАО «МЗКТ» оптимальным является создание параметрического модельного ряда, включающего различные типоразмеры по активному диаметру и модификации лопастных колёс. В соответствии с расчётами при создании модельного ряда в диапазоне мощностей от 150 до 480 кВт достаточно применение пяти типоразмеров по активному диаметру (340 мм, 370 мм, 390 мм, 430 мм, 450 мм). Однако ОАО «МЗКТ» также применяет ГДТ с активным диаметром 480 мм, который обеспечивает близкую к оптимальной совместную работу с двигателями мощностью 480 кВт, а его модификации могут использоваться при более высоких мощностях.

**Разработка лопастных систем ГДТ.** Разработка и испытания новых ГДТ требует значительных затрат. ОАО «МЗКТ» не имеет собственного литейного производства. Поэтому для снижения стоимости разработки новых модификаций лопастных колёс используется компьютерное моделирование.

Для разработки лопастных колёс применяется программный продукт CreoParametric (Рисунок 8), который внедрён на заводе в качестве одного из элементов CAD/CAM/CAE системы. После разработки твердотельные модели лопастных колёс импортируются в программный продукт FlowVision (Рисунок 9), в котором осуществляется моделирование работы новой лопастной системы. Определённые с помощью компьютерного моделирования безразмерные характеристики сравниваются с требуемыми. При необходимости производится корректировка геометрии лопаток.

Отклонение полученных результатов моделирования с натурными испытаниями для коэффициента  $\lambda_H$  составляет от 3 до 16%, коэффициента  $K_0$  – от 1 до 14%. Большие отклонения соответствуют меньшему передаточному числу ГДТ. Отклонение коэффициента прозрачности составляет более 20%.

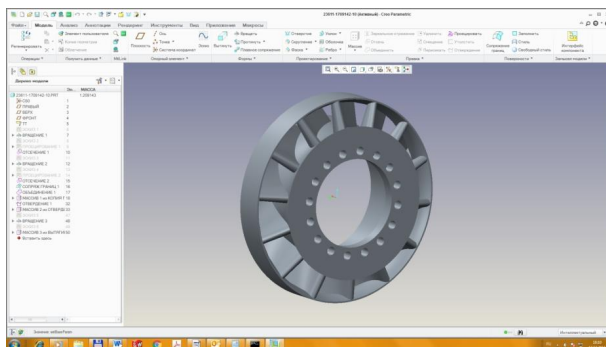


Рис. 8 – Модель реакторного колеса в программном продукте CreoParametric

### Заключение:

1) Разработанная методика построения модельного ряда ГДТ отличается от описанных в рассмотренных источниках комплексным рассмотрением на стадии создания модельного ряда трёх коэффициентов ( $K_0$ ,  $P$ ,  $\lambda_{HK1}$ ), характеризующих работу ГДТ, учётом внешней скоростной характеристики двигателей и стандартизированных присоединительных размеров картера маховика.

2) Так как предлагаемые принципы построения модельного ряда распространяются на весь диапазон мощностей двигателей, применяемых совместно с ГДТ, то это создаёт предпосылки для создания единого модельного ряда ГДТ с целью использования его на автомобильной технике, производящейся в Республике Беларусь. В таком случае модельный ряд должен создаваться в кооперации с предприятиями автомобильной промышленности, использующими ГДТ на собственной технике (например, ОАО «БЕЛАЗ», ОАО «АМКОДОР»).

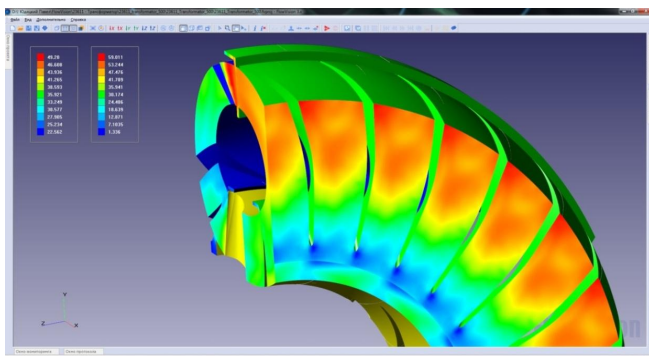


Рис. 9 – Результат моделирования лопастной системы ГДТ в программном продукте FlowVision



3) В связи с отсутствием собственного литейного производства на ОАО «МЗКТ» возможен экспорт только интеллектуальной собственности в виде геометрии лопастной системы.

### Список литературы:

1. Армейские автомобили. Конструкция и расчет / А.С. Антонов [и др.]. – М. : Воен. изд-во М-ва обороны СССР, 1970. – Ч. 1 : Типы автомобилей, компоновка, силовые передачи. – 544 с.

2. Гришкевич А.И. Автомобили. Теория : учеб. для вузов / А.И. Гришкевич. – Минск : Выш. шк., 1986. – 208 с.

3. Проектирование трансмиссий автомобилей : справочник / А.И. Гришкевич [и др.]. – М. : Машиностроение, 1984. – 269 с.

4. Автоматические коробки передач Allison [Электронный ресурс] / ООО «НДГС». – Режим доступа : <http://www.ndgs.ru/Transmissions>. – Дата доступа : 16.08.2016.

5. Брацлавский Х.Л. Гидродинамические передачи строительных и дорожных машин / Х.Л. Брацлавский. – М. : Машиностроение, 1976. – 149 с.

6. Гидротрансформаторы грузовых автомобилей, автобусов и тракторов. Основные параметры : ГОСТ 20228-74. – Введ. 01.01.76. – М. : Гос. комитет СССР по стандартам, 1976. – 5 с.

7. Driveline and Chassis Technology. ZF Sachs auf einen Blick, Bereich Antriebstranh, Produktbereich Drehmomentwandler. Facts & Figures ZF Sachs 2005. – ZF Sachs AG, 2006. – 19 p.

8. ZF-ECOMAT 4. HP 504 C / HP 594 C / HP 604 C für Stadt-, Linien- und Reisebusse: Technisches Handbuch. – Germany : ZF Friedrichshafen AG, MC-C, 2007. – 203 p.

9. Трансмиссии транспортных и тяговых машин большой единичной мощности (обзор конструкций и перспектив развития) : оперативно-информационные материалы / Акад. наук БССР, ин-т проблем надёжности и долговечности машин ; [разраб.: Красневский Л.Г. и др.]. – Минск, 1984. – 52 с.

10. Мазалов Н.Д. Гидромеханические коробки передач / Н.Д. Мазалов, С.М. Трусков. – М. : Машиностроение, 1971. – 296 с.

11. Артамонов П.И. Повышение энергетических показателей гидротрансформаторов за счёт обеспечения рациональных допусков геометрических параметров лопастных колёс : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.02 / П.И. Артамонов ; Ин-т проблем надёжности и долговечности машин. – Минск, 1985. – 198 с.

12. Автомобили, троллейбусы, автопогрузчики, прицепной состав серийного производства 1975 года : каталог-справочник / НИИНАВТОПРОМ ; [авт.-сост.: Г.Д. Михайлюта, Е.М. Кудрявцев ; науч. ред. А.И. Титков]. – М., 1975. – 400 с.

13. Двигатели серийного производства 1979 года : номенклатурный справочник / НИИНАВТОПРОМ ; [авт.-сост.: Н.Н. Танцюра ; науч. ред. И.В. Мартемьянов]. – М., 1979. – 232 с.

14. Автомобили, автобусы, троллейбусы, прицепной состав, автопогрузчики серийного производства 1980 года : номенклатурный справочник / НИИНАВТОПРОМ ; [сост.: И.А. Алексеевский, Р.А. Есипович, Н.М. Трохов,

И.В. Стрекалова, Л.А. Шнайдерман ; науч. ред. А.И. Титков]. – М., 1980. – Ч. II : Автобусы, троллейбусы, автомобили специализированные, прицепной состав, автопогрузчики. – 208 с.

15. Двигатели автомобильные, мотоциклетные и стационарные : номенклатурный каталог / НИИНАВТОПРОМ ; [сост. Н.Н. Танцюра ; науч. ред. Н.Н. Цапов]. – М., 1984. – 78 с.

16. Двигатели автомобильные, мотоциклетные и стационарные / НИИНАВТОПРОМ ; [сост. Н.Н. Танцюра ; науч. ред. С.С. Наумов]. – М., 1984. – Ч. I : Двигатели автомобильные. – Вып. 3 : Двигатели автомобильные дизельные. – 113 с.

17. Лучинин Б.Н. Конструкции зарубежных автомобильных двигателей выпуска 1986 года : обзорная информация / Б.Н. Лучинин, Л.К. Петров, Н.М. Пучкова, М.Н. Сильницкая, Е.И. Харыбина ; НИИНАВТОПРОМ. – М., 1986. – 55 с.

18. Двигатели автомобильные, мотоциклетные и стационарные : номенклатурный каталог / ЦНИИТЭИАВТОПРОМ ; [сост.: Е.И. Корнеева, Л.А. Кудряшова]. – М., 1987. – 19 с.

19. Двигатели автомобильные, мотоциклетные и стационарные / ЦНИИТЭИАВТОПРОМ ; [сост. Н.Н. Танцюра ; науч. ред. В.И. Гостев]. – М., 1987. – Ч. 1 : Двигатели автомобильные бензиновые рабочим объемом от 5 до 10 л. – 105 с.



УДК 629.038

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ГМП И ПРЕДПОСЫЛКИ ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ.

**Белабенко Д.С., Башарков А.С., Севрук В.С.**

*Открытое акционерное общество «Минский завод колесных тягачей»*

**Введение.** Система управления гидромеханических передач (ГМП) перспективного семейства ОАО «МЗКТ» включает в себя электронный блок управления (ЭБУ), селектор выбора режимов движения, электрогидравлические пропорциональные клапана и систему гидравлических каналов, подающих рабочую жидкость в бустера многодисковых фрикционных муфт.

Алгоритм управления, заложенный в ЭБУ, на современном этапе развития ГМП является ключевым элементом, позволяющим повышать потребительские свойства изделий. Достижения ведущих мировых производителей ГМП в области совершенствования алгоритмов управления свидетельствуют о возможности увеличения срока службы изделий, повышения качества переходных процессов, улучшения тяговой динамики и топливной экономичности за счет подбора оптимального алгоритма управления переключением передач и блокировкой гидродинамического трансформатора (ГДТ).

**Опыт ОАО «МЗКТ».** Алгоритм управления ГМП ОАО «МЗКТ», как и любой другой ГМП, представляет собой набор команд, которые обрабатываются системой управления при выполнении заданного условия. Таким образом, можно провести классификацию отдельных частей алгоритмов по их предназначению с выделением следующих алгоритмов:

- управление диагностическими функциями и безопасной эксплуатацией;
- управление законами переключения;
- управление переходными процессами.

Усложнение алгоритмов управления, как правило, ведет к увеличению количества измерительной аппаратуры, встроенной в ГМП. Например, в системе управления с дискретными клапанами ГМП ОАО «МЗКТ» использовался один датчик частоты вращения выходного вала, два датчика давления (главного и смазки) и один датчик температуры рабочей жидкости. При этом для управления законами переключения и переходными процессами применялся только датчик частоты вращения выходного вала. Датчики давления и температуры использовались в качестве диагностических. В настоящее время в системе управления с пропорциональными клапанами используется три датчика частоты вращения, семь датчиков давления и один датчик температуры рабочей жидкости.

Такое усложнение системы управления позволило реализовать более точный алгоритм управления. ЭБУ получает значительно больший объем информации о поведении ГМП и может влиять на ее работу с более предсказуемым результатом. Современная система управления ГМП перспективного семейства ОАО «МЗКТ» может диагностировать состояние ГМП и проводить самодиагностику определяя следующие параметры и события: передаточное число в ре-

дукторе, передаточное число ГДТ, скорость автомобиля, давление в бустерах многодисковых фрикционных муфт, главное давление, давление смазки, скольжение фрикционных дисков, обрыв и короткое замыкание электрических цепей, наличие связи ЭБУ с селектором и панелью индикации.

Непрерывная диагностика состояния ГМП позволяет выбирать алгоритм управляющий законом переключения передач соответствующий возникшим условиям. Данный алгоритм устанавливается селектором при выборе одного из двух режимов и корректируется ЭБУ в результате обнаружения нештатной работы ГМП. Закон переключения передач определяет точки переключения и возможность перехода на очередную передачу. При переключении передач происходит отработка алгоритма управления переходным процессом в зависимости от нескольких условий: номер включаемой передачи, температура рабочей жидкости, расчетные корректирующие параметры.

**Алгоритм управления переходным процессом.** С опытом мировых производителей ГМП в совершенствовании алгоритмов управления можно ознакомиться при изучении патентов и эксплуатационных материалов. Ряд алгоритмов управления переходными процессами современных зарубежных ГМП описан Л.Г. Красневским [1]. Одним из примеров может служить алгоритм управления переключением передач ГМП компании Allison, который описан в патенте США № 5072390 [2] и показан на рисунке 1.

Как видно из алгоритма управление опорожнением выключаемой многодисковой фрикционной муфты идет ступенчато. Такое постепенное снижение давления рабочей жидкости в бустере выключаемой многодисковой муфты позволяет обеспечить переключение передач без разрыва потока мощности. При этом обеспечивается удовлетворительное качество переходного процесса.

На рисунке 2 показан алгоритм переключения передач, реализованный в системе управления ГМП ОАО «МЗКТ». Отличительной особенностью данного алгоритма является отсутствие ступенчатого снижения давления в бустере отключаемой многодисковой фрикционной муфты. Такой алгоритм обеспечивает переключение передач без разрыва мощности на части режимов работы ГМП. Для достижения удовлетворительного качества переходного процесса используется специальный алгоритм, учитывающий обратную связь.

Применением кардинального отличающегося подхода обусловлено особенностями, применяемых фрикционных дисков. Материал металлокерамических накладок МК-5 имеет значительное отличие между коэффициентом трения скольжения и покоя по сравнению с зарубежными фрикционными дисками с фрикционными накладками на целлюлозной основе. Поэтому при ступенчатом опорожнении выключаемой многодисковой фрикционной муфты сложно отследить момент включения передачи, так как при этом резко возрастает коэффициент трения, что приводит к практически одновременному включению двух передач. Данное событие проявляется толчками, которые воздействуют на трансмиссию, автомобиль и водителя, вызывает повышенные нагрузки в ГМП и снижает ее ресурс. Для сравнения на рисунке 3 показан график демонстрирующий зависимость коэффициентов трения в зависимости от скорости скольжения фрикционных дисков для различных материалов [3].

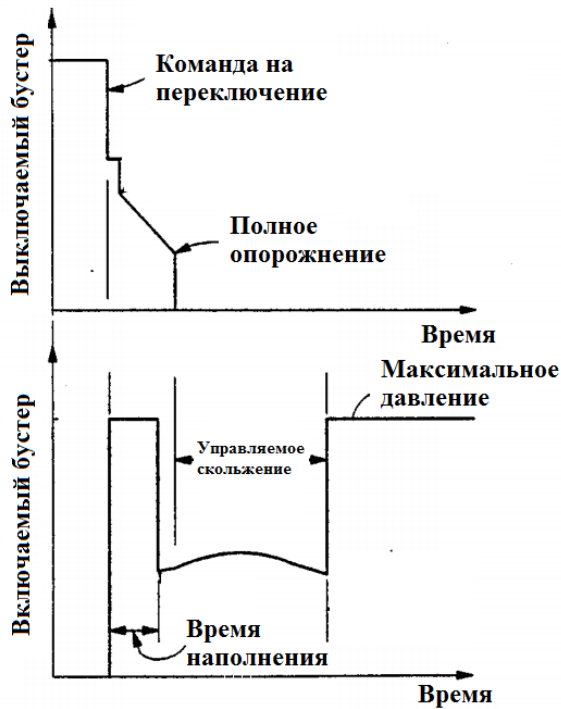


Рис. 1 – Алгоритм управления ГМП компании Allison.

**Перспективы развития.** Направления дальнейшего развития и совершенствования алгоритмов управления ГМП ОАО «МЗКТ» целесообразно вести ориентируясь на приведенную выше классификацию.

1) Совершенствование алгоритмов управления диагностическими функциями и безопасной эксплуатацией потенциально не ограничено техническими возможностями. Противоречивые тенденции для этого типа алгоритмов заключаются в том, что для более точного и детального диагностирования необходимо увеличивать количество датчиков, а для возможности конкурировать по цене необходимо это количество датчиков сокращать. Общемировая тенденция – усложнение расчетных алгоритмов с минимизацией исходных данных и использование информации от других электронных систем автомобиля (ЭБУ двигателя, АБС и т.п.).

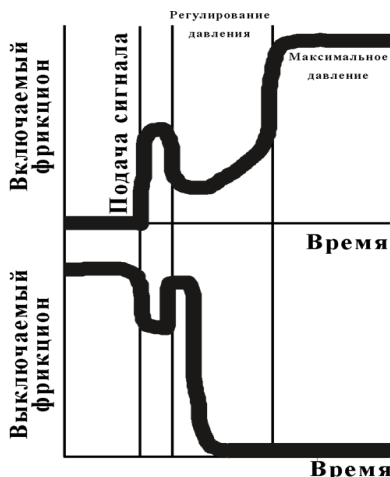


Рис. 2 – Алгоритм управления ГМП ОАО «МЗКТ».

2) Общемировая тенденция в развитии алгоритмов управляющих закона-ми переключения передач ГМП связана с минимизацией расхода топлива при обеспечении требуемых тягово-динамических характеристик. Однако, развитие в данном направлении возможно при использовании электронного управления двигателя и целесообразно для дорожной техники, которая эксплуатируется на типовых участках дороги с ограничением максимальной скорости (легковые автомобили, автопоезда, автобусы и т.п.). Техника двойного назначения эксплуатируется в сложных дорожных условиях и по пересеченной местности, когда степень нажатия педали подачи топлива максимальна практически все время движения. Поэтому снижение расхода топлива в случае применения ГМП на технике двойного назначения целесообразно вести общетехническими реше-ниями. При выборе законов переключения необходимо ориентироваться на обеспечение тягово-динамических параметров, соответствующих дорожным условиям, и обеспечение запаса по тяге.

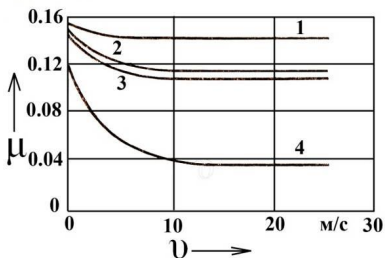


Рис. 3 – Коэффициент трения фрикционных дисков в зависимости от скорости скольжения для различных материалов: 1 – целлюлозная основа; 2 – графитизированная целлюлозная основа; 3 – графитизированная пластмасса; 4 – металлокерамика на медной основе





3) Работы по улучшению переходных процессов ГМП целесообразно вести в двух направлениях: совершенствование алгоритма с достижением более точного регулирования процессом по обратной связи, изменение алгоритма с применением более совершенных фрикционных дисков. Первое направление может быть реализовано ОАО «МЗКТ» совместно с поставщиком системы управления, второе – с поставщиком фрикционных дисков.

#### **Список литературы:**

1. Красневский, Л.Г. Прецизионное управление автоматическими трансмиссиями: итоги 50 лет развития / Л.Г. Красневский, С.Н. Поддубко // Механика машин, механизмов и материалов. – 2015. — № 4. – С. 5–12.

2. Adaptive control of an automatic transmission: US Pat. / General Motors Corp. – № 5072390. – Dec. 10, 1991.

3. Проектирование трансмиссий автомобилей : справочник / А.И. Гришкевич [и др.]. – М. : Машиностроение, 1984. – 269 с.

## СТАБИЛИЗИРОВАННЫЙ ПРИВОД ОТБОРА МОЩНОСТИ МОБИЛЬНОЙ МАШИНЫ

**Бобровник А.И.**

*Белорусский национальный технический университет*

В специальной технике широко используют гидромеханические трансмиссии, многопоточные передачи и механизмы систем управления с приводом от дизельных двигателей с изменяемым в широком диапазоне скоростным режимом.

С учётом всё возрастающей тенденции к расширению номенклатуры и количественного выпуска машин с активными приводами, а также ростом энергонасыщенности и скоростей движения мобильных машин, повышением требований к качеству выполнения технологических процессов и режимов работы требует своего решения проблема совершенствования и развития систем отбора мощности машин. В настоящее время существует несколько способов передачи мощности от двигателя к активным рабочим механизмам машин. Классифицируются они по виду энергоносителя, посредством которого происходит передача мощности между ними на:

- механические системы отбора мощности;
- гидравлические системы;
- электрические системы;
- пневматические системы отбора мощности.

Механический привод обладает рядом преимуществ, основными из которых являются:

- более высокий КПД, составляющий 0,90...0,95 против 0,70...0,80 для гидропривода;
- возможность передачи всей мощности двигателя;
- технологичность конструкции;
- меньшая стоимость изготовления;
- простота обслуживания, ремонта и т.д.,

Все это и обеспечивает сохранение и дальнейшее развитие механического привода как основного типа привода от двигателя.

Приводной механизм системы отбора мощности, в большинстве случаев, представляет собой довольно сложную конструктивную систему, в которую, в зависимости от типа привода и выполнения, могут входить следующие различные по назначению и выполняемым функциям конструктивные элементы:

- силовая цепь (или цепи) между приводным элементом и выходным элементом (или выходными элементами);
- согласующий редуктор (или редуктора) частот и направлений вращений приводных и выходных элементов;
- управляющее устройство для подачи и прекращения подачи мощности от приводных элементов к выходным элементам;
- механизм управления управляющим устройством;



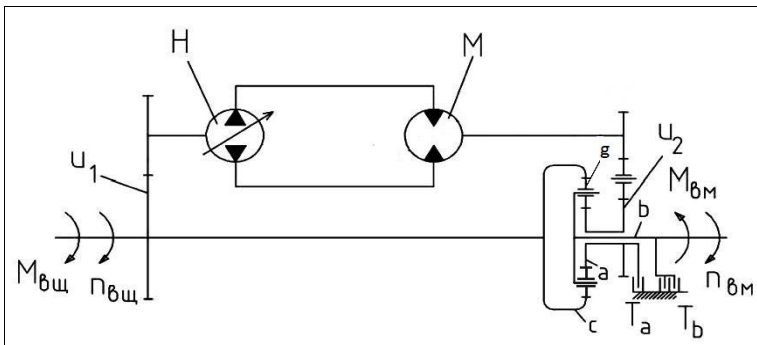
- устройство для переключения режимов работы (в случае нескольких приводных элементов);
- устройство для исключения несоответствия типа хвостовика его скоростному режиму;
- редуктор для реверсирования направления вращения выходных элементов или изменения направления подачи мощности;
- вариатор для обеспечения бесступенчатой регулировки частоты вращения выходных элементов;
- устройство для предохранения от перегрузок при работе или пуске.

Данное разделение в некоторой мере условно, так как на практике функции нескольких конструктивных элементов или даже практически всех может выполнять один неразделимый узел.

В приводах современных машин получают распространение двухпоточные гидрообъемно-механические передачи, в которых мощность передается двумя потоками: через механические и гидравлические звенья. Такая передача на ряде режимов ее работы имеет более высокий КПД по сравнению с гидрообъемной передачей.

Стабилизированный привод отбора мощности мобильной машины рассмотрен на примере вала отбора трактора «БЕЛАРУС 1221», когда отклонение частоты вращения выходного вала не должно превышать 10 %.

Для бесступенчатого регулирования и стабилизации частоты вращения вала отбора мощности предложена двухпоточная гидрообъемно-механическая схема привода вала отбора мощности (ВОМ) (рисунок 1).



$U1, U2$  - передаточное число;  $H$  - регулируемый гидронасос;  $M$  - нерегулируемый гидромотор;  $b$  - водило;  $c$  - эпициклическая шестерня;

$n_{вщ}$  – частота вращения ведущего вала, об/мин;  $n_{вм}$  – частота вращения ведомого вала;  $M_{вм}$  и  $M_{вщ}$  – крутящий момент на ведомом и ведущем валах.

Рис. 1 - Схема двухпоточного независимого вала отбора мощности повышенной стабильности

Двухпоточная передача заднего вала отбора мощности, разработанная для трактора «БЕЛАРУС-1221», состоит из дополнительной гидрообъемной пере-

дачи и дифференциального звена, установленного на валу отбора мощности трактора, выполненного в виде трехзвенного дифференциального механизма со смешанным зацеплением шестерен. При этом через гидрообъемную передачу передается только часть мощности двигателя, остальная же мощность передается через механическую передачу. Первый поток мощности передается через эпициклическую шестерню  $c$  на сателлиты и далее на водило  $b$ . Здесь существуют только механические потери мощности. Второй поток мощности передается через редуктор с передаточным числом  $U_1$ , на регулируемый гидронасос  $H$ , далее на нерегулируемый гидромотор  $M$  и через редуктор с передаточным числом  $U_2$  на солнечную шестерню и через сателлиты на водило  $b$ . Здесь мощность теряется в двух редукторах с передаточными числами  $U_1$  и  $U_2$  и в гидрообъемной передаче, состоящей из гидронасоса и гидромотора.

Таким образом, на водиле  $b$  суммируются два потока мощности, которые далее передаются на хвостовик независимого вала отбора мощности.

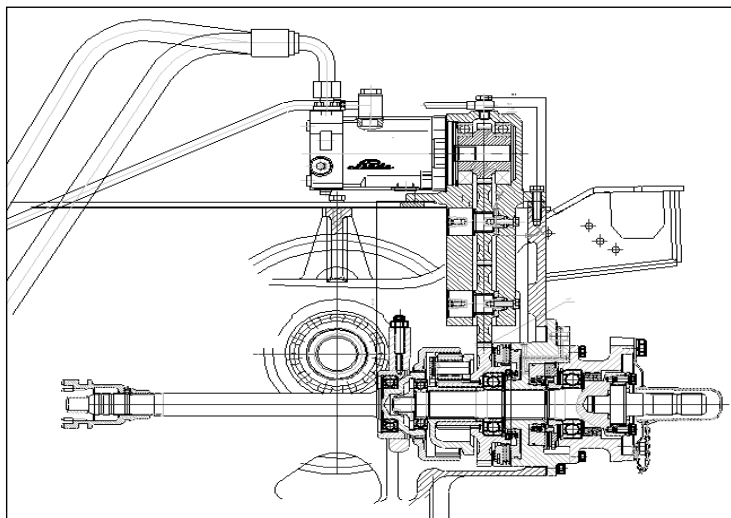


Рис. 2– Двухпоточный гидромеханический привод вала отбора мощности

При нейтральном положении регулирующего органа насоса его постоянная объемная  $q_H=0$ , вал мотора гидравлически заторможен ( $n_M=0$ ) и частота вращения солнечной шестерни  $n_C=0$ .

В этом случае гидрообъемная передача работает как полнопоточная передача. Весь поток мощности с ведущего на ведомый вал передается только механическим путем через эпициклическую шестерню  $c$  и сателлиты на водило  $b$ .

При  $q_H \neq 0$  мощность с ведущего на ведомый вал передается двумя потоками. При этом в зависимости от положения регулировочного элемента гидронасоса солнечная шестерня  $a$  планетарного ряда вращается с различной угловой скоростью и меняет направление вращения. Это позволяет при заданной частоте



те вращения  $n_{вц}$  ведущего вала бесступенчато менять частоту и направление вращения  $n_{вм}$  ведомого вала.

Основными показателями гидрообъемной механической передачи являются кинематическое  $U_{гомп}$  и силовое  $\hat{U}_{гомп}$  передаточные числа и КПД  $\eta_{гомп}$ .

Кинематическое передаточное число двухпоточной ГОМП определяется из уравнения кинематически трехзвенного механизма:

$$n_a + K \cdot n_c - (I + K) \cdot n_e = 0, \quad (1)$$

где  $n_a$  – частота вращения солнечного колеса,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$K$  – характеристика планетарного ряда;

$n_e$  – частота вращения водила,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$n_c$  – частота вращения сателлита,  $\text{мин}^{-1}$ ;

Как следует из схемы  $n_{вц} = n_c$ ,  $n_e = n_{вм}$ ,  $n_a = n_m / U_2$ ,

где  $n_m$  – частота вращения вала гидромотора,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$$U_{гомп} = \frac{n_{вц}}{n_{вм}} = \frac{1 + K}{K + \frac{1}{U_1 U_2 U_{гоп}}}, \quad (2.)$$

$$K = \frac{Z_c}{Z_a}, \quad (3)$$

где  $Z_c$  и  $Z_a$  – число зубьев шестерен соответственно эпициклического и солнечного колес.

Силовое передаточное число двухпоточной ГОМП:

$$\hat{U}_{гомп} = \frac{M_{вм}}{M_{вц}}, \quad (4)$$

где  $M_{вм}$  и  $M_{вц}$  – крутящий момент на ведомом и ведущем валах ГОМП, Н·м.

Условие равновесия ведущего вала ГОМП:

$$M_{вц} = M_c + \frac{M_H}{U_1 \eta_1}, \quad (5)$$

где  $\eta_1$  – КПД редуктора с передаточным числом  $U_1$ ;

$M_H$  – крутящий момент на валу насосного колеса, Н·м;

$M_c$  – крутящий момент, подводимый к эпициклической шестерне трехзвенного дифференциального механизма, Н·м.

Подставив выражения в условие равновесия ведущего вала после преобразования получим:

$$M_{вц} = M_{вм} \left[ \frac{K(U_1 \eta_1 U_2 \eta_2 \hat{U}_{гоп}) + 1}{(1 + K)U_1 \eta_1 U_2 \eta_2 \hat{U}_{гоп}} \right]. \quad (6)$$

значение силового передаточного числа :

$$\hat{U}_{\text{ГОМП}} = \frac{1 + K}{K + \frac{1}{U_1 \eta_1 U_2 \eta_2 \hat{U}_{\text{ГОП}}}} \quad (7)$$

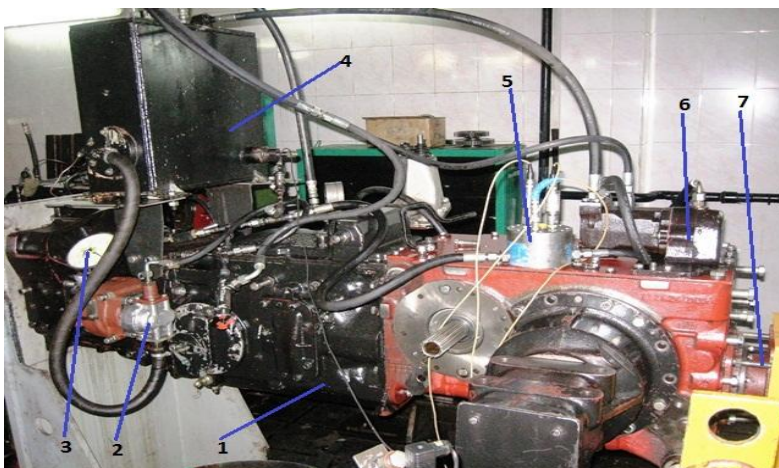
КПД двухпоточной передачи ГОМП:

$$\eta_{\text{ГОМП}} = \frac{\hat{U}_{\text{ГОМП}}}{U_{\text{ГОМП}}} = \frac{\eta_1 \eta_2 \hat{U}_{\text{ГОП}} (1 + K U_1 U_2 U_{\text{ГОП}})}{U_{\text{ГОП}} (1 + K U_1 \eta_1 U_2 \eta_2 \hat{U}_{\text{ГОП}})} \quad (8)$$

Стендовые испытания экспериментального привода заднего независимого вала отбора мощности с редуктором проводились для трактора «БЕЛАРУС-1221».

Схема стендовой установки приведена на рисунке 3.

По предложенной схеме двухпоточного независимого вала отбора мощности разработана конструкция трактора «БЕЛАРУС 1221», изготовлен опытный образец, и прошел заводские испытания на ПО «МТЗ».



1- трансмиссии трактора «БЕЛАРУС 1221»; 2- насос НШ 32М-3; 3- манометр; 4- бак с рабочей жидкостью; 5- шестеренный расходомер с датчиками расхода давления и температуры; 6 - гидромотор фирмы Linde модели HMF36-02; 7- хвостовик заднего ВОМ.

Рис. 3 – Двухпоточная передача заднего вала отбора мощности повышенной стабильности, разработанная для трактора «БЕЛАРУС 1221» на ПО «МТЗ»

Аппаратурное оснащение испытательного стенда позволило вести запись с дискретностью отсчета 0,05 с следующих параметров:

а) кинематические параметры привода: частота вращения вала балансирной машины, частота вращения вала планетарного редуктора, частота вращения ВОМ;



б) динамические параметры привода: момент на валу балансирной машины, момент на валу ВОМ, давление рабочей жидкости в контуре управления гидромотора.

В экспериментах, проведенных в различных условиях нагружения хвостовика ВОМ с помощью гидротормоза, запись всех перечисленных параметров велась в течение 60 с. При этом частоту вращения хвостовика ВОМ стремились поддерживать постоянной с помощью гидромотора, передающего дополнительный вращающий момент через планетарный редуктор.

Анализ полученных данных позволяет судить о стабильности работы привода в условиях нестационарного нагружения.

## УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ПОДВЕСКОЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ ЗАДАННОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ПЛАТФОРМЫ ШАССИ

**Бойков В.П., Жданович Ч.И., Мамонов М.И.**

*Белорусский национальный технический университет*

Уклон шасси в продольной и поперечной плоскостях зависит от уклона местности. При постоянном клиренсе шасси величина уклона может быть определена с помощью датчиков маятникового типа или гироскопом. Для обеспечения заданного положения платформы сигнал с указанных датчиков поступает на устройство, обеспечивающее подачу рабочей жидкости (РЖ), и осуществляет корректировку положения платформы шасси, поддерживая ее положение в заданных пределах, независимо от уклона местности. Величина максимального уклона ограничивается конструктивными параметрами машины и максимальным ходом гидропневморессоры.

При движении машины на горизонтальном участке или участке с постоянным уклоном на изменение положения платформы будет оказывать режим ее движения. При разгоне машины с постоянным ускорением под действием сил инерции, происходит разгрузка передней оси и увеличение нагрузки на заднюю ось. Для исключения перекоса платформы в продольной плоскости давление РЖ в гидропневморессоре задней оси необходимо увеличить, а давление в передней оси уменьшить в зависимости от ускорения разгона.

При торможении, наоборот, под действием ускорения замедления нагрузка на переднюю ось увеличивается, а на заднюю уменьшается. Для сохранения положения платформы давление РЖ в гидропневморессоре передней оси необходимо увеличить, а давление РЖ в гидропневморессоре задней оси необходимо уменьшить в зависимости от замедления. В качестве задающего устройства используется датчик ускорения (замедления) сигнал с которого поступает на устройство корректирующее давление РЖ в гидропневморессорах.

При движении машины на повороте под действием центробежных сил, нагрузка на колеса, движущиеся по наружному радиусу, увеличивается, а по внутреннему радиусу уменьшается. При этом происходит наклон машины в поперечной плоскости. Для сохранения положения платформы машины давление РЖ в гидропневморессорах колес движущихся по наружному радиусу необходимо увеличить, а по внутреннему уменьшить в зависимости от величины центростремительного ускорения. Величина, ускорения оценивается специальным датчиком, сигнал с которого поступает на устройство корректирующее давление РЖ в гидропневморессорах.

В процессе движения колеса по пересеченной местности для обеспечения стабилизации положения платформы необходимо, чтобы усилие, действующее со стороны колеса на платформу, оставалось практически неизменным. Это достигается путем подачи РЖ в гидропневморессору либо отводом РЖ из гидропневморессоры.





При движении машины оценивается исходное давление РЖ в каждой рессоре, величина которого зависит от веса, приходящегося на колесо. При наезде колеса на препятствие давление в гидропневморессоре повышается выше исходного, при этом срабатывает устройство, отводящее РЖ из гидропневморессоры, обеспечивая поддержание исходного давления, а соответственно, и усилия действующего со стороны колеса на раму машины.

При съезде колеса с препятствия давление в гидропневморессоре падает, при этом срабатывает устройство, подающее РЖ в гидропневморессору восстанавливая давление до величины исходного. В качестве сигнализаторов используются датчики давления установленные в гидропневморессоре.

Управление подводом и отводом РЖ может осуществляться и по сигналу датчика положения платформы, однако, при этом будет иметь место уже свершившийся факт, т.е. платформа получит отклонение, что ухудшит качество процесса регулирования.

Для обеспечения стабильности работы системы регулирования положения платформы количество отведенной и подведенной РЖ в гидропневморессору в процессе одного цикла должно быть одинаковым. Если для дозировки величины подачи РЖ использовать датчики расхода, которые обладают погрешностью, то ошибка в оценке количества отведенной и подведенной РЖ будет накапливаться, что приведет к сбою работы системы и необходимости корректировать положение платформы шасси.

На основании изложенного возможны два варианта решения вопроса:

1. Исключить утечки РЖ из гидропневморессоры в процессе регулирования путем создания компенсационной камеры.
2. Осуществлять периодический контроль и корректировку положения платформы шасси путем подачи и слива РЖ из гидросистемы.

УДК 629.027

## ПОДВЕСКА МНОГОЦЕЛЕВОГО АВТОМОБИЛЯ С АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ ГАШЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ НА ОСНОВЕ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ МАГНИТОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ ДЕМПФИРУЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ

Бурьян В.А.<sup>1</sup>, Николаев Ю.И.<sup>1</sup>, Ефремов В.Л.<sup>1</sup>, Сосно А.В.<sup>1</sup>, Коробко Е.В.<sup>2</sup>,  
Кузьмин В.А.<sup>2</sup>, Билык В.А.<sup>2</sup>, Хитриков С.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ОАО "Минский завод колесных тягачей", <sup>2</sup> Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси, <sup>3</sup> Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

**Введение.** Улучшение плавности хода транспортных средств (ТС) является актуальной проблемой при создании современных ТС повышенной проходимости и грузоподъемности в связи с нерешенными полностью техническими вопросами по виброзащите водителя, высокоточных электронных элементов и перевозимых грузов [1, 2] при движении по местности со сложным рельефом. Экспериментальные исследования и анализ опыта эксплуатации мобильных машин показали [3–5], что определяющее влияние на характеристики плавности хода и вибронегруженность оказывает не только правильный выбор характеристик поддрессирования и компоновки ходовой части, но и оптимальный выбор характеристик вторичного поддрессирования.

Наибольшей привлекательностью обладают системы управляемого поддрессирования, позволяющие эффективно в нужной ситуации осуществить защиту водителя и перевозимых устройств от вибраций. Они базируются на использовании для изменения частотно-зависимых параметров (упругости и вязкости) подвески управляемых амортизаторов адаптивно к изменению рельефа дороги, скорости движения и массы груза. Адаптивной управляемостью обладают гидравлические амортизаторы [6, 7], в которых рабочей жидкостью являются квазигомогенные дисперсии, вязкость которых изменяется радикально (на несколько порядков) во внешних электрических и магнитных полях.

В зависимости от целей и условий использования в элементах колебательной системы транспортного средства, состоящего из основных частей - кабины, рамы, сидения водителя, двигателя, электронного оборудования, перевозимого груза и др., необходимо точно определять и рассчитывать параметры управляемых амортизаторов, имеющих специальные конструкции, а также оптимальные алгоритмы управления их работой. Экспериментальные образцы управляемых амортизаторов с интеллектуальной жидкостью активно разрабатываются за рубежом. Обычно их стоимость составляет 1-1,5 тысячи евро за штуку, а стоимость, например, литра магнитоореологической жидкости - тысячи долларов, электрочувствительной жидкости - 1,5 тысячи долларов, что в совокупности может составить 10–30% от стоимости бюджетного транспортного средства (ТС). Республика Беларусь известна своими предприятиями по выпуску большегрузных ТС (БелАЗ, МАЗ, МТЗ, МЗКТ и др.). Поэтому задача создания конкурентоспособной продукции в области машиностроения, в частности,



для ТС специального назначения, является актуальной. И наиболее актуальной в настоящее время является задача создания недорогих по стоимости составов демпфирующих жидкостей, разработки оптимальных конструкций амортизаторов и режимов управления ими [6, 7].

Наиболее успешные достижения в области разработок управляемых амортизаторов и соответствующих электро- и магнитоуправляемых демпфирующих жидкостей достигнуты компаниями «Lord» (США) [8] и «Fludicon» (Германия) [9]. Однако, информация, касающаяся разработки конструкций устройств, особенностей их экспериментальных исследований, алгоритмов и устройства электронных блоков управления, а также рецептур составов жидкостей недоступна в связи с коммерческой тайной производителей. В технической и рекламной литературе найдены лишь общие сведения о рабочих характеристиках амортизаторов при различных режимах нагружения и при воздействии внешнего магнитного или электрического полей [7–10 и др.]. Не удалось найти достаточной информации о влиянии температурных режимов использования ( $-40 - +80^{\circ}\text{C}$ ) управляемых демпфирующих жидкостей на рабочие характеристики амортизаторов, а также степени ее разогрева за счет диссипации механической энергии при трении в дросселирующих каналах управляемого дросселя амортизатора.

**Цель исследований** – разработка специальной конструкции амортизатора, позволяющей осуществить управление вязкоупругими характеристиками эффективной демпфирующей жидкости с помощью электронного блока управления применительно в системе поддрессирования большегрузного транспортного средства. Работа выполнялась сотрудниками МЗКТ, Института тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси и Объединенного института машиностроения НАН Беларуси.

### **Методы и результаты исследований**

1. Прежде всего создан и изготовлен рабочий состав магнитоуправляемой демпфирующей жидкости (МУДЖ) в Институте тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси, определены реологические зависимости (напряжение сдвига – скорость сдвига, диапазон скоростей сдвига  $10^{-2} - 10^3 \text{ c}^{-1}$ ), а также исследовано влияние температуры ( $20 - 80^{\circ}\text{C}$ ) на реологические характеристики демпфирующей жидкости. С ростом температуры ее сопротивление сдвигу снижается как в магнитном поле, так и без его воздействия, что необходимо учитывать при создании алгоритма управления адаптивным амортизатором.

2. Эффективность применения созданной жидкости (логарифмический декремент затухания, амплитудно-частотная характеристика) оценена на лабораторной демпфирующей установке. Определено, что при изменении индукции магнитного поля от 0 до 123 мТл декремент затухания увеличивается более чем в 3,7 раза, а добротность уменьшается в 3,2 раза (на 320%).

3. Разработана конструкция дросселя для магнитоуправляемого адаптивного амортизатора. Экспериментально определены гидравлические характеристики (зависимости перепада давления от объемного расхода) при стационарном течении жидкости в гидроканале адаптивного амортизатора. Определены также зависимости перепада давления от индукции магнитного поля при фик-

сированном расходе МУДЖ в дросселирующем канале. Погрешность данных гидравлических испытаний составляет не более 5% для различных объемов расхода МУДЖ. Разработан алгоритм управления величиной сдвигового сопротивления МУДЖ при стационарном течении магнитным полем.

4. В заводских условиях в системе силового гидростенда испытан адаптивный амортизатор с магнитоуправляемой демпфирующей жидкостью и созданный (в ОИМ НАН Беларуси) электронный блок управления магнитным полем в компараторном режиме. Испытаны два варианта адаптивных амортизаторов с внешним и внутренним дросселем. Результаты испытаний показали высокую работоспособность демпфирующей жидкости при воздействии внешнего магнитного поля во всем диапазоне изменения управляющего электрического сигнала. Были изготовлены три доработанных макетных образца адаптивных амортизаторов и проведены их заводские испытания с учетом диссипативного разогрева и влияния внешнего магнитного поля. Разработан алгоритм изменения магнитным полем характеристик МУДЖ в системе управляемого дросселя адаптивного амортизатора. При изменении электрического тока в соленоиде дросселя от 0 до 10 А получено увеличение силы сопротивления до 15,5 кН. С ростом температуры от 25 до 85°С сила сопротивления уменьшается: при отсутствии тока в 1,5 раза (с 2,7 до 1,8 кН), а при токе 10 А в 1,2 раза (с 15,5 до 13,4 кН).

5. Осуществлены также в заводских условиях испытания управляемого амортизатора в системе шасси (400 кГ), при которых определены:

- собственная частота колебаний системы поддрессирования (1,36–1,43 Гц), скорость затухания колебаний и коэффициент демпфирования (при максимальном уровне управляющего сигнала 5 В скорость затухания и коэффициент демпфирования равны соответственно 0,47 и 0,65, а в режиме слежения – 0,78 и 1,1);

- эффективные режимы управления для электронного блока, создающего магнитное поле в дросселе - при величине приращения управляющего сигнала в 0,5 В (что соответствует силе тока 1 А) и скорости выдачи управляющего сигнала 30 мс, получены лучшие значения скорости затухания и коэффициента демпфирования в результатах обработки собственных колебаний объекта.

6. Разработана физико-математическая модель (определена система базовых уравнений, входные и граничные условия) течения демпфирующей жидкости в канале адаптивного амортизатора при циклической, изменяющейся по синусоидальному закону нагрузке. С помощью этой модели выполнен численный расчет силы сопротивления при управлении внешним магнитным полем, исследовано влияние индукции магнитного поля на изменение максимальной силы сопротивления МУДЖ при гармоническом законе перемещения штока с амплитудой в диапазоне 5–80 мм и частотой в диапазоне 0,5–5 Гц.

**Заключение.** Испытания адаптивного амортизатора с управляемым электронным блоком дросселем и магниточувствительной демпфирующей жидкостью подтвердили эффективность разработки. Представленные результаты исследований являются первым этапом создания в Республике Беларусь управляемой с помощью внешних полей системы поддрессирования колес (подвески) транспортных средств.



В дальнейшем:

- целесообразно провести расширенные полевые испытания мобильной машины с магнитоуправляемыми амортизаторами и оценить эффективность их работы в различных динамических условиях, а также целесообразность их использования в системах виброзащиты отдельных элементов транспортного средства;
- усовершенствовать алгоритмы управления для них;
- исследовать демпфирующие характеристики рабочей жидкости и создать ее эффективный состав для работы в расширенном диапазоне температур окружающего воздуха ( $-40$  –  $+80^{\circ}\text{C}$ ).

### Список литературы:

1. Дербаремдикер, А.Д. Амортизаторы транспортных средств / А.Д. Дербаремдикер. – М.: Машиностроение, 1985. – 200 с.
2. Амельченко, Н.П. Подвеска сиденья водителя колесного трактора: моногр. / Н.П. Амельченко, В.А. Ким : под ред. И.С. Сазонова. – Могилев: Бел.-Рос. ун-т, 2006. – 180 с.
3. Благодарный, Ю.Ф. Вибрационная безопасность / Ю.Ф. Благодарный // Автомобильная промышленность. – 2004, №7. – С.38–39.
4. Аксенов, П. В. Многоосные автомобили. Теория общих конструктивных решений / П.В. Аксенов. – М.: Машиностроение, 1980. – 246 с.
5. Антонов, Д.А. Теория устойчивости движения многоосных автомобилей / Д.А. Антонов. – М.: Машиностроение, 1978. – 216 с.
6. Коробко, Е.В. Электроструктурированные (электрореологические) жидкости: особенности гидромеханики и возможности использования. Минск: АНК «ИТМО им. А.В. Лыкова» АНБ, 1996. – 189 с.
7. Dixon, J.C. The Shock Absorber Handbook: Second Edition. New York: John Wiley and Sons, 2007. – 427 p.
8. LORD Magneto-Rheological [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.lord.com/products-and-solutions/magneto-rheological-mr.xml](http://www.lord.com/products-and-solutions/magneto-rheological-mr.xml). – Дата доступа: 20.02.2017.
9. Fludicon: smart PID solutions [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fludicon.com/>. – Дата доступа: 20.02.2017.
10. Wereley, N.M. Nondimensional Herschel-Bulkley Analysis of Magnetorheological and Electrorheological Dampers / J. of Intelligent Material Systems and Structures. 2008. Vol. 19. – Pp. 257–268.

УДК 629.114

## СРЕДСТВА ПОДВИЖНОСТИ ВООРУЖЕНИЯ ОАО «МЗКТ» - СОСТОЯНИЕ, НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ И ПУТИ РАЗВИТИЯ

**Бурьян В.А., Николаев Ю.И., Гринюк В.С., Ячник А.Н.**

*Открытое акционерное общество «Минский завод колесных тягачей»*

**Введение.** Основным наземным средством перевозок личного состава, вооружения и военной техники (ВВТ), боеприпасов и материально-технических средств является в настоящее время (и в ближайшее время останется) военная автомобильная техника (ВАТ). Значительный прогресс последних десятилетий в развитии средств разведки и поражения кардинально изменил роль и место ВАТ в системах вооружения. Сегодня ВАТ, оставаясь основным средством подвижности, превратилась в средство обеспечения боевой эффективности вооружения, а также становится основным средством обеспечения живучести комплексов вооружения. Исходя из важности решаемых ВАТ задач, государства всегда уделяли, и будут уделять постоянное внимание вопросам ее развития и совершенствования.

Анализ современного состава автомобильных парков Вооруженных Сил (ВС) развитых в военной области стран показывает, что, как правило, они включают в себя колесные машины боевого, тылового (транспортного) и специально-технического обеспечения и имеют примерно следующую структуру типажа [1]:

- специальные колесные шасси и тягачи;
- автомобили многоцелевого назначения;
- прицепы и полуприцепы;
- кузова-фургоны и кузова-контейнеры;
- военно-гусеничные машины транспортно-тягового класса;
- ремонтно-эвакуационные машины и машины технической помощи;
- мастерские подвижные специальные для ТО и ремонта ВАТ;
- средства обеспечения эксплуатации ВАТ.

ОАО «МЗКТ» на протяжении длительного периода поставляет на мировой рынок ВАТ специальные колесные шасси и тягачи (СКШТ), а также полуприцепы и прицепы различной грузоподъемности.

С учетом конъюнктуры рынка в последние годы на предприятии уделяется большое внимание созданию новых моделей наиболее представительной группы объектов ВАТ – автомобилей многоцелевого назначения (АМН) грузоподъемностью 4...15 т, которые обычно составляют 70-85 % от общей численности автомобильных парков развитых в военной области стран. Также по заказам от силовых структур государства проводятся работы по созданию семейства защищенных легкобронированных автомобилей (ЛБА).

**Специальные колесные шасси и тягачи (СКШТ).** СКШТ ОАО «МЗКТ» используются в качестве транспортной базы для ракетных комплексов ПВО, оперативно – тактических, стратегических ракетных комплексов, систем



залпового огня, береговой обороны и других. Они во многом определяют боевой потенциал наземных сил ядерного сдерживания - ракетных войск стратегического назначения (РВСН), сухопутных войск (СВ), средств противовоздушной обороны (ПВО), радиотехнической разведки, инженерных войск, средств тылового обеспечения и др.

СКШТ, предназначенные для монтажа, транспортирования и обеспечения боевого применения вооружения и военной техники (ВВТ), являются особым видом военной автомобильной техники (ВАТ). Они во многом определяют не только успешное ведение боевых действий различными видами и родами войск, но и уровень обороноспособности союзного государства Беларуси и России в целом, вследствие значимости и важности монтируемого и транспортируемого ВВТ.

В большинстве случаев СКШТ и размещенное на них оборудование представляют единые агрегаты, в которых составные части компоновочно, кинематически и функционально взаимосвязаны.

Среди выпускаемых и создаваемых на ОАО «МЗКТ» СКШТ можно выделить несколько разделов.

1) Внедорожные шасси высокой проходимости под монтаж:

а) пусковых установок, различных систем залпового огня - СКШ МЗКТ-543 (М), МЗКТ-7930;

Краткая техническая характеристика СКШ МЗКТ-7930:

- колесная формула 8х8;
- грузоподъемность 24200 кг;
- мощность двигателя 500л.с.;
- максимальная скорость 70км/ч.



Рис. 1 - СКШ МЗКТ-7930 в составе пусковой установки системы «Бал»

б) систем пусковой установки «Тополь-М» и «Ярс» и другого оборудования - СКШ МЗКТ-79221, МЗКТ-7916-011 (под монтаж кранового оборудования грузоподъемностью 160 т).

Краткая техническая характеристика СКШ МЗКТ-79221:

- колесная формула 16х16;

- мощность двигателя 800 л.с.;
- максимальная скорость 40 км/ч.



Рис. 2 - СКШ МЗКТ-79221 в составе пусковой установки «Ярс»

- в) различного специального оборудования - СКШ МЗКТ-79291, МЗКТ-79292.  
Краткая техническая характеристика СКШ МЗКТ-79291:
- грузоподъемность 60 000 кг;
  - мощность двигателя 650 л.с.;
  - максимальная скорость 40 км/ч.



Рис. 3 - СКШ МЗКТ-79291 на испытаниях

- 2) СКШ высокой проходимости под монтаж:
- а) пусковой установки, оборудования антенного поста, командного поста зенитно-ракетного комплекса (ЗРК) «Печора – 2М - СКШ МЗКТ – 8021, МЗКТ-80211, МЗКТ-8022;
- б) пусковых установок различных систем ПВО – СКШ МЗКТ-6922, МЗКТ-69221, МЗКТ-69222, МЗКТ-69223 (корпусные).
- Краткая техническая характеристика СКШ МЗКТ-6922:
- грузоподъемность 12 000 кг;
  - мощность двигателя 420 л.с.;
  - максимальная скорость 80 км/ч.





Рис. 4 - СКШ МЗКТ-6922 в составе ЗРК «Тор М2Э»

в) оборудования эвакуатора - МЗКТ-790986.

3) СКШ и АМН дорожного габарита

а) под установку специального оборудования и РЛС - МЗКТ-65272, МЗКТ-65273;

б) с бортовой платформой и манипулятором, с системой погрузки «Мультилифт» - МЗКТ-7301, МЗКТ-73011.

4) Седельные тягачи и автопоезда для транспортировки тяжелой гусеничной техники - МЗКТ-7415, МЗКТ-742952+93783, МЗКТ-74296+93782, МЗКТ-742953+99943, 74135+99942+83721.

Краткая техническая характеристика СКТ МЗКТ-7415:

- нагрузка на ССУ 17 500 кг;
- мощность двигателя 500 л.с.;
- максимальная скорость 70 км/ч.



Рис. 5 - СКТ МЗКТ-7415

### Перспективное семейство АМН ОАО «МЗКТ».

История создания нового перспективного семейства АМН начинается с 2006 года, когда было принято решение об инициативной разработке базового шасси и разработано техническое задание на опытно-конструкторскую работу. При этом перед конструкторами была поставлена задача о максимальном приближении конструкции к соответствию современным тактико-техническим требованиям к АМН, в соответствии с которыми они должны в своем составе иметь:

- дизельные двигатели нового поколения с электронными системами управления, диагностики и защиты;
- автоматические гидромеханические передачи;
- модульные по конструкции кузов и каркасно-панельную кабину, приспособленные к бронированию;
- независимую управляемую подвеску всех колес;
- тормозные системы повышенной эффективности;
- электронное управление работой основных агрегатов шасси;
- бортовые информационно-управляющие системы;
- несколько вариантов бронезащиты кабины с композитной броней;
- противоминную защиту экипажа и наиболее ответственных узлов и агрегатов;
- радиальные бескамерные и боестойкие шины;
- высокоэффективные средства слежения за местностью;
- современные средства жизнеобеспечения;
- высокую степень унификации между семействами;
- типаж должен ограничиваться небольшим количеством базовых машин.

Новое семейство АМН ОАО «МЗКТ» включает в себя базовое шасси с колесной формулой 6х6 и шасси с колесной формулой 4х4 и 8х8 грузоподъемностью от 4 до 15 т (табл. 1). В перспективе планируется разработка АМН с колесной формулой 10х10.

Таблица 1 - Основные тактико-технические показатели перспективного семейства АМН ОАО «МЗКТ».

Наименование показателя, единица измерения	АМН 4х4	АМН 6х6	АМН 8х8
Масса снаряженного автомобиля, кг	6000	10000	15000
Грузоподъемность, кг	4000	12500	15000
Мощность двигателя, кВт (л. с.)	184 (250)	309 (420)	309 (420)
Угол въезда, град	40	40	40
Угол съезда, град	35	35	35
Глубина брода, м	1,75	1,75	1,75
Максимальная скорость, км/ч	100	100	100
Запас хода по топливу, км	1200	1200	1200



*Рис. 6 - АМН МЗКТ-5002 колесной формулой 4х4*



*Рис. 7 - АМН МЗКТ-6001 колесной формулой 6х6*

### **Защищенные ЛБА**

Краткая техническая характеристика ЛБА МЗКТ-4901:

- колесная формула 4×4;
- грузоподъемность 2 000 кг;
- мощность двигателя 240 л.с.;
- максимальная скорость 120 км/ч.



Рис. 8 - ЛБА МЗКТ-4901

### Направления развития

С учетом возрастающих требований к объектам ВАТ [2-7] развитие техники планируется проводить по следующим основным направлениям:

- повышение надежности (средняя наработка на отказ, гарантийный срок эксплуатации, ресурс до капитального ремонта, оперативная продолжительность замены основного агрегата, периодичность технического обслуживания);
- повышение подвижности (максимальная скорость, средняя скорость по местности и грунтовым дорогам, удельная мощность, дорожный просвет, запас хода, глубина брода);
- повышение готовности к применению (температурный диапазон использования, эксплуатация на высоте, время подготовки к движению при отрицательных температурах);
- повышение защищенности (стойкость к воздействию ударной волны, стойкость к световому излучению, защита экипажа от пуль стрелкового вооружения, стойкость при подрыве на минах, защита от осколков мин, снарядов);
- повышение скрытности от технических средств разведки (деформирующее окрашивание техники, светомаскировочные устройства и приборы ночного видения, инфракрасное излучение, разность яркости объекта и фона);
- повышение уровня унификации (создание семейств ВАТ, межпроектная унификация);
- снижение шума и вибронагруженности, снижение снаряженной массы, повышение комфортабельности и удобства к применению, повышение уровня электрифицированности техники, облегчение управления техникой и защита от аварийных ситуаций.

### Список литературы:

1. Основы надежности и ремонта транспортных средств специального назначения А.Н. Леонтьев [и др.]. - Омск: СибАДИ, 2010. — 135 с.



2. Белоусов, Б.Н. Прикладная механика наземных тягово-транспортных средств с мехатронными системами / Б.Н. Белоусов, С.Б. Шухман; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Б.Н. Белоусова. - М.: Изд-во Агроконсалт, 2013. - 612 с.
3. Белоусов, Б.Н. Колесные транспортные средства особо большой грузоподъемности. Конструкция. Теория. Расчет /Б.Н. Белоусов, С.Д. Попов / под общ. ред. Б.Н. Белоусова. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. — 728 с.
4. Плиев, И.А. Оценка технического уровня семейств автомобилей многоцелевого назначения на основе метода анализа иерархий // Журнал Ассоциации автомобильных инженеров. — 2010. — № 3(62).
5. Шевченко, А. К военному автомобилю XXI века / А. Шевченко // Красная Звезда. — 27.05.2013.
6. Мамедов, В. Современные требования к автомобильной технике специального назначения / В. Мамедов // Грузовик. — 2009. — № 1.
7. Сидоров, Б. Характеристика парка современной военной автомобильной техники зарубежных стран / Б. Сидоров, В. Яситников // Зарубежное военное обозрение. — 2003. — № 1.

УДК 629.3

## ЛЕГКОБРОНИРОВАННЫЕ АВТОМОБИЛИ. ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ И НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ

Гарах В.А., Поплавский Д.Э., Рудович В.М.

*Открытое акционерное общество «Минский завод колесных тягачей»*

**Легкобронированные автомобили.** В настоящее время достаточное внимание уделяется созданию и совершенствованию мобильных сил быстрого реагирования, в которых каждая отдельно взятая единица боевой техники должна обладать достаточной защищенностью, подвижностью и огневой мощностью.

Защищенные автомобили широко используются для выполнения целого спектра военных задач, диктуемых современной ситуацией в мире. Расстановка сил и развитие передовых технологий вооружения и техники накладывают свой закономерный отпечаток и на тактику ведения современного боя. Наиболее распространенным современным видом боевых действий на планете стала «мятежевойна», носящая преобладающе партизанский и террористический характер ведения боя. В связи с этим, наиболее актуальным и востребованным транспортным средством при решении контрпартизанских и контртеррористических задач является легкая, быстрая, маневренная машина, имеющая высокую проходимость, способность преодолевать преграды, легкую броню и вооружение для защиты и поддержки личного состава и экипажа. Одной из разновидностей данных специальных транспортных средств является легкобронированный автомобиль (далее – ЛБА) – бронированная машина, предназначенная для использования в качестве бронеавтомобиля; машины огневой поддержки пехоты; самоходного миномета; самоходного противотанкового ракетного комплекса; машины связи, управления и командно-штабной; зенитно-ракетного комплекса; машины радиационной, химической и биологической разведки; разведывательно-диверсионной машины; машины радиоэлектронной борьбы; бронированной ремонтно-эвакуационной машины; машины управления техническим обеспечением; медицинской эвакуационной машины, легкого штурмового автомобиля и других.

По оценке экспертов в области создания ЛБА, преимущество колесного шасси определяется высокой подвижностью, большим запасом хода, противоминной стойкостью, меньшей стоимостью и небольшими затратами на содержание и обслуживание.

По численности и разнообразию модификаций легкобронированный автомобиль можно считать самым массовым видом техники, состоящей на вооружении.

**Обзор конструкций и направлений развития.** Анализ технических характеристик современных ЛБА, наиболее востребованных на рынке вооружения, представлен в таблице 1.



Таблица 1 – Технические характеристики легкобронированных автомобилей						
						
Производитель	РБ	РФ	ОАЭ	Италия	Франция	Франция
Защищенность (Класс бронирования)	Бр4 ГОСТ Р 50963-96 (2 STANAG 4569)	Бр4 ГОСТ Р 50963-96 (2 STANAG 4569)	1 STANAG 4569	1 STANAG 4569	3 STANAG 4569	2 STANAG 4569
Колесная формула, несущая система	4х4, рамная	4х4, рамная	4х4, рамная	4х4, рамная	4х4, рамная	4х4, корпусная
Полная масса, кг	12 000	8 000	9 200	7 000	8 000	10 500
Мощность ДВС, кВт (л.с)	176,5 (240)	158 (215)	235 (320)	136 (185)	158 (215)	237 (322)
Удельная мощность, л.с/т	20	27	35	26.4	16.3	30.6
Коробка передач	АКПП МЗКТ-2361	МКПП ЯМЗ-1406	АКПП Allison 3060	АКПП ZF 6HP260	АКПП Allison S2500	АКПП ZF
Дорожный просвет, мм	400	400	450	493	450	440
Длина, мм	6 480	5 700	5 190	5 500	5 430	5 450
Ширина, мм	2 550	2 300	2 300	2 050	2 350	2 550
Высота, мм	2 650	2 400	2 215	1 950	2 100	2 000
Брод, мм	1.2	1.2	1.2	0.7	0.75	1.0
Запас хода по топливу, км	1 000	1 000	800	-	1 000	1 000
Максимальная скорость, км/ч	120	110	135	130	110	110
Экипаж	2+8	2+7	2+5	4	5	2+7

Проанализировав характеристики представленных выше ЛБА можно определить основные (наиболее распространенные) показатели современных образцов:

- защищенность – не ниже Бр4 ГОСТ Р 50963-96 (2 STANAG 4569);
- несущая система – рамная;
- тип двигателя – дизельный, 4-6 цилиндровый;

- средняя удельная мощность – 25;
- трансмиссия – автоматическая, гидромеханическая;
- максимальная скорость – не ниже 110 км/ч;
- экипаж – не менее 8 человек;
- запас хода – не менее 1000 км.

Одним из основных критериев боевой эффективности является защищенность. Опыт проведения боевых операций последних двух десятилетий показал необходимость усиления защиты экипажа, узлов и агрегатов военной техники ввиду того, что широкое распространение получили взрывные устройства.

Предлагаемыми техническими решениями, позволяющими обеспечить эффективную защиту боевых бронированных машин от различного вида оружия, являются:

- оптимизация компоновочных и конструктивных схем;
- внедрение материалов, обеспечивающих скрытность;
- применение различных видов бронирования;
- внедрение средств усиления противоминной стойкости;
- использование современных высокопрочных материалов; установка систем защиты от ОМП.

Оптимизация компоновочной схемы предусматривает размещение экипажа, основных узлов и агрегатов машин в местах, ограничивающих воздействие поражающих факторов обычного оружия.

Скрытность ЛБА обеспечивается за счет применения маскирующего окрашивания, систем пуска дымовых (аэрозольных) завес, снижения заметности в радио-, ИК- и визуальном диапазонах.

Для обеспечения защиты ЛБА от пуль, осколков и кумулятивных боеприпасов конструктивно обеспечивается:

- неизменный уровень защиты при условии обеспечения высокой стойкости
- базовый уровень защиты с возможностью усиления на основе анализа потенциальных угроз в предполагаемых условиях применения.

Для достижения высокой противоминной стойкости при конструировании бронеавтомобилей широко применяют следующие решения: использование прочной кабины-капсулы; оборудование боевого отделения многослойным днищем; размещение наружных панелей, поглощающих энергию взрыва; применение дополнительных защитных панелей на полу; увеличение динамического хода колес; конструктивное отделение сидений от пола. Использование вышеперечисленных конструктивных решений позволит обеспечить выживание экипажа при подрыве на фугасном устройстве мощностью до 8 кг в тротиловом эквиваленте под колесом и 6 кг под днищем машины, что наиболее близко определяет требуемый уровень защиты, основанный на данных по частоте применения мин и различных взрывных устройств с различными тротиловыми эквивалентами, полученные в результате обобщения опыта боевых действий США за последние годы (таблица 2).





Таблица 2 – Частота применения взрывных устройств в тротильном эквиваленте

Тротильный эквивалент, кг	Количество применяемых мин (%)
0 - 1	0
1 - 2	3,5
2 - 3	2
3 - 4	0
4 - 5	10
5 - 6	17
6 - 7	24,5
7 - 8	29
8 - 9	3,5
9 - 10	5,5
> 10	5

Однако ряд мероприятий по улучшению одних качеств ЛБА неизменно ведет к некоторому ухудшению других, не менее важных, характеристик (например, повышение защищенности приведенными выше способами влечет к значительному ухудшению эксплуатационных характеристик – повышение центра масс и собственно массы, ухудшение проходимости, маневренности, скрытности).

В этой связи, актуальными проблемами на настоящее время являются:

- снижение массы изделий;
- оснащение продвинутыми бортовыми информационно-управляющими системами автомобилей для повышения живучести и снижения утомляемости экипажа;
- снижение себестоимости изготовления, эксплуатации и ремонта ЛБА.

Таким образом, создание новых образцов легкобронированных автомобилей идет по пути поиска оптимальных компоновочных решений с целью повышения защищенности личного состава, основных узлов и агрегатов, улучшения маневренности, живучести и автономности, совершенствованию эргономики рабочих мест.

#### Список литературы:

1. Газенко В. Н., Ильин В. Е. Бронетранспортеры и бронемашины России. Иллюстрированный справочник. – М.: АСТ, 2001 – 125 с.;
2. Никольский М. В., Ильин В.Е. Колесная бронетехника. Иллюстрированный справочник. – М.: АСТ, 2001 – 511 с.;
3. Л.Д. Гоголев "БРОНЕМАШИНЫ" Очерки об истории развития и боевом применении. Москва, Издательство ДОСААФ СССР, 1986;
4. [www.sa100.ru/armor/Wheeled\\_Combat\\_Vehicles/WCV1](http://www.sa100.ru/armor/Wheeled_Combat_Vehicles/WCV1);
5. [www.army-guide.com](http://www.army-guide.com);
6. [www.modernarmy.ru](http://www.modernarmy.ru);
7. [www.military-informer.narod.ru](http://www.military-informer.narod.ru);
8. [www.amz.ru](http://www.amz.ru);
9. <http://www.btvn.narod.ru>.

## КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЬНОГО РЯДА ЛЕГКОБРОНИРОВАННЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ОАО «МЗКТ»

**Гарах В.А., Поплавский Д.Э., Рудович В.М.**

*Открытое акционерное общество «Минский завод колесных тягачей»*

**Концепция построения модельного ряда легкобронированных автомобилей ОАО «МЗКТ».** Легкобронированные автомобили (ЛБА) получили наиболее широкое распространение в вооруженных силах иностранных государств в последние несколько лет, когда практически миновала угроза глобальных войн и в то же время возросло количество локальных конфликтов малой интенсивности, что предопределяет ограниченное использование тяжелой бронетехники. В этих условиях наиболее широкое распространение получили легкие мобильные силы. Опыт применения автомобильной техники в ходе конфликтов в бывшей Югославии, Афганистане и Ираке, а также в операциях по борьбе с терроризмом показал, что мобильные легкие силы должны иметь легкую броневую защиту личного состава и основных узлов автомобиля. В настоящее время в 26 странах мира состоят на вооружении или разрабатываются более 120 типов ЛБА. ЛБА применяются для ведения разведки и наблюдения; охраны особо важных объектов; сопровождения и охраны колонн; патрулирования в зонах напряженности; транспортировки и защиты личного состава в боевых условиях; огневой поддержки подразделений при выполнении специальных задач; организации связи, центра сбора и обработки данных по условиям ведения служебно-боевых действий, приема-передачи командно-сигнальной, формализованной и неформализованной информации, решения информационных и расчетных оперативно-тактических задач в условиях выполнения спецоперации; размещения полевого подвижного комплекса инфокоммуникационных услуг и радиоэлектронных средств; размещения мобильного пункта управления беспилотными летательными аппаратами.

Учитывая зарубежный опыт и существующие тенденции развития рынка защищенных автомобилей, ОАО «МЗКТ» разработало собственный легкобронированный автомобиль.

ЛБА представляет собой автомобиль капотной компоновки, с установленным на раму бронированным корпусом. К основным преимуществам автомобиля можно отнести модульный принцип конструкции; оснащение автоматической трансмиссией собственного производства, позволяющей отказаться от ступенчатой раздаточной коробки. Длинноходовая независимая пружинная подвеска колес позволяет значительно повысить плавность хода и, как результат, скорость движения ЛБА в сложных дорожных условиях. Надёжность и эффективность подвески была апробирована на шасси МЗКТ-500200, МЗКТ-6001, МЗКТ-600201, МЗКТ-600203.

ЛБА оборудован бортовой информационно-управляющей системой, которая позволяет вести оперативный контроль состояния узлов и систем шасси для предупреждения аварийных ситуаций и отказов в работе систем.



Также в базовое исполнение ЛБА входит целый комплекс дополнительного оборудования: ФВУ, предпусковой подогреватель-отопитель независимого действия, автономная двухзонная система отопления обитаемого отсека независимыми воздушными отопителями, двухзонная система отопления обитаемого отсека от системы охлаждения двигателя, двухзонная система кондиционирования, система дымоудаления, энергопоглощающие сидения десантного отсека, ограничители радиального давления для езды на поврежденных шинах, система центральной накачки шин, электрообогреваемые ветровые и передние боковые бронестекла и зеркала заднего вида.

Опционально ЛБА может быть оснащен: задней дверью аппарельного типа, электрической лебедкой самовытаскивания, боевым модулем под установку стрелкового вооружения, комплектом противоминной защиты, аппаратурой связи. По требованиям заказчика возможен монтаж специализированного оборудования, в том числе на крышу автомобиля.



*Рис. 1 – Макетный образец ЛБА МЗКТ*

Значительное внимание уделено вопросу унификации с серийными изделиями МЗКТ, что не только снижает стоимость готового изделия, но и позволит снизить эксплуатационные затраты заказчика.

ЛБА МЗКТ отличается повышенной проходимостью на сильно пересеченной местности, высокими скоростями, высокой автономностью и возможностью его переброски по воздуху транспортными самолетами, а также вертолетами на внешней подвеске.

Схема строения ЛБА МЗКТ представлена на рисунке 2.



Рис. 2 – Схема ЛБА МЗКТ

Таким образом, достигнутый технический уровень базового ЛБА МЗКТ:

- цельнометаллический бронированный корпус с возможностью установки специального оборудования без дополнительного усиления;
- подвесные десантные сидения;
- унифицированная конструкция под установку различных типов трансмиссий;
- независимая пружинная подвеска всех колес;
- одноступенчатая раздаточная коробка;
- увеличение устойчивости автомобиля за счет низкого центра масс и применения независимой подвески;
- высокий уровень унификации;
- система автоматического регулирования давления воздуха в шинах;
- двухзонная система отопления и кондиционирования, независимые воздушные отопители салона;
- максимальное количество опций, включенных в базовую комплектацию (БИУС, навигация, лебедка самовытаскивания; система дымоудаления, АКБ увеличенной емкости, система пуска ДВС с разряженными АКБ, ПЖД).

Безусловно, создание универсального легкобронированного автомобиля для нужд всех возможных потребителей не целесообразно в принципе, поскольку наличие избыточных опций и функций ведет не только к удорожанию изделия в целом, но и к значительному усложнению, снижению эксплуатационных характеристик и, соответственно, общей надежности.

На настоящее время, модельный ряд ЛБА МЗКТ представлен базовой комплектацией и семью комплектациями, являющимися образцами ВВСТ (вооруже-



ние, военная специальная техника). Разрабатываемые комплектации включают изделия с разведывательно-огневыми, боевыми-функциональными, дистанционно-управляемыми модулями, модулем радиоэлектронной борьбы, модулем ПТРК. Основные единицы модельного ряда ЛБА представлены на рисунке 3.

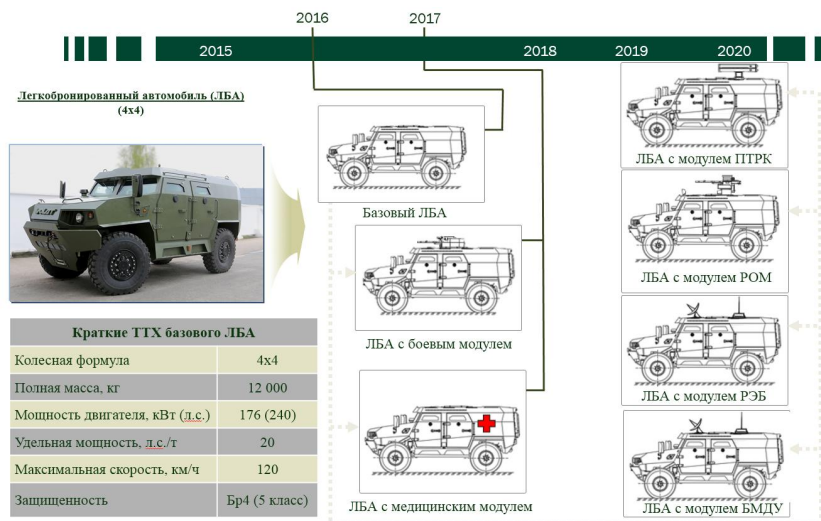


Рис. 3 – Модельный ряд ЛБА МЗКТ

В основе концепции построения модельного ряда легкобронированных автомобилей лежат принципы модульности и унификации конструкции.

При разработке ЛБА особое внимание уделено созданию универсальной транспортной базы, имеющей не только высокие эксплуатационные характеристики, но и высокую унификацию в части использования различных типов двигателей внутреннего сгорания, типов и конструктивных исполнений трансмиссии и подвески шасси.

Модульность ЛБА достигается не только за счет применения унифицированных мест крепления корпуса, но и за счет непосредственного использования линейки унифицированных составных элементов. Концептуальные особенности построения изготовленных и проектируемых в настоящее время образцов не представляется возможным ввиду обеспечения сохранности коммерческой тайны, однако основными концептуальными направлениями для ОАО «МЗКТ» являются:

- повышение защищенности с применением модульной и съемной защиты ЛБА;
- снижение номенклатуры оригинальных исполнений систем и узлов;
- снижение себестоимости и эксплуатационных затрат путем создания унифицированного семейства, в том числе с различными колесными формулами;
- обеспечение модульности конструкции готового изделия;
- разработка модельного ряда с альтернативной несущей системой;
- разработка и внедрение перспективных систем.

### Список литературы:

1. И.А. Плиев, Оценка технического уровня семейств автомобилей многоцелевого назначения на основе метода анализа иерархий, «Журнал ААИ», № 3 (62) 2010.
2. Шевченко А., начальник Главного автобронетанкового управления Министерства обороны РФ генерал-лейтенант. К военному автомобилю XXI века. Красная Звезда, 27.05.2013.
3. Мамедов В. Современные требования к автомобильной технике специального назначения. Журнал «Грузовик», № 1 2009.
4. Б. Сидоров Б., Яситников В. Характеристика парка современной военной автомобильной техники зарубежных стран. Журнал «Зарубежное военное обозрение», № 1 2003.
5. Лепешкин А.В. Опыт использования и перспективы создания многоприводных колесных машин повышенной проходимости. Известия МГТУ «МАМИ». Научный рецензируемый журнал. – М., МГТУ «МАМИ», № 2 (10), 2010. с. 54-65.
6. [www.modernarmy.ru](http://www.modernarmy.ru).
7. [www.military-informer.narod.ru](http://www.military-informer.narod.ru).



УДК 62-2

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ ПОКРЫТИЙ И ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ И ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

**Девоyno О.Г., Сокоров И.О.**

*Белорусский национальный технический университет*

Улучшение эксплуатационных характеристик деталей машин за счет повышения надежности, долговечности и экономичности на сегодняшний день является одной из актуальных и значимых задач современного машиностроения. Потери средств от трения и износа достигают 4...5 % национального дохода, а преодоление сопротивления трению поглощает во всем мире 20...25 % вырабатываемой за год энергии. Изнашивание приводит к нарушению герметичности узлов, теряется точность взаимного расположения деталей и перемещений. Возникают заклинивания, удары, вибрации, приводящие к поломкам. Трение приводит к потерям энергии, перегреву механизмов, снижению передаваемых усилий, повышенному расходу горючего и других материалов. Явления трения и изнашивания взаимно обусловлены: трение приводит к изнашиванию, а изнашивание поверхностей деталей в ходе работы приводит к изменению параметров трения. Для ликвидации последствий изнашивания проводятся текущие и капитальные ремонты, в ходе которых изношенные детали и узлы либо заменяют, либо восстанавливают.

Первостепенным направлением развития современного машиностроительного производства является повышение надежности и износостойкости деталей машин.

Также в комплексе решаемых в машиностроении масштабных первостепенных задач увеличение продолжительности срока службы узлов и механизмов и обеспечение безопасной работы машин остается одной из первых. Соблюдение этих тенденций позволяет обеспечить конкурентоспособность отечественных машин и механизмов. Срок службы любого механизма зависит от работы отдельных узлов. Основными видами отказов (более 80 %) является преждевременный износ трущихся узлов и деталей машин.

Одним из важнейших вопросов машиностроения является обеспечение работоспособности закрытых узлов трения, ограничивающих работоспособность механизмов и машины в целом, контролировать работу которых постоянно практически невозможно. В таких закрытых узлах, подверженных виброколебаниям, одним из основных видов изнашивания является фреттинг-коррозия. Фреттинг наблюдается в различных прессовых посадках (например, ступицы колеса и оси, бандажа и колесного центра, подшипниках качения и скольжения), в шлицевых, шпоночных, болтовых и заклепочных соединениях и др.

Прогрессивными способами решения проблемы долговечности является получение упрочненных слоев на поверхностях деталей машин с применением высококонцентрированных потоков энергии (газотермическое напыление, лазерная обработка) и применение новых композиционных материалов с управ-

ляемым комплексом физико-механических свойств и эксплуатационных характеристик.

К основным особенностям использования высокоэнергетических источников энергии, привлекающих внимание технологов, относятся – высокая концентрация и локальность энергии, вводимой в зону обработки. Это дает возможность проведения необходимой термообработки только определенной поверхностной зоны без объемного разогрева всей детали и точно дозировать энерговклад. Кроме того, к достоинствам таких видов обработки относятся простота транспортировки излучения к рабочей зоне (особенно у волоконных лазеров с гибким подводом энергии) и хорошая возможность автоматизации процесса.

Концентрированные потоки энергии применяются для упрочнения и восстановления деталей машин как в отдельных технологиях (в частности, газотермическое напыление функциональных композиционных покрытий, лазерная закалка, легирование, наплавка), а так же в комплексных технологиях при изготовлении деталей машин (плазменная и лазерная резка и сварка, прототипирование и др.). Эти методы существенно расширяют границы использования упрочняющих и восстанавливающих технологий, как в отношении упрочняемых материалов, так и материалов покрытий.

Лазерное излучение является эффективным источником концентрированной энергии и характеризуется рядом уникальных свойств: высокой монохроматичностью, значительной степенью временной и пространственной когерентности, узкой направленностью своего распространения [1]. Благодаря когерентности лазерного излучения, оно может быть сфокусировано в пятне с очень высокой плотностью потока энергии.

В зависимости от интенсивности и длительности воздействия различают следующие стадии взаимодействия излучения с материалом при лазерной обработке: подвод лазерного излучения, поглощение светового потока и передача его энергии твердому телу, нагрев материала без видимого разрушения, плавление материала, испарение и вымывание продуктов разрушения, остывание материала после окончания лазерного воздействия. Как показали многочисленные эксперименты и теоретические расчеты [2], при плотностях потока энергии, обеспечивающих плавление твердого вещества, характерные особенности лазерного излучения практически не влияют на процесс взаимодействия с металлами.

Главную роль в создании необходимой зоны нагрева для обработки играют только энергетические характеристики: энергия, мощность, пространственная плотность энергии и мощности, длительность импульса излучения или время воздействия, структура излучения по пространству и времени, физические свойства обрабатываемого материала (коэффициент отражения поверхности, длина волны излучения, температуропроводность, теплопроводность, удельная теплота плавления и испарения, температура плавления и испарения, плотность материала и т.п.) [3].

Процессы, происходящие при лазерном воздействии, определяются, в основном, теплофизическими свойствами обрабатываемых материалов и величи-





ной энерговклада. Регулируя плотность мощности излучения и время воздействия при конечных величинах теплопроводности обрабатываемых материалов, можно задавать любые энергетические условия. При сравнительно низкой плотности потока лазерное излучение служит, в основном, для локального нагрева поверхности металлов без оплавления. С повышением значения плотности мощности излучения начинается плавление и разрушение металлов (материалов) вследствие испарения [3]. Скорости нагрева и охлаждения при этом на несколько порядков выше, чем в широко распространенных процессах термообработки и составляют 105...106 град/с [4]. Благодаря этому скорость прохождения критических точек и температурных интервалов, в которых в сталях и сплавах совершаются структурные превращения, приближается к предельным скоростям протекания собственно процессов.

Особенности концентрированных потоков энергии позволяют осуществлять различные процессы размерной и упрочняющей обработки, выполнять поверхностную обработку без разогрева внутренних слоев материалов и объемного нагрева деталей, избежать нежелательных структурных превращений и деформаций основы; управлять структурообразованием – влиять на качественный и количественный состав, объемную плотность и дисперсность вторичных фаз, фиксировать метастабильные структуры, выявляя предельные свойства материалов, потенциально заложенные в их природе; проводить локальную обработку отдельных участков поверхности материала; обрабатывать труднодоступные участки поверхности деталей любой конфигурации.

Перспективным направлением применения концентрированных потоков энергии является лазерное легирование. Введение в поверхностный слой легирующих элементов в определенных количествах с последующей лазерной обработкой позволяет получить поверхностный слой детали с уникальными свойствами, что открывает возможность замены дорогостоящих высоколегированных сталей более дешевыми конструкционными.

Лазерное легирование осуществляется при определенных параметрах обработки, из которых наиболее существенными являются плотность мощности и скорость сканирования лазерного луча [5].

Механизм лазерного легирования заключается в следующем. В поверхностном слое облучаемого материала протекает несколько процессов: сверхскоростной нагрев основного и легирующего материалов до образования жидкой фазы и лазерной плазмы над ее поверхностью; механическое перемешивание компонентов под действием гидродинамических сил и температурных градиентов; диффузия легирующих элементов в жидкой и твердой фазах; образование за счет мгновенного охлаждения пересыщенных твердых растворов и протекание в термодинамически неравновесных условиях «нестандартных» химических реакций. Основную роль при этом играют механическое перемешивание и диффузия в жидкой фазе. Высокие скорости нагрева и охлаждения приводят к образованию неравновесных твердых растворов с концентрацией легирующих элементов, значительно превышающей равновесную. Это может привести к значительному искажению кристаллической структуры и способствует поверхностному растрескиванию легированного слоя. Многообразие и сложность про-

текающих в зоне обработки физико-химических процессов исключает пока возможность точного прогнозирования, получаемых при этом фаз, структур и закономерностей их образования.

Основным критерием оптимизации при выборе компонентов состава является анализ химизма образования активных атомов в условиях интенсивного нагрева на основании расчетов температурной зависимости энергии Гиббса (изобарно-изотермического потенциала) реакций, протекающих в легирующей обмозке в условиях скоростного нагрева в окислительной среде.

Расчет энергии Гиббса производится в интервале температур, при котором в процессе легирования наиболее вероятно контактное эвтектическое плавление с учетом возможного перегрева легирующей обмозки и металла основы такой интервал температур является вполне достаточным для анализа.

Термодинамические расчеты должны обосновать возможность получения активных атомов легирующего элемента (ов).

При использовании обмозок на основе бора и кремния образование активных атомов возможно лишь за счет реакции диссоциации при температуре свыше 1100 К, что, очевидно, будет сказываться на эффективности процесса упрочнения.

Кроме того, применение лазерных технологий позволяет изготавливать детали из разнородных материалов с высокими эксплуатационными свойствами, сваривать материалы, обеспечивая уникальные свойства сварного шва при высокой производительности процесса (сварка броневого стали), что способствует повышению конкурентоспособности продукции и развитию передовых технологий.

### Список литературы:

1. Спиридонов Н.В., Кобяков О.С., Куприянов И.Л. Плазменные и лазерные методы упрочнения. – Мн.: Высшая школа, 1988. – 200 с.
2. Рыкалин Н.Н., Углов А.А., Кокора А.Н. Лазерная обработка материалов. – М.: Машиностроение, 1975. – 296 с.
3. Упрочнение деталей лучом лазера /Коваленко В.С. [и др.]. – Киев: Техника, 1981. – 131 с.
4. Астапчик С.А. Фазовые и структурные превращения в сталях и сплавах при лазерном нагреве //Известия АН БССР. Серия физико-технических наук. – 1982. - №4. – С.30-32.
5. Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.
6. Девойно О.Г., Оценка напряженного состояния при лазерной обработке газотермических покрытий / О.Г. Девойно, А.П. Пилипчук, А.Л. Кочеров // Теоретическая и прикладная механика / Междунар. науч.-тех. сб. / – 2014. – Вып.29 – С. –134 – 137.
7. Девойно Д.Г. Моделирование процесса поверхностной закалки стальных деталей автомобильной техники сканирующим лазерным излучением / Д.Г. Девойно, О.Г. Девойно, А.П. Пилипчук // Вестн. Воен. Акад. Респ. Беларусь. – 2015. – № 3(48). – С. 64–73.



8. Девойно О.Г. Исследование процесса формирования поверхности методом селективного лазерного спекания из сплава ПГ-СР3 / Современные методы и технологии создания и обработки материалов / Сб. научных трудов / 2016. – С. 404 – 414.

9. О.К. Яцкевич, О.Г. Девойно, М.А. Кардаполова Оптимизация температурно-временных параметров поведения модифицированных бором и молибденом частиц оксида алюминия в плазменной струе / Современные методы и технологии создания и обработки материалов: сб. научн. трудов. В 3 кн. Кн. 2. Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки / редколлегия: С.А. Астапчик (гл.ред). [и др.]. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2016. – С. 91-97.

## МЕТОДИКА ИДЕНТИФИКАЦИИ ДОРОЖНЫХ УСЛОВИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛАМИ МНОГООСНЫХ МОБИЛЬНЫХ МАШИН

Дубовик Д.А., Мыльников Е.В., Савченко В.В.

*ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси»*

**Введение.** Одним из основных путей увеличения производительности и повышения конкурентоспособности мобильных машин является расширение применения бортовых электронных систем для автоматизации процессов диагностики, контроля и управления узлами и агрегатами [1].

Для внедорожных машин особое значение имеют бортовые системы автоматического управления, предназначенные для обеспечения мобильности и высоких тягово-скоростных свойств при движении в различных дорожно-климатических условиях без участия водителя. К таким системам относится бортовая система управления блокировками дифференциалов (СУБД) [2].

Работа СУБД основана на распознавании участков опорной поверхности с разными (плохими) дорожно-сцепными условиями под ведущими колесами, ограничивающими реализацию задаваемого водителем тягового режима движения, и включении блокировок дифференциалов силового привода. Причем, для предотвращения возникновения чрезмерных нагрузок в силовом приводе ведущих колес и существенного ухудшения управляемости многоприводных машин включение блокировок осуществляется на определенные промежутки времени [3].

Распознавание участков опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями осуществляется посредством сопоставления сигналов датчиков угловых скоростей ведущих колес. При достижении разности угловых скоростей заданной пороговой величины электронный блок управления (ЭБУ) СУБД выдает управляющий сигнал на исполнительный механизм блокировки соответствующего дифференциала [4]. При этом, как известно [5], разность угловых скоростей ведущих колес в тяговом режиме является следствием их раздельного буксования и, соответственно, снижения КПД ходовой системы – одной из основных характеристик эффективности многоосной мобильной машины. Следовательно, идентификация дорожных условий известными из научно-технической литературы СУБД осуществляется за счет расходования мощности силовой установки, и включение блокировок дифференциалов происходит уже после попадания ведущих колес на участок дороги с низким коэффициентом сцепления или вывешивания одного из колес ведущего моста [6].

Целью настоящей работы является разработка методики энергосберегающей идентификации дорожных условий под ведущими колесами для управления дифференциалами многоосных мобильных машин.

**Методика.** Одной из характерных особенностей многоосных колесных машин является движение колес второго и последующих ведущих мостов по колее первого ведущего моста. При прямолинейном движении мобильной машины происходит практически полное совпадение траектории движения колес



второго и последующих мостов с траекторией движения колес первого моста. При криволинейном движении происходит некоторое отклонение траектории движения колес второго и последующих ведущих мостов от траектории движения колес первого ведущего моста, которое увеличивается с увеличением кривизны траектории движения колесной машины (рис. 1).

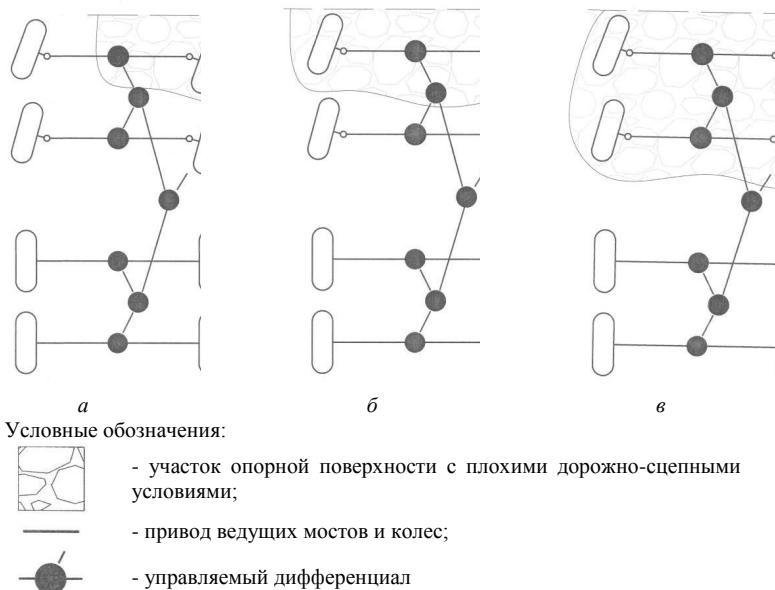


Рис. 1 Классификация размеров участков опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями:

*а* – участок опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями под одним колесом ведущего моста; *б* – участок опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями под колесами разных бортов отдельного ведущего моста; *в* – участок опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями под колесами разных бортов ведущей тележки

Данная особенность положена в основу разработанной методики идентификации дорожных условий под ведущими мостами и колесами многоосных машин. Разработанная методика предназначена для использования в алгоритмах функционирования СУБД и направлена на решение задачи повышения эффективности ходовых систем за счет изменения и придания приводу ведущих мостов и колес характеристики, оптимальной для текущих дорожно-сцепных условий под ведущими колесами в каждый момент движения многоприводной машины.

В качестве исходной информации для идентификации дорожных условий служат данные о состоянии дорожно-сцепных условий под ведущими колесами машины в пятнах контакта этих колес с опорной поверхностью. Источником исходной информации о состоянии дорожно-сцепных условий под ведущими колесами в направлении движения многоосной машины является результат ло-

гический обработки сигналов датчиков угловых скоростей ведущих колес, сигналов датчиков блокировки и управляющих сигналов на блокировку межколесных и межосевых дифференциалов первых ведущих мостов и тележек. В качестве характерного признака наличия участка опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями под ведущими колесами принимается выдача ЭБУ сигнала на блокирование дифференциала при достижении рассогласований угловых скоростей ведущих колес заданной пороговой величины. Анализ мест установки и режимов работы дифференциалов первых ведущих мостов и тележек, управляемых бортовой электронной системой в автоматическом режиме, свидетельствует о наличии и размерах участка опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями в направлении траектории качения колес вторых и последующих ведущих мостов и тележек многоосной машины.

Так, блокирование межколесного дифференциала первого ведущего моста в автоматическом режиме работы СУБД является следствием достижения рассогласования угловых скоростей ведущих колес пороговой величины. Данное событие свидетельствует о наличии участка опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями под одним из ведущих колес первого моста (рис. 1). В этом случае для изменения характеристики привода ведущих колес целесообразно упреждающим образом включить блокировки межколесных дифференциалов второго и последующих ведущих мостов.

В свою очередь, блокирование межосевого дифференциала первой тележки говорит о наличии участка опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями под колесами разных бортов отдельного ведущего моста. В этом случае для повышения эффективности ходовой системы многоосной машины при преодолении данного участка дороги необходимо своевременное включение блокировок межосевых дифференциалов второй и последующих тележек.

**Оценка эффективности.** Эффективность разработанной методики оценивалась расчетным методом в качестве алгоритма функционирования СУБД многосной мобильной машины с техническими характеристиками, близкими к характеристикам внедорожной машины МЗКТ-79091 полной массой 43,5 т с колесной формулой 8х8 и шинами 1500х600-635.

Для компьютерного моделирования движения многоосной мобильной машины составлялась математическая модель с использованием уравнений Аппеля [7]. Моделирование движения осуществлялось по наиболее вероятной для эксплуатации внедорожных машин грунтовой опорной поверхности в удовлетворительном состоянии с коэффициентом сцепления ведущих колес с опорной поверхностью 0,6 и коэффициентом сопротивления качению колес 0,03 [8] со скоростью 1 м/с.

В качестве участка опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями принимался участок опорной поверхности с переменным коэффициентом сцепления ведущих колес с опорной поверхностью, значения которого изменялись в диапазоне значений от 0,1 до 0,6. Для оценки эффективности разработанной методики участок опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями принимался расположенным под колесами одного борта, а его размеры в направлении движения колесной машины – меньшими чем ми-



нимальное расстояние между ведущими мостами внедорожной машины МЗКТ-79091. Последнее соответствует расстоянию между первым и вторым мостами и третьим и четвертым мостами внедорожной машины МЗКТ-79091 и равняется значению, численно равному 2,2 м.

Изменение значений коэффициента сцепления ведущих колес с опорной поверхностью  $\varphi$  на участке с плохими дорожно-сцепными условиями моделировалось с использованием нелинейной зависимости следующего вида:

$$\varphi = \varphi_0 - \Delta\varphi \cdot \sin^2 \left( \sqrt{t} \right),$$

где  $\varphi_0$  – математическое ожидание коэффициента сцепления ведущих колес с грунтовой опорной поверхностью удовлетворительного состояния;  $\Delta\varphi$  – величина изменения коэффициента сцепления ведущих колес с опорной поверхностью;  $T$  – параметр, характеризующий размер участка опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями,  $\text{с}^{-1}$ ;  $t$  – время движения колесной машины по участку опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями, с.

Для сравнительной оценки эффективности разработанной методики осуществлялось моделирование трех колесных машин с одними и теми же массовыми, геометрическими и другими параметрами, близкими к параметрам внедорожной машины МЗКТ-79091, но с различным приводом ведущих мостов и колес. В машине 1 моделировался простой симметричный дифференциальный привод ведущих мостов и колес. В машине 2 моделировался простой симметричный дифференциальный привод ведущих мостов и колес с СУБД, осуществляющей включение блокировок межколесных и межосевых дифференциалов на определенные промежутки времени при достижении рассогласований угловых скоростей связываемых ими ведущих колес значений пороговых величин и их последующем выключении. В машине 3 моделировался простой симметричный дифференциальный привод ведущих мостов и колес с СУБД, осуществляющей управление дифференциалами в соответствии с разработанной методикой идентификации дорожных условий.

Промежутки времени  $t_i$  для включения блокировок дифференциалов второго, третьего и четвертого ведущих мостов у машины 3 после блокирования дифференциала первого ведущего моста в соответствии определялись по формуле:

$$t_i = \frac{l_i - 2}{v},$$

где  $l_i$  – расстояние от первого моста до второго, третьего и четвертого мостов внедорожной машины МЗКТ-79091, м;  $v$  – текущая скорость движения машины 3, м/с.

Оценка эффективности ходовой системы многоосной машины осуществлялась с помощью КПД [9], используемого также в качестве оценочного показателя уровня реализации опорной проходимости и тягово-скоростных свойств:

$$\eta_{rsa} = \frac{N_{k\alpha}}{N_k} = \frac{\sum_{i=1}^n N_{k\alpha ir} + N_{k\alpha il}}{\sum_{i=1}^n N_{kir} + N_{kil}},$$

где  $N_{k\alpha}$  – мощность, расходуемая ходовой системой на осуществление движения машины в направлении, задаваемом водителем поворотом рулевого колеса, Вт;  $N_k$  – мощность, передаваемая ходовой системе, Вт;  $N_{\alpha ir}$  и  $N_{\alpha il}$  – мощность, расходуемая соответственно левым и правым колесами  $i$ -го моста на осуществление движения машины в направлении, задаваемом водителем поворотом рулевого колеса (индексы  $r$  и  $l$  относятся соответственно к правому и левому колесу моста), Вт;  $N_{kir}$  и  $N_{kil}$  – мощность, подведенная соответственно к левому и правому колесу  $i$ -го моста, Вт;  $n$  – число ведущих мостов колесной машины.

**Результаты расчета и их обсуждение** Результаты расчетных исследований приведены в виде графических зависимостей коэффициентов буксований и КПД ходовой системы машин 1–3 от времени прохождения ими участка опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями.

*Буксование ведущих колес.* Анализ зависимостей на рис. 2, *а* показывает, что при движении машины 1 с простым симметричным дифференциальным приводом ведущих мостов и колес по участку опорной поверхности с неудовлетворительными дорожно-сцепными условиями происходит раздельное буксование ведущих колес. Значения коэффициентов буксования ведущих колес машины 1 изменяются со значений, равных 0,0124–0,0134, при движении по грунтовой опорной поверхности удовлетворительного состояния до значений 0,099–0,1096 при прохождении участка опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями. Наибольшее увеличение значений коэффициентов буксования соответствуют колесам первого и второго ведущих мостов с меньшей нормальной нагрузкой.

Изменения коэффициентов буксований ведущих колес машины 2 показаны на рис. 2, *б*. Из рис. 2, *б* следует, что раздельное буксование ведущих колес у машины 2 ограничивается пороговым значением, задаваемым в программном обеспечении ЭБУ СУБД, осуществляющей включение блокировок дифференциалов при достижении рассогласований угловых скоростей связываемых ими ведущих колес значений пороговых величин.

При достижении пороговых значений рассогласований угловых скоростей колес ведущих мостов происходит блокирование межколесного дифференциального привода и реализация в дальнейшем в течение заданных промежутков времени блокированного привода ведущих колес. При этом значения коэффициентов буксования ведущих колес, движущихся по участку опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями, увеличиваются более чем на 0,048 и достигает диапазона значений 0,060–0,062. В результате блокирования межколесного привода устраняется раздельное буксование колес, что положительным образом сказывается на повышении опорной проходимости и тягово-скоростных свойств внедорожной машины.



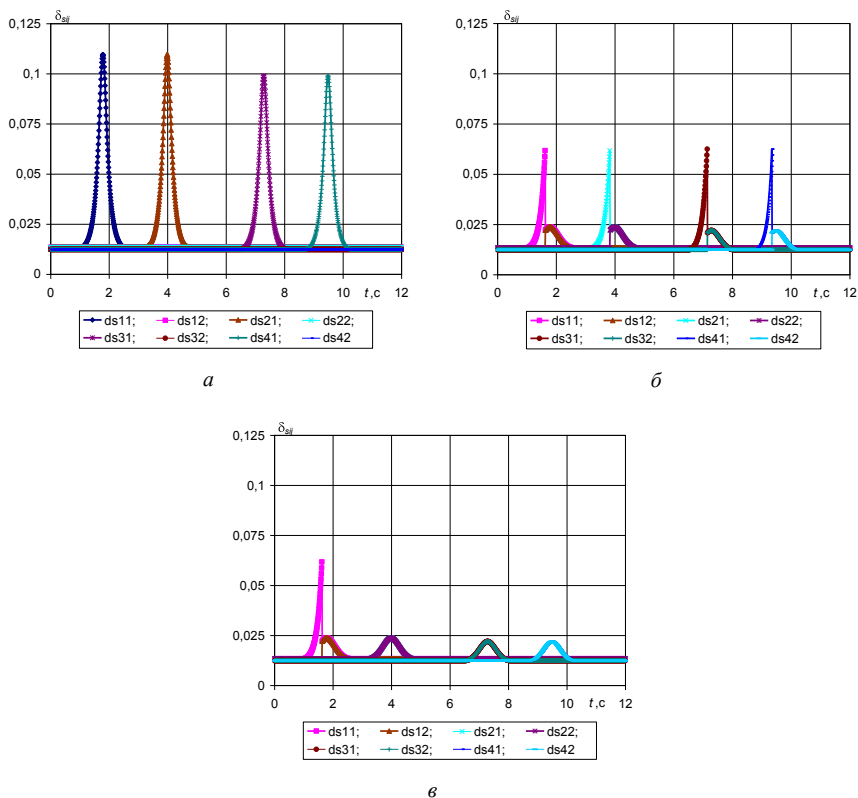


Рис. 2. Зависимости коэффициентов буксований ведущих колес машины 1 (*a*), машины 2 (*б*) и машины 3 (*в*) от времени движения

Зависимости на рис. 2, *в* свидетельствуют о том, что у машины 3 с управлением дифференциалами в соответствии с разработанной методикой раздельное буксование реализуется при прохождении участка опорной поверхности с неудовлетворительными дорожно-сцепными условиями только ведущими колесами первого моста. При достижении рассогласования угловых скоростей ведущих колес пороговой величины происходит блокирование привода колес первого ведущего моста и ограничение увеличения коэффициентов буксования ведущих колес свыше диапазона значений 0,06–0,062. При этом, по истечении промежутков времени, не превышающих отношения расстояния от первого ведущего моста до соответствующих второго или последующих ведущих мостов к скорости движения многоосной машины, также осуществляется блокирование дифференциалов второго и последующих ведущих мостов.

Таким образом, реализация разработанной методики создает условия для осуществления превентивного управления приводом ведущих колес и преодоле-

ния многоосной машиной участка опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями от его начала до конца с заблокированным приводом колес второго и последующих ведущих мостов. При этом, полностью устраняется раздельное буксование колес второго, третьего и четвертого ведущих мостов. Изменение коэффициентов буксований колес второго, третьего и четвертого ведущих мостов машины 3 происходит синхронно. При прохождении участка опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями они ограничиваются диапазоном значений 0,0217–0,0235, определяемым текущими значениями характерных параметров дорожно-сцепных условий под ведущими колесами.

*Эффективность ходовой системы.* Анализ зависимости на рис. 3, а показывает, что у машины 1 с простым симметричным дифференциальным приводом ведущих мостов и колес показатель  $\eta_{рс\alpha}$  при движении по опорной поверхности удовлетворительного состояния составляет 0,987. При преодолении участка опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями показатель  $\eta_{рс\alpha}$  снижается до диапазона значений 0,9739–0,9755. Снижение показателя  $\eta_{рс\alpha}$  на 0,0115–0,0131 объясняется увеличением буксований ведущих колес, движущихся по участку опорной поверхности с уменьшенным коэффициентом сцепления.

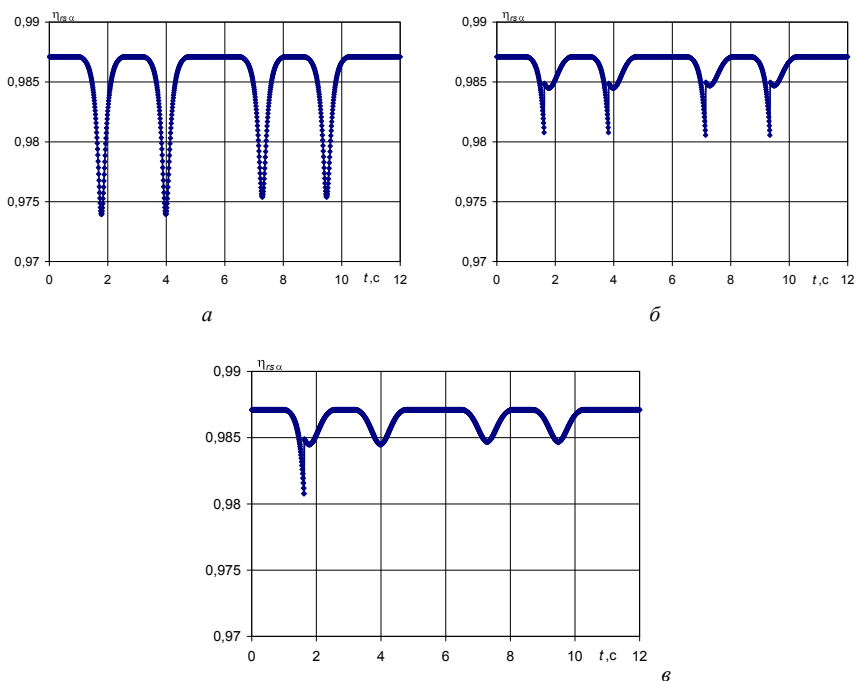


Рис. 3. Зависимости КПД ходовых систем машины 1 (а), машины 2 (б) и машины 3 (в) от времени движения



У машины 2 снижение показателя  $\eta_{rsa}$  происходит каждый раз при преодолении ведущими колесами участка опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями. У многоосной машины, близкой по своим характеристикам к характеристикам внедорожной машины МЗКТ-79091, при преодолении одного участка опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями снижение показателя  $\eta_{rsa}$  наблюдается четыре раза. Оно происходит всякий раз при попадании одного из колес каждого из четырех ведущих мостов на участок опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями (рис. 3, б). Снижение показателя  $\eta_{rsa}$  у машины 2 ограничивается блокированием дифференциалов привода ведущих колес, которое осуществляется при достижении пороговых значений рассогласований кинематических параметров связываемых ими ведущих колес, т.е. только тогда, когда снижение показателя  $\eta_{rsa}$  вследствие раздельного буксования ведущих колес уже произошло.

Снижение показателя  $\eta_{rsa}$  у машины 2 происходит до значений 0,9806–0,9808 и зависит от нормальных реакций на ведущих колесах, которые в данный момент движутся по участку опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями. Наибольшему снижению показателя  $\eta_{rsa}$  (до 0,9806) соответствует движение колес первого и второго ведущих мостов с меньшими нормальными реакциями по участку опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями, наименьшему снижению показателя  $\eta_{rsa}$  (до 0,9808) – движение колес третьего и четвертого ведущих мостов с более высокими нормальными реакциями.

При преодолении участка опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями машиной 3 снижение показателя  $\eta_{rsa}$  вследствие раздельного буксования ведущих колес до значения, численно равного 0,9806, происходит только при движении по участку колес первого ведущего моста (рис. 3, в). При достижении отношения коэффициентов буксований ведущих колес первого моста пороговой величины, численно равной 4,62, осуществляется блокирование межколесного дифференциала первого моста. При этом, в соответствии с разработанной методикой по истечении промежутков времени, не превышающих отношения расстояния от первого ведущего моста соответственно до второго, третьего и четвертого ведущих мостов к скорости движения многоосной машины ( $t_2 = 0,2$  с,  $t_3 = 3,5$  с,  $t_4 = 5,7$  с), осуществляется включение блокировок дифференциалов второго, третьего и четвертого ведущих мостов.

В результате блокирование межколесных дифференциалов второго, третьего и четвертого мостов происходит до попадания ведущих колес этих мостов на участок опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями. Преодоление машиной 3 участка опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями происходит с заблокированным приводом колес второго, третьего и четвертого ведущих мостов, что предотвращает снижение показателя  $\eta_{rsa}$  вследствие раздельного буксования колес этих мостов.

**Закключение.** Разработана методика идентификации дорожных условий многоосных мобильных машин для управления дифференциалами, основанная на логической обработке сигналов штатных датчиков СУБД. Практическая реализация разработанного способа позволяет повысить эффективность ходовой системы на 3,8–4,1 % при движении внедорожных машин в ухудшенных дорожно-сцепных условиях. Повышение уровня реализации тягово-скоростных свойств происходит за счет исключения раздельного буксования колес и мостов второго и последующих ведущих мостов и тележек в результате превентивного управления режимами работы соответствующих дифференциалов. При этом, упреждающее блокирование соответствующих дифференциалов при движении ведущих колес второго и последующих мостов вне дорог с твердым покрытием позволяет исключить срыв верхнего слоя опорной поверхности, что также благоприятным образом сказывается на обеспечении мобильности колесной машины.

### Список литературы:

1. Дюжев, А. А. Развитие бортовых электронных и мехатронных систем в Республике Беларусь / А. А. Дюжев, Д. А. Дубовик, В. В. Савченко // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2013. – № 9. – С. 41-46.
2. Дубовик, Д. А. Основные направления развития автотракторокомбайностроения (по результатам выполнения задания АТ-08.05 ГНТП "Машиностроение" в 2012 и 2013 годах) / Д.А. Дубовик, О.М. Еловой, Л.Ю. Бакалова. – Минск: Объед. ин-т машиностр. Нац. акад. наук Беларуси, 2014. - 176 с. - Деп. в ГУ «БелИСА» 17.07.2014 № Д201411.
3. Высоцкий, М. С. Обеспечение управляемости колесных машин при проектировании систем регулирования тягового усилия / М. С. Высоцкий, Д. А. Дубовик // Вестник Полоц. гос. ун-та. Сер. В: Прикладные науки. – 2006. – № 6. – С. 2–8.
4. Ванцевич, В. В. Управление дифференциалами многоприводных колесных машин / В. В. Ванцевич, М. С. Высоцкий, А. Д. Закревский. – Минск, 1994. – 22 с.
5. Дубовик Д. А. Снижение энергозатрат многоприводных колесных машин путем совершенствования механических приводов ведущих колес: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.03 / Д. А. Дубовик; Объед. ин-т машиностр. Нац. акад. наук Беларуси. – Минск, 2011. – 406 с.
6. Дубовик, Д. А. Превентивное управление приводом ведущих колес многоприводных колесных машин / Д. А. Дубовик // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2009. – № 1. – С. 47–53.
7. Высоцкий, М. С. Математическое моделирование криволинейного движения колесных машин / М. С. Высоцкий, Д. А. Дубовик // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2008. – № 2. – С. 6–15.
8. Платонов, В.Ф. Полноприводные автомобили / В.Ф. Платонов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 312 с.



## НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЕССТУПЕНЧАТЫХ ГИДРООБЪЁМНО-МЕХАНИЧЕСКИХ ТРАНСМИССИЙ ТРАНСПОРТНО-ТЯГОВЫХ МАШИН

Дубовик Д.А., Прибыльский В.И.

ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси»

**Введение.** Повышение технического уровня транспортно-тяговых машин обеспечивается применением в них конструкции трансмиссий с бесступенчатым регулированием скорости движения и привода рабочих органов технологического оборудования [1].

В настоящее время наибольшую известность получили электрические и гидрообъемные (гидрообъемно-механические) бесступенчатые трансмиссии. Их КПД находится практически на одинаковом уровне в диапазоне значений 0,8-0,825 [2]. Однако по массо-геометрическим параметрам и стоимости на современном этапе развития технологий гидрообъемные передачи превосходят электрические [3]. Они устраняют жесткую механическую связь между двигателем и ведущими колесами, снижая пиковые нагрузки в силовом приводе и обеспечивая плавность регулирования скорости движения, и позволяют уменьшать расход топлива за счет оптимизации режимов управления двигателем и подводом потоков мощности.

За последние три десятилетия практически в два раза улучшились технологические показатели гидрообъемных передач [4]: уменьшились средние рабочие зазоры в торцевом распределителе (с 30-40 мкм до 15-20 мкм), в поршневой группе (с 15-20 мкм до 7-10 мкм). Максимальное рабочее (клапанное) давление в объемных гидромашинах выросло более чем в 1,5 раза.

С улучшением характеристик гидромашин расширяется и область применения гидрообъемно-механических трансмиссий (ГОМТ). Причем расширение области применения ГОМТ происходит как по моделям одного тягового класса, так и по тяговым классам за счет увеличения диапазона передаваемой мощности путем установки на более и менее энергонасыщенные тракторы, дорожно-строительные, коммунальные и другие машины. Так, из порядка 400 тысяч тракторов, ежегодно выпускаемых корпорациями CNH, AGCO, SDF и компаниями John Deere и Claas, уже более 18% оснащаются ГОМТ. Постоянно совершенствуемые ГОМТ в совокупности с другими внедряемыми техническими решениями позволяют увеличивать универсальность оборудуемых тракторов и обеспечивать им максимальные скорости движения при выполнении транспортных работ до 60-65 км/ч.

Для уменьшения финансовых затрат и сокращения сроков разработки конструированию предшествуют обоснование принимаемой для разработки схемы и расчет параметров, определяющих ее работоспособность. Целью настоящей работы является математическое описание возможных вариантов структурных схем ГОМТ и анализ их кинематических и силовых параметров.

**Расчет кинематических и силовых параметров.** По своему устройству любая ГОМТ объединяет в себе механическую и гидрообъемную передачи

(ГОП). Механическая часть трансмиссии, как правило, выполняется по кинематической схеме планетарной передачи или двух планетарных передач.

Основной зависимостью, связывающей кинематические параметры звеньев планетарной передачи, является формула Виллиса [5], которую целесообразно представить в виде уравнения [6]:

$$\omega_{1*} - k\omega_{2*} + \epsilon - 1 \varphi_{3*} = 0 \quad (1)$$

где  $\omega_{1*}$  – угловая скорость солнечной шестерни;  $\omega_{2*}$  – угловая скорость коронной шестерни;  $\omega_{3*}$  – угловая скорость водила планетарной передачи;  $k$  – постоянная дифференциала (внутреннее передаточное отношение планетарного ряда).

Кинематические параметры ГОП связаны между собой зависимостью вида:

$$e_1 q_1 \omega_{e1} - e_2 q_2 \omega_{e2} = 0 \quad (2)$$

где  $\omega_{e1}$  и  $\omega_{e2}$  – угловые скорости валов соответственно гидромашин 1 и 2;  $e_1$  и  $e_2$  – параметры регулирования гидромашин 1 и 2;  $q_1$  и  $q_2$  – рабочие объемы соответственно гидромашин 1 и 2.

Известные из научно-технической и патентной литературы ГОМТ могут быть разделены по структурным схемам исполнения на одноконтурные и двухконтурные [7]. Одноконтурные схемы содержат один дифференциальный механизм, как правило, представленный планетарной передачей. Двухконтурные структурные схемы выполняются с двумя дифференциальными механизмами.

*Одноконтурные ГОМТ* могут выполняться с дифференциалом «на входе» и с дифференциалом «на выходе» (рис. 1) по 12 основным структурным схемам. Рассмотрим расчет кинематических и силовых параметров первого варианта одноконтурной схемы с дифференциалом на выходе, расчетная схема которой представлена на рис. 1, а.

В соответствии с приведенной на рис. 1, а расчетной схемой и зависимостями (1) и (2) уравнения кинематики основных звеньев трансмиссии описываются системой:

$$\begin{cases} \omega_3 - k\omega_2 + \epsilon - 1 \varphi_1 \\ e_1 q_1 \omega_1 - e_2 q_2 \omega_2 = 0, \end{cases} \quad (3)$$

Для выполнения проектного расчета и анализа работоспособности структурных схем ГОМТ систему уравнений (3) целесообразно представить в матричном виде:

$$\Omega = K_{\omega}^{-1} \times C_{\omega}, \quad (4)$$

где  $K_{\omega} = \begin{vmatrix} -k & 1 \\ e_2 & q_2 \end{vmatrix}$  – матрица коэффициентов для первого варианта схемы одноконтурной ГОМТ;  $C_{\omega} = \begin{vmatrix} -\epsilon - 1 \varphi_1 \\ e_1 q_1 \omega_1 \end{vmatrix}$  – матрица свободных членов.

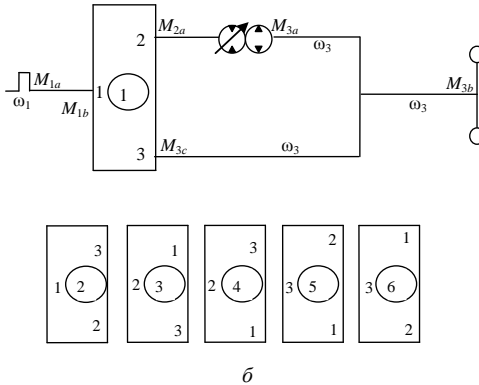
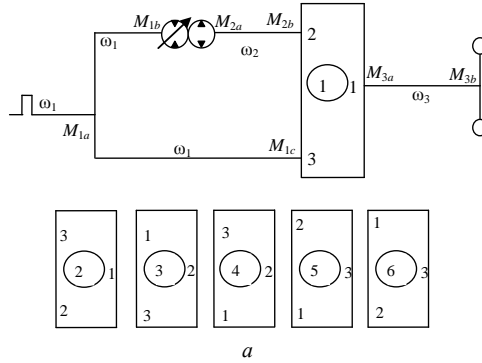


Рис. 1. Расчетные схемы одноконтурных ГОМТ с дифференциалом «на выходе» (а) и «на входе» (б):

1 – солнечная шестерня; 2 – коронная шестерня; 3 – водило;

$\omega_1$ ,  $\omega_3$  – угловые скорости вала двигателя и выходного вала дифференциала;

$M_{1a}$ ,  $M_3$  – крутящие моменты на валу двигателя и выходном валу дифференциала; цифры в окружностях (1-6) – варианты сочетаний звеньев дифференциала

Решение системы уравнений (4) относительно искомых угловых скоростей  $\omega_2$  и  $\omega_3$  имеет вид:

$$\Omega_{1\text{вых}} = \left\| \begin{matrix} \omega_2 \\ \omega_3 \end{matrix} \right\| = \left\| \begin{matrix} \frac{e_1 q_1}{e_2 q_2} \omega_1 \\ \frac{e_1 q_1 k - e_2 q_2}{e_2 q_2} \omega_1 - 1 \end{matrix} \right\| \quad (5)$$

Как видно из решения (5), рассматриваемая одноконтурная схема ГОМТ при параметре регулирования  $e_2 = 0$  математически имеет бесконечное передаточное отношение, что практически исключено. Для аксиально-поршневых гидромоторов с наклонным диском параметр регулирования  $e_{2\min}$  ограничен минимальным значением 0,333, для гидромоторов с наклонным блоком цилиндров минимальное значение параметра регулирования  $e_{2\min}$  составляет 0,25 [5]. В противном случае гидромотор заклинивает.

Целью силового расчета ГОМТ является определение значений крутящих моментов на ее основных звеньях. Без учета потерь мощности крутящие моменты на валу двигателя  $M_{1a}$ , на валу гидронасоса  $M_{1b}$ , солнечной шестерни  $M_{1c}$ , на валу гидромотора  $M_{2a}$ , коронной шестерни  $M_{2b}$ , на водиле  $M_{3a}$  планетарной передачи описываются согласно статике системой уравнений вида:

$$\begin{cases} M_{3a} + M_{2b} + M_{1c} = 0 \\ M_{1a} + M_{1b} + M_{1c} = 0 \\ M_{3a}k + M_{2b} = 0; \\ M_{1b} + \frac{e_1q_1}{e_2q_2}M_{2a} = 0. \end{cases} \quad (6)$$

Решение системы уравнений (6) имеет следующий вид:

$$M = K^{-1} \times C, \quad (7)$$

где  $K = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{e_1q_1}{e_2q_2} & 0 & 1 & 0 \end{vmatrix}$  – матрица коэффициентов для первого вариан-

та одноконтурной схемы (рис. 1, а);  $C = \begin{vmatrix} -M_{3a} \\ 0 \\ -M_{3a}k \\ 0 \end{vmatrix}$  – матрица свободных членов.

В результате решения уравнения (7) получаем матрицу определяемых крутящих моментов на звеньях ГОМТ:

$$M_{1bx} = \begin{vmatrix} M_{2b} \\ M_{1c} \\ M_{1b} \\ M_{1a} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -kM_{3a} \\ -1 \cdot M_{3a} \\ -\frac{e_1q_1k}{e_2q_2}M_{3a} \\ \frac{e_1q_1k - e_2q_2}{e_2q_2} \cdot (-1) \cdot M_{3a} \end{vmatrix} \quad (8)$$

Зная значения угловых скоростей (5) и крутящих моментов (8) звеньев ГОМТ, можно получить значения мощностей по формулам:





для механической части ГОМТ

$$N_i = M_i \omega_i \quad (9)$$

для гидравлической части

$$N_i = \Delta p_i Q_i = \Delta p_i e_i q_i \omega_i \quad (10)$$

где  $\Delta p_i = \frac{M_i}{e_i q_i}$  – перепад давления;  $Q_i$  – расход жидкости в гидромашине.

Аналогичным образом рассчитываются кинематические и силовые параметры других одноконтурных схем с дифференциалом на выходе.

Рассмотрим расчет кинематических и силовых параметров одноконтурных схем ГОМТ с дифференциалом на входе (рис. 1). Для примера примем первый вариант схемы.

В соответствии с приведенной на рис. 1 б расчетной схемой члены матричного выражения и решение относительно угловых скоростей (4) имеют вид:

$$C_{\omega} = \begin{bmatrix} -\alpha \\ 0 \end{bmatrix}, \quad K_{\omega} = \begin{bmatrix} -k & k \\ e_1 q_1 & -e_2 \end{bmatrix}, \quad \Omega_{1\text{вх}} = \begin{bmatrix} \omega_2 \\ \omega_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{e_2 q_2}{e_2 q_2 k - e_1 q_1 (k-1)} \\ \frac{e_1 q_1}{e_2 q_2 k - e_1 q_1 (k-1)} \end{bmatrix} \quad (11)$$

Система уравнений крутящих моментов на звеньях ГОМТ в данном случае:

$$\begin{cases} M_{3b} + M_{3a} + M_{3c} = C \\ M_{1b} k + M_{2a} = 0; \\ M_{1b} + M_{2a} + M_{3c} = 0; \\ M_{2b} + \frac{e_1 q_1}{e_2 q_2} M_{3a} = 0. \end{cases} \quad (12)$$

Члены матричного выражения (7) и решение (8) относительно крутящих моментов имеют вид:

$$K = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & k \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ \frac{e_1 q_1}{e_2 q_2} & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} -M_{3b} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad M_{1\text{вх}} = \begin{bmatrix} M_{3a} \\ M_{3c} \\ M_{2a} \\ M_{1b} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{e_2 q_2 k}{e_2 q_2 k - e_1 q_1 (k-1)} M_{3b} \\ \frac{e_1 q_1 (k-1)}{e_2 q_2 k - e_1 q_1 (k-1)} M_{3b} \\ \frac{e_2 q_2 k - e_1 q_1 (k-1)}{e_1 q_1 k} M_{3b} \\ \frac{e_1 q_1}{e_2 q_2 k - e_1 q_1 (k-1)} M_{3b} \end{bmatrix}. \quad (13)$$

Из выражений (13) следует, что зависимости угловых скоростей и крутящих моментов на звеньях ГОМТ от параметров регулирования гидромашин  $e_1$  и  $e_2$  имеют точки разрыва. Возникновение точек разрыва зависимостей  $\omega_3 = f(e_1)$  и  $M_{3a} = f(e_1)$  обуславливается равенством нулю знаменателя отношений для определения угловых скоростей и крутящих моментов:

$$e_2 q_2 k - e_1 q_1 \ll -1 \quad (14)$$

Для анализа области возникновения условия (14) проведем расчет одно-контурной ГОМТ с характеристиками, близкими к характеристикам трансмиссии колесного трактора тягового класса 4. Исходные данные для расчета: масса трактора 9000 кг, радиус колес 0,85 м, коэффициент сопротивления движению 0,5, частота вращения двигателя 2250 об/мин; максимальный рабочий объем гидромашин  $q_1 = q_2 = 1300/2\pi \text{ см}^3/\text{рад}$  [6].

Решение уравнения (13) относительно параметра регулирования  $e_1$  дает зависимость  $e_{1\infty} = \frac{e_2 k q_2}{-1 \overline{q_1}}$ , при подстановке численных значений ( $e_2 = 1$ ,  $q_2 = q_1$ ,  $k = -3$ ) в которую получаем  $e_{1\infty} = 0,75$ . При этом значении параметра регулирования  $e_1$  угловые скорости выходных звеньев дифференциала рассматриваемого варианта ГОМТ математически равны бесконечности и меняют направление вращения на противоположное.

На рис. 2 приведены графические зависимости угловой скорости  $\omega_3$  (рис. 2, а) и крутящего момента  $M_{3a}$  (рис. 2, б) на валу гидромашины 2 для двух режимов работы гидрообъемной передачи: с регулируемой гидромашинной 1 в прямом и обратном потоках ( $e_1 = -1, \dots, 0, \dots, 1$ ) и нерегулируемой гидромашинной 2 ( $e_2 = 1$ ); с регулируемой гидромашинной 1 (насос) в прямом потоке ( $e_1 = 0, \dots, 1$ ;  $e_2 = 1$ ) и регулируемой ( $e_1 = 1$ ;  $e_2 = 0, \dots, 1$ ) гидромашинной 2 (мотор).

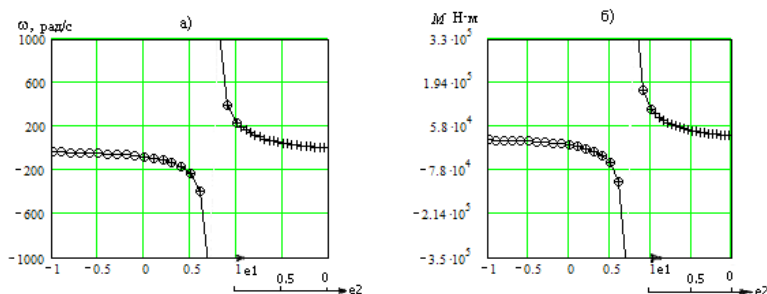


Рис. 2 - Графики зависимостей: а – угловая скорость  $\omega_3$ ; б – крутящий момент  $M_3$  на валу гидромотора с разрывом при параметре регулирования  $e_1 = 0,75$

Угловая скорость  $\omega_2$  вала, связанного с коронной шестерней и насосом, при параметре регулирования  $e_1 = 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0$  соответственно имеет значения  $-235,619; -392,699; -1,178 \cdot 10^3; 1,178 \cdot 10^3; 392,699; 235,619$ . В точке  $e_1 = 0,75$  левосторонний и правосторонний пределы функции  $\omega_3 = f(e_1)$  равны  $-\infty$  и  $+\infty$  (рис. 2), т.е. функция имеет точку разрыва второго рода. Физически это означает, в точке разрыва зависимости  $\omega_3 = f(e_1)$  и ГОМТ теряет свою работоспособность. Кроме того, схема может быть неработоспособной и в определенном интервале значений  $e_1$  вблизи точки разрыва вследствие превышения допустимых значений скоростей. Например, согласно каталогам фирмы Sauer Danfoss максимальная угловая скорость насоса составляет 356 рад/с,



гидромотора – в пределах 262–293 рад/с (соответственно с рабочим объемом  $2\pi q_2 = 110\text{--}160 \text{ см}^3$ ).

Аналогично из уравнения (14) следует зависимость  $e_{2\infty} = \frac{e_1 \left( \frac{1}{k} - 1 \right) \bar{q}_1}{k q_2}$ , и при

тех же условиях, но  $e_{1\infty} = 1$ , а  $e_{2\infty}$  соответствует расчетному значению 1,333, которое не входит в интервал возможных значений параметров регулирования гидромашин.

Кроме параметров регулирования  $e_1$  и  $e_2$  в уравнении (14) есть постоянная дифференциала  $k$ , которая при изменении в диапазоне значений 1,4–5,0 практически не влияет на условия возникновения бесконечной скорости (соответственно  $e_{2\infty} = 0,5337\text{--}0,7624$ ). Примерно в таком же диапазоне изменяются параметры регулирования  $e_{1\infty}$  и  $e_{2\infty}$  при расчетах (по данным [6]) ГОМТ с согласующими зубчатыми передачами для двигателя и гидромашин или дифференциалов. Изменение максимальных рабочих объемов гидромашин  $q_1$ ,  $q_2$  (например, увеличение рабочего объема гидромашин 2 до  $250 \text{ см}^3$ ) приводит к исключению условий возникновения точки разрыва из рабочего диапазона при регулируемой гидромашине 1. При этом эти условия возникают при регулируемых обоих гидромашин. Вместе с тем увеличение практически вдвое максимального рабочего объема гидромашин уменьшает КПД, увеличивает материалоемкость и может ухудшать другие параметры трансмиссии, поэтому не всегда представляется целесообразным.

Такое же решение для второго варианта схемы с дифференциалом на входе дает при тех же исходных данных бесконечные передаточные отношения для регулируемого гидромотора при  $e_{2\infty} = 0,75$  и  $e_1 = 1$ . Для третьего варианта при тех же исходных данных бесконечное передаточное отношение возникает при  $e_{1\infty} = 0,25$ ;  $e_2 = 1$ , но при  $k = -4,5$ ;  $e_{1\infty} = 0,1818$ . Для четвертого варианта бесконечное передаточное отношение возникает для регулируемого гидромотора при  $e_{2\infty} = 0,25$  и  $e_1 = 1$ ,  $k = -3$ . Для пятого варианта бесконечные передаточные отношения не могут возникнуть при любых реальных значениях параметров регулирования  $e_1$  и  $e_2$ . Для шестого варианта бесконечные передаточные отношения могут возникнуть при  $k = -3$ ;  $e_{1\infty} = -0,22$  и  $e_2 = 1$ , т.е. при обратном потоке ГОП.

Выполненные авторами исследования показывают, что в одноконтурных ГОМТ с дифференциалом на выходе бесконечные передаточные отношения звеньев возникают при регулируемой гидромашине 1 в 3 схемах из 6, а при обеих регулируемых гидромашин – в 2 из 6.

*Двухконтурные ГОМТ* (рис. 3) подразделяются на 3 группы [5]: с параллельным соединением дифференциалов (рис. 3, а, б, в), с последовательным соединением дифференциалов (рис. 3, г, д, е) и с параллельно-последовательным соединением дифференциалов (рис. 3, ж, з). Поскольку оба дифференциала имеют по 3 звена, то их сочетания образуют 288 вариантов двухконтурных схем, вследствие чего расчеты становятся более сложными и громоздкими.

Кинематические характеристики двухконтурных ГОМТ описываются системами уравнений – два уравнения механические, связывающие угловые скорости основных звеньев обоих дифференциалов, и одно уравнение гидрав-

лическое, связывающее угловые скорости роторов гидромашин. Крутящие моменты звеньев ГОМТ описываются восьмью уравнениями механики и одним уравнением гидравлики. Причем последние преобразуются из двух уравнений (для каждой гидромашины) исключением перепада давления  $\Delta p = -\frac{M_{2a}}{e_2 q_2}$ .

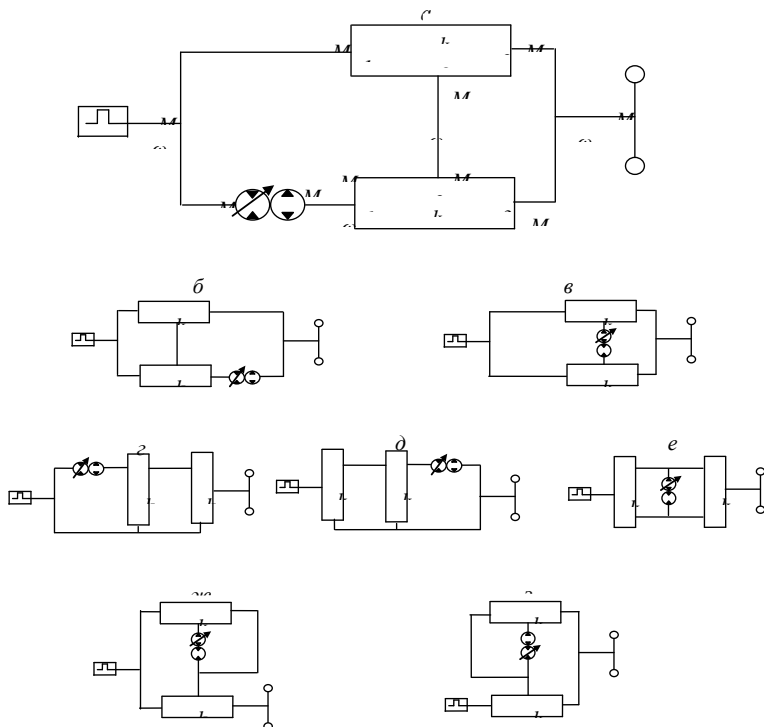


Рис. 3. Расчетные схемы двухконтурных ГОМТ:

- а, б, в – параллельное соединение дифференциальных механизмов;*
- г, д, е – последовательное соединение дифференциальных механизмов;*
- ж, з – параллельно-последовательное соединение дифференциальных механизмов;*
- 1 – солнечная шестерня; 2 – коронная шестерня; 3 – водило;*
- $k_1, k_2$  – передаточные отношения планетарных рядов соответственно дифференциального механизма 1 и дифференциального механизма 2;*
- $\omega_1, \omega_4$  – угловые скорости соответственно вала двигателя и выходного вала дифференциального механизма;  $M_1, M_{4b}$  – крутящие моменты на валу соответственно двигателя и выходном валу дифференциального механизма*

Для варианта 1 двухконтурной схемы с параллельными дифференциалами и ГОП на входе в соответствии с расчетной схемой на рис. 3, *а* системы уравнений имеют вид:



$$\left\{ \begin{array}{l} \omega_1 - k_1 \omega_4 + \mathfrak{C}_1 - 1 \overline{\omega}_3 = 0; \\ \omega_2 - k_2 \omega_3 + \mathfrak{C}_2 - 1 \overline{\omega}_4 = 0; \\ e_1 q_1 \omega_1 - e_2 q_2 \omega_2 = 0, \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} M_{4c} + M_{4b} + M_{4a} = 0; \\ M_{1a} + M_{1b} + M_{1c} = 0; \\ M_{1c} + M_{3b} + M_{4c} = 0; \\ M_{2b} + M_{3a} + M_{4a} = 0; \\ M_{2b} k_2 + M_{3a} = 0; \\ M_{1c} k_1 + M_{4c} = 0; \\ M_{3a} + M_{3b} = 0; \\ M_{2a} + M_{2b} = 0; \\ M_{1b} + \frac{e_1 q_1}{e_2 q_2} M_{2a} = 0. \end{array} \right. \quad (15)$$

Матрицы, составляющие уравнения (4), (6) для угловых скоростей и крутящих моментов, соответственно следующие:

$$C_{\omega} = \left\| \begin{array}{c} -\omega_1 \\ 0 \\ -e_1 q_1 \omega_1 \end{array} \right\|; \quad K_{\omega} = \left\| \begin{array}{ccc} 0 & k_1 - 1 & - \\ 1 & -k_2 & k_2 \\ -e_2 q_2 & 0 & \end{array} \right\| \quad (16)$$

;

$$M = \left\| \begin{array}{c} M_{4c} \\ M_{4a} \\ M_{1b} \\ M_{1a} \\ M_{1c} \\ M_{2a} \\ M_{3a} \end{array} \right\|; \quad C = \left\| \begin{array}{c} M_{4b} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} \right\|; \quad K = \left\| \begin{array}{cccccc} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k_2 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & k_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \frac{e_1 q_1}{e_2 q_2} \end{array} \right\| \quad (17)$$

Решения данных уравнений имеют вид:

- относительно угловых скоростей

$$\Omega = \left\| \begin{array}{c} \omega_2 \\ \omega_3 \\ \omega_4 \end{array} \right\| = \left\| \begin{array}{c} \frac{e_1 q_1}{e_2 q_2} \omega_1 \\ \frac{e_1 q_1 k_1 + e_2 q_2 (k_2 - 1)}{e_2 q_2 \mathfrak{C}_1 + k_2 - 1} \\ \frac{e_2 q_2 k_2 + e_1 q_1 (k_1 - 1)}{e_2 q_2 \mathfrak{C}_1 + k_2 - 1} \end{array} \right\| \quad (18)$$

- относительно крутящих моментов

$$M = \begin{pmatrix} M_{4c} \\ M_{4a} \\ M_{1b} \\ M_{1a} \\ M_{1c} \\ M_{2a} \\ M_{3a} \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2 - 1} M_{4b} \\ \frac{k_2 \zeta_1 - 1}{k_1 + k_2 - 1} M_{4b} \\ \frac{e_1 q_1 \zeta_1 - 1}{k_1 + k_2 - 1} M_{4b} \\ \frac{e_2 q_2 \zeta_1 + k_2 - 1}{k_1 + k_2 - 1} M_{4b} \\ \frac{e_2 q_2 k_2 + e_1 q_1 \zeta_1 - 1}{e_2 q_2 \zeta_1 + k_2 - 1} M_{4b} \\ \frac{k_2}{k_1 + k_2 - 1} M_{4b} \\ - \frac{k_1 - 1}{k_1 + k_2 - 1} M_{4b} \\ - \frac{k_2 \zeta_1 - 1}{k_1 + k_2 - 1} M_{4b} \end{pmatrix} \quad (19)$$

Аналогичным образом можно составить зависимости для определения кинематических и силовых параметров для любой другой двухконтурной схемы ГОМТ [4].

Выполненные исследования функций угловых скоростей звеньев двухконтурных ГОМТ от параметров регулирования гидромашин позволяют исключить 127 вариантов из 288 возможных двухконтурных схем с регулируемой гидромашинной 1 и 130 вариантов из 288 возможных двухконтурных схем с обеими регулируемые гидромашинными 1 и 2 на этапе обоснования структурной схемы, принимаемой для разработки ГОМТ.

**Закключение.** Представлены аналитические зависимости, позволяющие рассчитывать кинематические, силовые и энергетические характеристики одноконтурных и двухконтурных ГОМТ, производить оценку работоспособности их структурных схем. Определены условия нарушения работоспособности структурных схем в точках разрыва второго рода функции угловых скоростей от параметров регулирования и рабочих объемов гидромашин, передаточного отношения планетарного ряда дифференциальных механизмов. Установлены варианты одноконтурных и двухконтурных схем ГОМТ, работоспособные по кинематическим критериям.

### Список литературы:

1. Дубовик, Д. А. Основные направления развития автотракторокомбайностроения (по результатам выполнения задания АТ-08.05 ГНТП "Машиностроение" в 2012 и 2013 годах) / Д.А. Дубовик, О.М. Еловой, Л.Ю. Бакалова; Объед. ин-т машиностр. Нац. акад. наук Беларуси. – Минск, 2014. – 176 с. – Рус. – Деп. в ГУ «БелИСА» 17.07.2014 № Д201411.
2. Выбор типа и параметров современной тракторной трансмиссии / П. А. Амелеченко [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2013. – № 8. – С. 14–19.



3. Таран, И.А. Трансмиссии шахтных дизелевозов / И. А. Таран - Днепропетровск: Национальный горный университет, 2012. – 256 с.
4. Дубовик, Д. А. Гидрообъемно-механические трансмиссии мобильных машин. Расчет кинематических и силовых параметров / Д. А. Дубовик, В. И. Прибыльский // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук – 2016. – № 4. – С. 61-72.
5. Петров, В.А. Гидрообъемные трансмиссии самоходных машин / В. А. Петров. – М.: Машиностроение, 1988. – 248 с.
6. Самородов, В. Б. Сравнительный анализ бесступенчатых двухпоточных гидрообъемно-механических трансмиссий / В. Б. Самородов, А. И. Бондаренко // Вестник Харьковского автомобильно-дорожного университета: сб. науч. тр. – Харьков: ХНАДУ. – 2012. – Вып. 56. – С. 37 – 45.
7. Объемные гидромеханические передачи: расчет и конструирование / О. М. Бабаев [и др.]. – Л.: Машиностроение, 1987. – 256 с.

## ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РЕГУЛИРУЕМОЙ ГИДРОПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ПОДВЕСКОЙ КОЛЕСНОГО ШАССИ

**Ефремов А.Ю., Кусков К.Н., Шанталосов О.Л.**

*Общество с ограниченной ответственностью "АКСЕС-ТЕХ"*

Перспективным направлением повышения ходовых и эксплуатационных характеристик колесных машин является внедрение современных электронных систем автоматического управления различными узлами и агрегатами. Использование микропроцессорных блоков для управления работой различных подсистем автомобиля открывает большие возможности перед конструкторами. Они позволяют упростить конструкцию, значительно улучшить технические характеристики узла или агрегата, выбрать оптимальный режим управления и многое другое.

Компания «Аксес-Тех» имеет большой опыт в разработке микропроцессорных систем и алгоритмов автоматического управления к ним. Собственная производственная база позволяет компании вести серийное производство разработанных систем управления для поставок на конвейер заказчика. Одним из примеров совместной работы конструкторов ОАО «МЗКТ» с компанией «Аксес-Тех» может служить электронная система управления подвеской для шасси серии МЗКТ-600100.

На данном шасси используется гидропневматическая подвеска, основными преимуществами которой являются: высокая плавность хода; большой ход подвески; возможность регулировки положения кузова относительно дорожного покрытия; эффективное гашение колебаний, что в свою очередь значительно повышает ходовые характеристики автомобиля, особенно на бездорожье.

Система управления подвеской, разработанная компанией «Аксес-Тех» и установленная на шасси серии МЗКТ-600100, состав которой показан на рис.1 состоит из двух подсистем.

- подсистема регулировки дорожного просвета
- подсистема контроля поперечной устойчивости

Кратко о каждой из подсистем.

**Подсистема регулировки дорожного просвета.** Подсистема позволяет регулировать дорожный просвет автомобиля. В базовом варианте реализовано три фиксированных положения. Нижнее, среднее и верхнее. При смене положения шасси, насос и гидроаппаратура с клапанами дискретного типа действия под управлением электронного блока автоматически производят накачку либо слив жидкости в/из цилиндров подвески. Применение электронных датчиков положения (ДП-02) позволяет системе выводить шасси в нужное положение с высокой точностью.





## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПОДВЕСКОЙ



Все компоненты системы управления подвеской (блок, панель и комплект датчиков) разработаны компанией «Аксес-Тех» и изготовлены на собственной производственной базе

Рис. 1 – Состав системы управления подвеской

Наличие функции автоматической калибровки датчиков значительно снижает требования к точности установки датчиков в систему рычагов подвески.

**Подсистема контроля поперечной устойчивости.** При движении автомобиля «змейкой» и прохождении крутых поворотов, под действием центробежных сил происходит перераспределение нагрузок, в результате чего в поперечной плоскости автомобиль начинает крениться. Опасность данного явления в том, что оно может стать причиной опрокидывания автомобиля. Кроме этого, сильный крен приносит дискомфорт водителю и пассажирам.

Для борьбы с этим явлением необходимо уменьшать ход подвески и использовать жесткий стабилизатор поперечной устойчивости. Однако, такое решение ухудшает эксплуатационные характеристики автомобиля. Ухудшается плавность хода, снижается проходимость при движении по бездорожью.

На шасси серии МЗКТ-600100 с гидропневматической подвеской конструкторами было реализовано альтернативное решение данной проблемы, суть которого заключается в блокировке демпфирующих элементов подвески при прохождении крутых поворотов. Это позволяет значительно уменьшить крен шасси в повороте.

Электронная подсистема контроля поперечной устойчивости способна автоматически, без участия водителя, отслеживать момент отключения/включения демпфирующих элементов. Решение принимается системой на основании показаний электронного датчика угла наклона горизонта (ДУНГ-01), установленного на шасси.

Проведенные пробеговые испытания данной подсистемы на практике доказали эффективность принятого решения.

Стоит отметить, что система управления имеет высокий потенциал для дальнейшей модернизации.

Проведенные исследования показывают, что без каких-либо изменений в конструкции, можно реализовать функцию автоматического горизонтирования шасси на месте. Это позволит выставлять шасси по уровню горизонта: на продольных уклонах - до 4-5 градусов, на поперечных уклонах - до 10-12 градусов. Такая возможность может быть полезна при развертывании технологического оборудования, установленного на шасси.

**Дальнейшая работа по усовершенствованию.** В рамках дальнейшей работы по усовершенствованию подвески одним из пунктов является установка амортизаторов с магнитореологической жидкостью. Это позволит динамически изменять жесткость подвески подстраиваясь под дорожные условия и положительно скажется на плавности хода и управляемости автомобиля.

Замена в системе гидравлики клапанов дискретного типа на клапана пропорционального типа даст возможность реализации автоматического или ручного регулирования клиренса прямо в движении.

Так при движении по автомагистрали с высокой скоростью высота кузова может быть снижена. А при плохих дорожных условиях и низкой скорости клиренс может быть увеличен.

Кроме этого можно реализовать функцию автоматической поддержки клиренса независимо от загруженности транспортного средства.

Подводя итог хочется отметить, что результатом совместной работы конструкторов ОАО «МЗКТ» с компанией «Аксес-Тех» стало перспективное шасси с уникальными ходовыми возможностями, которое получило высокую оценку на различных военных выставках и не имеет аналогов на постсоветском пространстве.



УДК 004.942

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ НЕСУЩИХ И СИЛОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ МАШИН С ПРИМЕНЕНИЕМ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

**Ивченко В.И., Шмелев А.В.**

*Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси*

**Введение.** Перед разработчиками несущих и силовых конструкций машин всегда стоят задачи минимизации массы при выполнении требований технологичности, функциональности и, конечно же, обеспечения заданных показателей надежности. Развитие техники и технологий, интенсификация эксплуатации машин, увеличение их энерговооруженности ведет к постоянному усложнению конструкций. Все это в сочетании с разнообразием режимов и условий эксплуатации техники значительно усложняет задачу конструктора, что при использовании традиционных методов проектирования приводит либо к получению недостаточно эффективного варианта конструкции, либо к значительным затратам времени и средств на поиск удовлетворяющего всем требованиям решения.

Одним из путей решения обозначенной проблемы является применение в процессе проектирования новых несущих конструкций средств компьютерного моделирования, в частности – топологической оптимизации.

Под оптимизацией топологии понимают преобразование первоначальной конструкции, включающие изменение границ тела. Целью топологической (структурной) оптимизации является увеличение или уменьшение заданного свойства конструкции, например, уменьшение массы, энергии деформации, корректировка собственной частоты, при удовлетворении определенных условий, например, ограничении максимальных напряжений, возникающих в конструкции.

Топологическая оптимизация, являясь средством автоматизации на стадии концептуального проектирования силовых конструкций, получает все более широкое применение в практике. Этот инструмент позволяет определять наилучшие по критерию веса и жесткости конструктивно-силовые схемы деталей и конструкций. Для постановки задачи требуется следующие исходные данные: компоновочные или геометрические ограничения, действующие нагрузки, граничные условия и свойства материалов. Результат топологической оптимизации – вариант распределения материала, отвечающий заданным критериям оптимальности.

В качестве критериев для определения оптимального решения, как правило, используется масса, либо показатель жесткости конструкции. Для формирования искомого решения задается исходный объем материала. При задании массы в качестве критерия оптимизации поиск эффективного решения заключается в поиске минимума целевой функции, а для критерия жесткости – максимума. В первом случае, в качестве ограничения наиболее часто выступают

максимальные напряжения, во втором – частоты собственных колебаний или значения деформаций.

Особенно актуальным применение топологической оптимизации становится с развитием аддитивных технологий, позволяющих изготовить полученную в результате оптимизации деталь без трудоемкой технологической проработки. В последние годы активное развитие программных средств топологической оптимизации тесно связано с появлением и совершенствованием промышленных установок, позволяющих методами 3D-печати изготавливать детали и конструкции любой сложности. Среди наиболее известных компьютерных программ, позволяющих оптимизировать топологию конструкций, можно отметить: SolidThinking Inspire, TOSCA-Structure, HyperWorks OptiStruct, GENESIS, ProTOP, Abaqus/ATOM и др. Примеры изготовленных промышленным способом деталей и конструкций, полученных в результате оптимизации топологии, приведены на рисунке 1.

Для успешного и эффективного применения методов и средств топологической оптимизации на практике необходима разработка алгоритмических и методических подходов, позволяющих интегрировать данные средства в сформированные процессы разработки и совершенствования продукции. Таким образом, актуальной является разработка методических основ топологической оптимизации конструкций, базирующихся на использовании программных средств компьютерного моделирования и инженерного анализа, применяемых на отечественных промышленных предприятиях, в научных и образовательных организациях.



Рис. 1 – Детали и конструкции, разработанные с использованием топологической оптимизации и изготовленные методом 3D-печати

*а* – кронштейн крепления узла самолета A350 Airbus [1];

*б* – мотоцикл компании APWORKS (Airbus Group) [2].

**Методические рекомендации топологической оптимизации конструкций.** На основании анализа и обобщения работ [3-9], посвященных вопросам топологической оптимизации, получено общее описание процесса топологической оптимизации конструкций, состоящего из следующих основных этапов:

#### **1. Постановка задачи**

1.1 определение ключевых нагрузочных режимов, имеющих преобладающее действие в эксплуатации, т.е. составление и описание расчетной схемы;



1.2 определение границ геометрической области начального пространства для поиска оптимальной геометрии с учетом граничных и кинематических особенностей работы конструкции;

1.3 определение критериев оптимизации.

2. Препроцессорная подготовка

2.1 создание упрощенной компьютерной геометрической модели объекта исследования (на основе границ геометрической области начального пространства);

2.2 задание нагрузочных режимов (приложение к геометрической модели нагрузок и граничных условий), назначение свойств материала, определение свойств контактных и кинематических пар;

2.3 определение критериев и ограничений для поиска оптимального решения.

3. Процессорная обработка

3.1 автоматическое выполнение топологической оптимизации для заданных нагрузочных режимов и выбранных критериев и ограничений поиска оптимального решения.

4. Постпроцессорная обработка и анализ

предусматривающая

4.1 сохранение (экспорт) фасеточной геометрии, соответствующей найденному оптимальному решению, в формате *stl*;

4.2 редактирование фасеточной геометрии, преобразование и сохранение оптимальной геометрии в формате твердотельной модели;

4.3 анализ результатов оптимизации и разработка конструкторского варианта оптимизированной детали. Проведение проверочных расчетов.

Рассмотрим более подробно предлагаемые основные этапы топологической оптимизации.

1. Топологическая оптимизация может выполняться как для одного, так и для нескольких нагрузочных режимов одновременно. При этом для получения более устойчивых и эффективных результатов оптимизации желательно минимизировать число нагрузочных режимов путем определения наиболее значимых с точки зрения наносимого ими совокупного повреждающего действия. Критериями для выделения таких нагрузочных режимов могут служить, как величина нагрузки (размах, амплитуда), так и удельная продолжительность действия режима в общем эксплуатационном цикле машины.

При этом для более детального изучения особенностей формирования силовой структуры конструкции возможно разложение нагрузок для сложных режимов нагружения на отдельные, простые составляющие, определяемые согласно векторному представлению суммарного нагрузочного воздействия. Например, поиск оптимального решения конструкции можно вести для действия только вертикальных, продольных и т.п. компонент действующих сил.

2. На основе компоновочных данных, либо других ограничений определяются внешние границы области, для которой будет проводиться поиск оптимального распределения материала. В данной области задаются места приложения

граничных условий, кинематических ограничений, контактных пар, а также зон приложения нагрузок для всех рассматриваемых нагрузочных режимов.

Описанные работы выполняются в модуле работы с геометрией программы оптимизации, либо в программном пакете создания трехмерной геометрии, позволяющем экспортировать геометрическую модель в формате импорта данных программного пакета или модуля топологической оптимизации.

С использованием подготовленных мест (поверхностей, точек, граней) приложения действующих нагрузок и граничных условий в программном пакете или модуле топологической оптимизации выполняется задание рассматриваемых нагрузочных режимов средствами программного обеспечения. После описания всех исследуемых нагрузочных режимов задаются критерии и настройки процесса поиска оптимального решения. В результате данных действий формируются целевые функции поиска оптимального решения, которые, как правило, заключаются в решении задач:

- минимизации массы при ограничении показателя напряженно-деформированного состояния конструкции; или
- максимизации жесткости конструкции путем распределения заданного объема материала, либо массы материала в пределах оптимизируемого пространства.

В качестве ограничений также могут выступать значения собственных частот, параметры толщин конструктивных элементов, генерируемых конструкций в процессе автоматического поиска решения.

3. Процесс поиска оптимального решения производится автоматически, согласно алгоритму программного обеспечения. В зависимости от сложности решаемой задачи, используемого алгоритма оптимизации, вычислительных ресурсов аппаратного обеспечения длительность решения может варьироваться в широких пределах. Поэтому программные средства, как правило, выдают при запуске информационные сообщения о прогнозируемой длительности расчета.

4. При завершении поиска оптимальной топологии конструкции результатом решения является геометрия, представленная набором треугольных граней – фасетов. Данная геометрия может быть сохранена во внешний файл в цифровой форме в формате STL. С помощью специальных приложений для работы с трехмерными геометрическими моделями выполняется редактирование полученной модели (сглаживание, нормирование фасетов и т.п. операции) и дальнейшее преобразование в твердотельную модель. Для полученной твердотельной геометрической модели, при необходимости, выполняется дополнительный проверочный расчет показателей напряженно-деформированного состояния с использованием специализированных программных средств конечно-элементного анализа.

Полученная твердотельная модель может служить основой для внесения конструктором изменений для доработки под имеющиеся технологические возможности предприятия.

**Апробация методических рекомендаций топологической оптимизации.** Апробация выполнена с использованием следующих программных средств компьютерного моделирования и анализа:

- программный пакет для разработки трехмерных геометрических моделей SIEMENS NX с целью построения упрощенной компьютерной геометрической модели объекта исследования и подготовки мест приложения граничных условий и нагрузок;

- программный пакет топологической оптимизации SolidThinking Inspire для задания параметров нагрузочных режимов, указания целевой функции, критериев оптимизации и выполнения топологической оптимизации.

Применение методических рекомендаций рассмотрим на примере топологической оптимизации несущей конструкции балки передней оси карьерного самосвала. Традиционная конструкция балки передней оси в сборе с рычагами подвески приведена на рисунке 2.

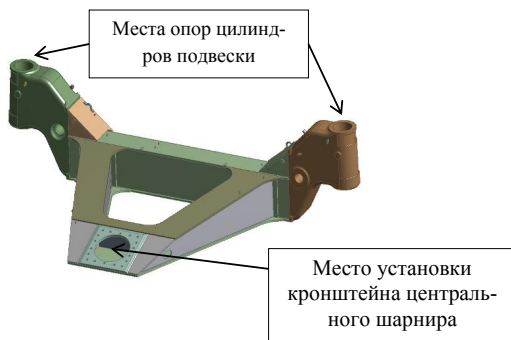
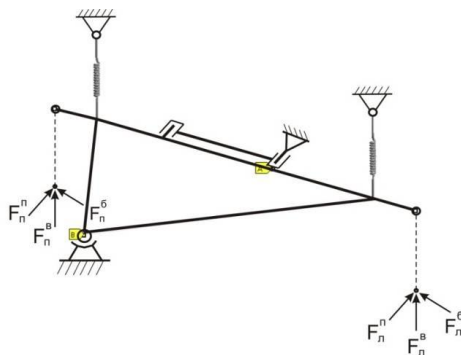


Рис. 2 – Общий вид традиционной конструкции балки передней оси карьерного самосвала БЕЛАЗ

### Постановка задачи

Составленная для анализа расчетная схема условной балки моста с центральным рычагом показана на рисунке 3.



Принятые обозначения: $F^B$  $л$  – вертикальная сила, действующая с левой стороны $F^П$  $л$  – продольная сила, действующая с левой стороны $F^Б$  $л$  – боковая сила, действующая с левой стороны $F^B$  $п$  – вертикальная сила, действующая с правой стороны $F^П$  $п$  – продольная сила, действующая с правой стороны $F^Б$  $п$  – боковая сила, действующая с правой стороны

Рис 3 – Схема нагружения балки моста

Границы пространства для поиска оптимальной геометрии балки оси с рычагами формируются пространством ограниченным предварительными компоновочными параметрами, заданными следующими основными узлами: моторной установкой, рамой, поворотными кулаками и колесами самосвала с учетом кинематики перемещения в крайних положениях подвижных узлов.

Для примера, в качестве рассматриваемых режимов нагружения, определены используемые для поиска оптимального решения конструкции режимы поворота с торможением самосвала влево и вправо.

Целью оптимизации является поиск распределения материала, обеспечивающего минимальную массу конструкции при ограничении максимального эквивалентного (по Мизесу) напряжения (не более 170 МПа).

Препроцессорная подготовка

Принятый исходя из компоновочных ограничений машины вариант геометрической модели пространства для поиска оптимального решения балки моста представлен на рисунке 4.

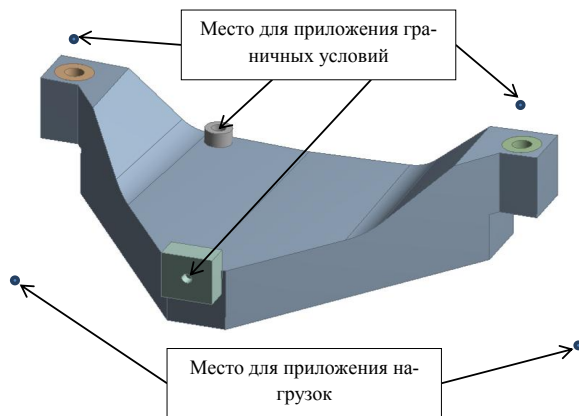


Рис. 4 – Геометрическая модель пространства для поиска оптимального решения



Далее геометрическая модель пространства с подготовленными местами приложения граничных условий и нагрузок передается в программный пакет топологической оптимизации. Формат передачи данных геометрии – Parasolid.

В программном пакете топологической оптимизации задаем описание двух рассматриваемых режимов нагружения балки передней оси. На рисунке 5 показана полученная модель с обозначенными граничными условиями и нагрузками.

Для более ясного понимания формирования силовых элементов конструкции выполнены расчеты по поиску оптимальной топологии конструкции для действия отдельных векторных компонент действующих сил: вертикальной, продольной и боковой. В этом случае оптимизация выполнялась для определения геометрии конструкции обладающей наибольшей жёсткостью путем распределения 20% исходного объема материала.

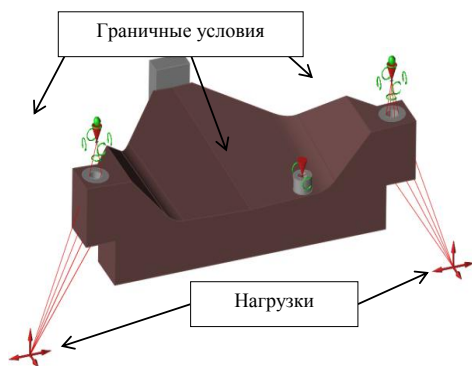


Рис. 5 – Расчетная модель пространства для поиска оптимального решения с заданными нагрузочными режимами

### Процессорная обработка

Предварительный поиск оптимальной формы балки с рычагом по заданной целевой функции выполнен, как было сказано ранее, для двух режимов нагружения: «Правый поворот» и «Левый поворот».

### Постпроцессорная обработка и анализ

Результат топологической оптимизации при действии комплекса из двух нагрузочных режимов приведен ниже на рисунке 6, а для трех случаев раздельного приложения векторных составляющих – на рисунке 7.

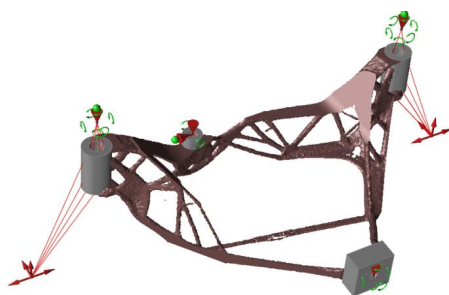
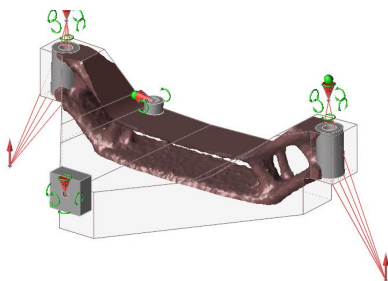
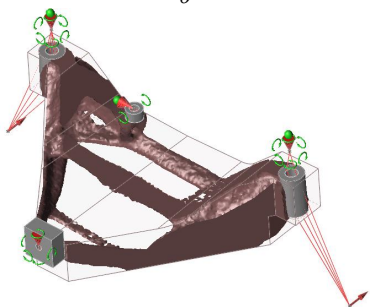


Рис. 6 – Результат топологической оптимизации конструкции балки передней оси карьерного самосвала для комплекса из двух нагрузочных режимов

а



б



в

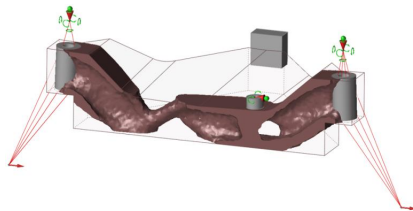


Рис. 7 – Результат топологической оптимизации балки передней оси для раздельного приложения векторных составляющих нагрузок

Нагрузки: а – вертикальная; б – продольная; в – поперечная



Полученные результаты топологической оптимизации несущей конструкции обозначили основные направления совершенствования конструкции для снижения её материалоемкости при обеспечении функциональных возможностей. Анализ данных расчетных исследований показал, что при заданных нагрузочных режимах и граничных условиях возможно обеспечить снижение веса конструкции до 20%. Учитывая отсутствие технологических возможностей изготовления полученной в исходном виде по результатам оптимизации конструкции, информация о распределении материала балки является основой для дальнейшей конструкторско-технологической проработки изделия с учетом имеющихся технологических возможностей по ее изготовлению.

**Заключение.** Рассмотренные методические рекомендации применимы, как в целях совершенствования существующих конструкций, так и при разработке концептуально новых изделий, где недостаточно основываться только на имеющихся наработках и опыте, а требуются нетривиальные эффективные конструкторско-технологические решения. Применение предложенных рекомендаций в комплексе с программными средствами топологической оптимизации и традиционными средствами компьютерного проектирования позволит снизить вес, вибрационные нагрузки разрабатываемых конструкций при обеспечении их прочности и долговечности. На практике это приведет к существенному улучшению эксплуатационных свойств и потребительских характеристик новой техники при одновременном сокращении временных и трудовых затрат на поиск оптимального решения при конструкторско-технологической проработке изделия.

В совокупности с другими средствами компьютерного моделирования применение методов и средств топологической оптимизации позволяет перейти от метода «интуитивного» проектирования к проектированию по заданным характеристикам, ускорить и повысить эффективность перехода в производстве к технологиям 3D-печати и таким образом ускорить освоение процессов и методов, формирующих основы «цифрового производства».

При этом важными факторами, влияющими на эффективность использования рассмотренного процесса, являются: описание базовых режимов нагружения конструкции; выбор оптимального варианта решения конструкции, работающей при сложных комбинациях нагрузочных режимов; корректность интерпретации полученных результатов расчетных исследований топологической оптимизации и возможность реализации найденных конструктивных решений, имеющимися технологическими средствами.

### Список литературы:

1. Beyond the Hype – Additive Manufacturing and 3D Printing Worldwide, A Summary of Terry Wholers' Thoughts. Сайт <http://www.padtinc.com/> Новости / September 29, 2015, by: James Barker [найдено 2016-08-29]. Найдено в интернет <[url http://www.padtinc.com/blog/news/page/3](http://www.padtinc.com/blog/news/page/3)>.
2. Light Rider. World's first 3D printed motorcycle. Сайт <http://www.lightrider.apworks.de/> [найдено 2016-08-29]. Найдено в интернет <[url http://www.lightrider.apworks.de/#!en/dkqv3](http://www.lightrider.apworks.de/#!en/dkqv3)>.

3. Комаров В.А. Проектирование силовых схем авиационных конструкций / В.А. Комаров // Актуальные проблемы авиационной науки и техники – М.: Машиностроение, 1984. С. 114-129.

4. Topping B.H. Shape Optimization of Skeletal Structures: A Review / B.H. Topping // J. Struct. Engr. 1983. V. 109, №8. P. 1933-1951.

5. Kohn R.V. Optimal Design and Relaxation of Variational Problems / R.V. Kohn, G. Strang // Commun. Pure and Appl. Math. 1986. V. 39. P. 113-137 (part 1), P. 139-182 (part 2), P. 333-350 (part 3).

6. Bendsoe M.P. Optimization of Structural Topology, Shape, and Material. – Berlin: Springer, 1995. 271 p.

7. Eschenauer H.A. Topology optimization of continuum structures: A review / H.A. Eschenauer, N. Olhoff // Appl. Mech. Rev. 2001. V. 54, № 4. P. 331- 389.

8. Болдырев А.В. Развитие технологии проектирования авиационных конструкций на основе модели переменной плотности / А.В. Болдырев // Общероссийский научно-технический журнал “Полет”. 2009. №11. С. 23-28.

9. Michell A.G.M. The limits of economy of material in frame structures / A.G.M. Michell // Philos. Mag. Series. 1904. V.8, №47. P. 589-597.



## РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОТИВОМИННОЙ ЗАЩИТЫ ЛЕГКОБРОНИРОВАННОГО АВТОМОБИЛЯ МЗКТ-490100

**Раевский С.В., Кисельков А.Л.**

*Открытое акционерное общество «Минский завод колесных тягачей»*

Значительное расширение номенклатуры и возможностей средств борьбы с бронированными транспортными средствами (БТС) сделало их живучесть важнейшим условием выполнения боевой задачи.

С учетом того, что локальные конфликты наиболее характерны для современных условий, именно мины и средства ближнего боя наиболее опасны для БТС и обеспечение противоминной защиты стало одной из главных проблем, стоящих перед разработчиками современных машин военного назначения.

Особенностью большинства военных конфликтов является отсутствие у противника «высокотехнологичных» мин. Опыт показывает, что в большинстве случаев применяются мины, а чаще самодельные взрывные устройства (СВУ), фугасного действия. Мощность применяемых мин и СВУ зависит в значительной степени от доступности тех или иных взрывчатых веществ (ВВ), а также от возможностей по их закладке. Анализ имеющихся данных показывает, что более половины применяемых взрывных устройств имеют тротильные эквиваленты 6 - 8 кг.

Подходы к обеспечению противоминной защиты БТС в первую очередь определяются требованиями по защите экипажа и лишь во вторую — требованиями по сохранению работоспособности машины. Сохранение работоспособности экипажа может быть достигнуто при выполнении ряда условий.

Первым условием является минимизация динамических нагрузок, передаваемых при подрыве на узлы крепления кресел экипажа или десанта. В случае крепления кресел непосредственно на днище машины, на узлы их крепления будет передаваться практически вся энергия, сообщаемая этому участку днища, поэтому требуются чрезвычайно эффективные энергопоглощающие узлы кресел. Обеспечение защиты при большой мощности заряда становится сомнительным.

При креплении кресел к бортам или крыше корпуса, куда не распространяется зона локальных «взрывных» деформаций, на узлы крепления передается лишь та часть динамических нагрузок, которая распространяется на корпус машины в целом. Учитывая значительную массу боевых машин, а также наличие таких факторов, как упругость подвески и частичное поглощение энергии за счет локальной деформации конструкции, ускорения, передаваемые на борта и крышу корпуса, будут сравнительно невелики.

Вторым условием сохранения работоспособности экипажа является исключение контакта с днищем при максимальном динамическом прогибе. Этого можно достичь чисто конструктивно — за счет получения необходимого зазора между днищем и полом обитаемого отделения.

Таким образом, работоспособность экипажа обеспечивается специальными амортизирующими креслами, закрепленными в местах, удаленных от зон возможного приложения взрывных нагрузок, а также путем исключения кон-

такта экипажа с днищем при максимальном динамическом прогибе. Общими особенностями подхода к обеспечению противоминной защиты на автомобилях являются рациональная V-образная форма нижней части корпуса, повышенная прочность днища за счет применения стальных броневых листов большой толщины и обязательное применение специальных энергопоглощающих сидений. Защита обеспечивается только для обитаемого модуля.

Нормативными документами, по которым проводится оценка воздействия взрыва на экипаж бронированного транспортного средства (БТС) являются: STANAG 4569, RTO-TR-HFM-090 и АЕР-55. В соответствии с данными документами вводится комплекс показателей противоминной защищенности экипажа БТС.

Для оценки степени передачи ударного импульса, возникающего от подрыва заряда, к членам экипажа легкобронированного автомобиля (ЛБА) использовалась конечноэлементная (КЭ) модель манекена Hybrid III. Манекен имеет структуру, приближенную к анатомическому строению человека. Для получения оценки вероятности получения травм членами экипажа используются данные измерений физических величин по определенным контрольным точкам манекена. При оценке противоминной защищенности экипажа использовалась технология суперкомпьютерного анализа конструкций корпусов универсальных БТС, внедренная на МЗКТ с участием Объединенного института проблем информатики Национальной Академии наук Беларуси (ОИПИ НАН Б).

КЭ модель ТС создается по трехмерной электронной модели ЛБА с необходимыми упрощениями. КЭ модель ЛБА включает: корпус, двери, верхние люки бойницы дверей, ветровые окна и окна дверей, раму, двигатель, коробку переключения передач, экран противоминной защиты. Материал корпуса ЛБА – сталь А3. Свойства сталей – нелинейные, с учетом поведения материала за пределами текучести и возможностью разрушения. В КЭ модель включены сиденья водителя с пневмоподвеской и сиденья десанта. Сиденья оборудованы ремнями безопасности. После создания КЭ модели в препроцессоре сетка КЭ с назначенными свойствами передается в Пре-Постпроцессор LS-Dyna. В Пре-постпроцессоре импортируются и позиционируются манекены Hybrid III, накладываются контактные и граничные условия.

Расчет подрыва заряда с использованием решателя LS-Dyna проводился в Лагранжевой постановке. Взрывное воздействие на конструкцию задавалось в виде функции давления от времени с использованием специальной функции CONWER, позволяющей приложить давление, зная массу заряда, расстояние до него и ориентацию конструкции в пространстве.

Масса заряда в тротиловом эквиваленте принималась 8 кг. Рассчитывалось 5 положений зарядов относительно корпуса ЛБА. Подрыв заряда происходит в момент времени  $t=0,1$  с. В промежутки времени  $0$  с –  $0,1$  с осуществлялась гравитационная посадка манекенов на подушки сидений. Окончание времени расчета  $t = 0,18 - 0,3$  с для всех вариантов расположения точек подрыва. Данное время достаточно для передачи нагрузок от деформируемого корпуса экипажу. Рассчитывалось два исполнения ЛБА – без экрана противоминной защиты и с установленным экраном.



По результатам расчетов самый неблагоприятный случай подрыва – взрывное устройство расположено под днищем ТС, между сиденьями водителя и командира. При данном случае подрыва и при отсутствии экрана противоминной защиты пиковая перегрузка головы водителя составляет 82 g, командира – 18 g. У остальных членов экипажа – от 27 g до 45 g. У водителя критерии повреждения превышают допустимые значения для головы, шеи и ног. У остальных членов экипажа – для шеи и ног, в зависимости от расположения в обитаемом отсеке.

При использовании экрана противоминной защиты пиковая перегрузка головы водителя снижается до 13 g. Так же снижаются значения перегрузки для остальных членов экипажа. У водителя критерии повреждения превышают допустимые значения только для ног. У командира критерии повреждения не превосходят допустимых значений. У остальных членов экипажа критерии повреждения превосходят допустимые значения для шеи и ног, в зависимости от расположения в ТС.

Таким образом, использование экранов противоминной защиты снижает риск получения травмы членами экипажа БТС. Выявлена необходимость доработки подножек сидений десанта для снижения вероятности получения травм нижних конечностей. Выявлена так же необходимость доработки рабочего места водителя – изолирование ног от пола ТС с помощью фальшпола.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРЕДПОСЫЛКИ ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИИ МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ ГМП С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА KISSOFT/KISSSYS

**Раевский С.В., Романенко С.А., Васильев В.В.**

*Открытое акционерное общество «Минский завод колесных тягачей»*

При создании модели гидромеханической передачи (далее ГМП) в программном комплексе KISSOft/KISSsys использовались следующие исходные данные:

- описание назначения и характеристики перспективного шасси, на которое предполагается установка рассматриваемой ГМП;
- кинематическая схема ГМП и перспективного шасси;
- порядок включения фрикционных муфт в зависимости от выбранной передачи;
- комплект конструкторской документации на ГМП, включающей чертежи узлов и рабочие чертежи деталей;
- характеристика смазочного материала, условия смазки и температурный режим работы ГМП.

Перед началом моделирования база данных программного комплекса KISSOft/KISSsys была уточнена в части применяемых материалов шестерен, валов и корпусных деталей в соответствии с конструкторской документацией. При отсутствии материала в базе он добавлялся с описанием его требуемых механических и физических свойств. База данных по подшипникам качения была дополнена продукцией отечественных подшипниковых заводов.

Для условий применения ГМП на перспективном колесном шасси были определены параметры нагрузочного режима для расчета конструкции на долговечность и прочность.

Непосредственно создание модели ГМП в программном комплексе KISSOft/KISSsys было выполнено в несколько этапов.

Первым этапом было создание дерева модели в KISSsys, которое включает в себя валы с установленными на них элементами (подшипниками, зубчатыми колесами, муфтами или другими соединительными элементами).

На втором этапе элементы дерева модели были объединены кинематическими связями, определяющими положение элемента в цепи передачи мощности при работе ГМП на соответствующей передаче. Здесь же были определены ведущие элементы, на которые подается крутящий момент, и ведомые – с которых снимается.

На третьем этапе к кинематическим связям и элементам подключались соответствующие расчетные модули KISSOft (модули расчета валов, планетарных рядов, пар зубчатых колес и др.). На этом же этапе во всех расчетных модулях осуществлялся ввод требуемых исходных данных для расчета, в том числе материалы деталей, условия смазки и температурный режим. В модулях расчета валов задавалось взаимное расположение установленных на них элементов.

Особое внимание было обращено на выбор величин коэффициентов смещения зубчатых колес. Была выполнена проверка, как коэффициенты смеще-





ния, предлагаемые модулем для расчета зубчатых колес KISSSoft, укладываются в блокирующий контур со связанным колесом (солнце–сателлит–корона), построенный при помощи специализированного программного обеспечения, разработанного на ОАО «МЗКТ».

На четвертом этапе к дереву модели был добавлен модуль трехмерной визуализации и уточнено взаимное расположение валов в модели. После чего при выбранном положении управляющих элементов (муфт, обеспечивающих получение в ГМП той или иной передачи) была проведена проверка кинематики, подтверждающая работоспособность модели.

На пятом этапе к модели были подключен модуль переключения передач, в котором каждой передаче присваивался соответствующий определитель и заданы положения каждого из управляющих элементов. Определитель передачи используется модулем спектра нагружения.

Заключительным, шестым этапом создания модели ГМП было подключение модуля спектра нагружения, включающего параметры нагрузочного режима для определения долговечности. Расчет на прочность выполнялся без использования модуля нагрузочного спектра, максимальная нагрузка прикладывалась к ведущему элементу.

После завершения построения модели и подключения всех необходимых модулей в программном комплексе KISSSoft/KISSsys были выполнены расчеты на долговечность и прочность. Отчеты с результатами расчета комплекс генерирует автоматически.

При анализе результатов расчета выявлено, что требуемая долговечность и прочность зубчатых колес обеспечена. При этом коэффициенты запаса по изгибным напряжениям значительно превосходят коэффициенты запаса по контактным напряжениям. Достижение равнопрочности зубчатых колес по изгибным и контактным напряжениям, может послужить целью дальнейшей оптимизации конструкции. Также были выявлены подшипники, расчетный срок службы и статический коэффициент безопасности которых не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к конструкции по долговечности и прочности. На основании этого выработаны рекомендации о подборе подшипников с большей величиной статической и динамической грузоподъемности. Для всех подшипников, независимо от выбранной в ГМП передачи, частота вращения не превышает допустимую при заданных условиях смазки.

Применение программного комплекса KISSSoft/KISSsys позволило:

- значительно сократить время расчета зубчатых колес и подшипников такого сложного узла как ГМП;
- при изменении конструкции или применении ГМП в других условиях, отличных от тех, в которых проводился расчет, программный комплекс позволяет оперативно вносить в модель изменения для оценки правильности принятых конструктивных решений или возможности применения ГМП в новых условиях;
- провести оптимизацию параметров зубчатых колес по требуемым критериям (геометрические показатели, параметры прочности, масса и др.).

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ТРАНСМИССИИ МНОГООСНОГО АВТОМОБИЛЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ MATHCAD

Раевский С.В., Семенов Р.А.

*Открытое акционерное общество «Минский завод колесных тягачей»*

Анализ динамической нагруженности трансмиссии многоосного автомобиля являлся целью выполнения работы, для достижения которой создана математическая модель в программном комплексе Mathcad. Получению итоговых результатов предшествовали описанные ниже этапы.

На этапе сбора и обработки исходных данных получены внешняя скоростная характеристика двигателя, характеристика гидродинамического трансформатора и гасителя крутильных колебаний, обработаны полученные экспериментальным путем законы изменения давления в бустерах фрикционов коробки передач и закономерности изменения коэффициента трения в контакте фрикционов в зависимости от скорости относительного скольжения элементов. В рамках рассматриваемого этапа были определены также моменты инерции и податливости всех звеньев трансмиссии автомобиля.

На основании кинематической схемы моторно-трансмиссионной установки и с применением вычисленных ранее упруго-инерционных характеристик звеньев трансмиссии сформирована полная динамическая схема трансмиссии. Поскольку полная динамическая схема состоит из избыточного с точки зрения составления математической модели количества звеньев, исходная схема была подвергнута упрощению. Полученная в результате упрощения динамическая схема показана на рисунке 1.

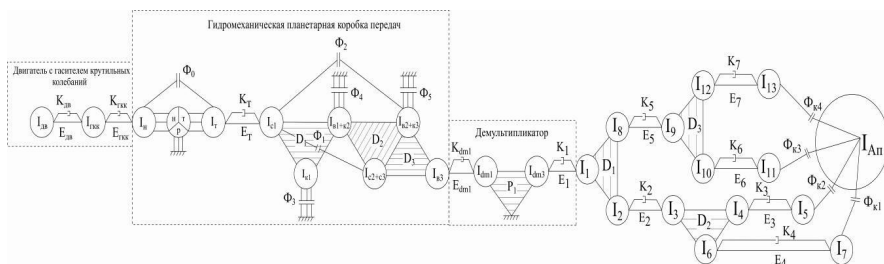


Рис. 1 – Упрощенная динамическая схема исследуемой трансмиссии

Математическая модель составлена в соответствии с принципом Даламбера, в качестве обобщенных координат приняты углы поворота инерционных звеньев динамической схемы. На этапе составления математической модели была предусмотрена возможность последующего учета всех особенностей моделируемой системы, а именно: соблюдены все кинематические ограничения, налагаемые узлами деления мощности; включены условия учета буксования фрикционов трансмиссии, буксования ведущих колес, изменения структуры модели при замыкании гасителя крутильных колебаний и переключении передач.



Составленная математическая модель была преобразована с целью получения характеристических уравнений и характеристических векторов системы, которые позволяют получить собственные частоты и амплитуды форм колебаний соответственно.

В качестве нелинейностей в компьютерной модели рассматривались характеристики гидродинамического трансформатора, момент трения гасителя крутильных колебаний, момент трения фрикционных коробки передач и возмущающий момент двигателя. Возмущающий момент двигателя получен при помощи гармонического анализа и представляет собой сумму синусоидальных составляющих с различной амплитудой и фазой. Остальные нелинейности модели учтены посредством линейной аппроксимации на основании данных, полученных экспериментально.

Результатом моделирования стало определение нагруженности элементов трансмиссии, в частности, получены максимальные крутящие моменты, возникающие в гасителе крутильных колебаний. Сформирована область выбора допускаемых значений конструктивных параметров гасителя, обеспечивающих его работу без ударных нагрузок. Получены собственные частоты трансмиссии многоосного автомобиля и построены формы колебаний для случаев заблокированного и разблокированного гидротрансформатора при разблокированном и заблокированном гасителе крутильных колебаний.

## ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ НАГРУЖЕННОСТИ АГРЕГАТОВ ТРАНСМИССИИ КОЛЕСНОЙ МАШИНЫ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕРОВНОСТЕЙ ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Сидоров С.А., Сонич О.А.

*Белорусский национальный технический университет*

Одним из режимов, нагружающих трансмиссию колесной машины, является переезд через неровность. Проведенные другими авторами исследования, показали, что при заблокированном межколесном дифференциале при переезде одним из колес неровности опорной поверхности в элементах ведущего моста возникают значительные нагрузки. Такая ситуация характерна преимущественно для колесных тракторов и специальной внедорожной техники, имеющих принудительную блокировку дифференциалов, при движении по бездорожью с включенной блокировкой.

Работниками Белорусского национального технического университета разработана расчетная модель, показанная на рисунке 1, для исследования нагрузок, возникающих в деталях ведущего моста колесной машины. Модель разработана в программном пакете LMS Imagine.Lab AMESim. Преимуществами данного пакета является достаточно обширная библиотека встроенных компонентов, представляющих модели узлов и агрегатов машин, что позволяет быстро создавать и рассчитывать поведение сложных мехатронных систем, возможность создания интуитивно понятного эскиза модели с помощью интерактивного графического интерфейса, а также возможность взаимодействия с другими программами, например MATLAB Simulink.

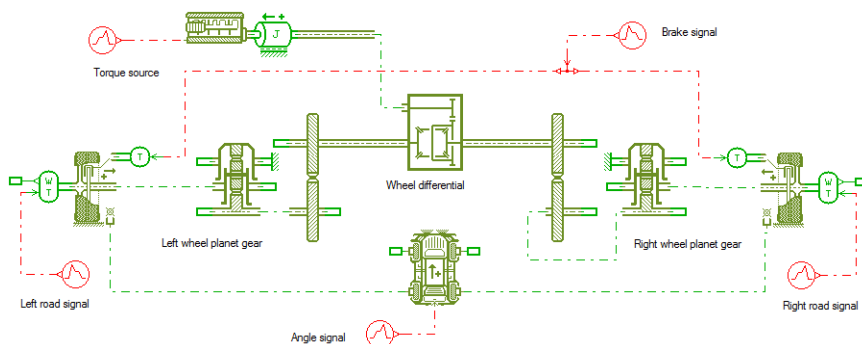


Рис. 1 - Схема модели расчета нагрузок в элементах ведущего моста колесной машины.

Данная модель включает подмодели источника крутящего момента, ведущего моста, шины в контакте с опорной поверхностью, нагрузки от веса колесной машины, тормозной системы и воздействия неровности.

Подмодель двигателя проста и включает в себя источник крутящего момента, изменение которого можно задавать, и учитывает инерционные, упругие и диссипативные элементы привода ведущего моста.



С использованием стандартных элементов библиотеки Powertrain был достаточно подробно смоделированы межколесный дифференциал, полуоси, бортовой и колесный редукторы. Внутренние параметры элементов, входящих в подмодель, учитывают кинематические передаточные отношения, инерционные, упругие и диссипативные характеристики.

Использована подмодель шины в контакте с дорогой, входящая в ту же библиотеку. Подмодель учитывает инерцию колеса, вертикальную нагрузку от веса колесной машины, изменяющуюся при изменении угла подъема/спуска, а также позволяет отдельно учитывать момент сопротивления и тормозной момент. Нагрузка на колесо от веса машины моделируется с использованием стандартной динамической подмодели нагрузки транспортного средства, также используемой для расчета продольного ускорения, скорости и перемещения. Кроме того, подмодель позволяет учитывать сопротивление воздуха и уклон дороги. Для моделирования переезда через неровность к каждому колесу подводится момент сопротивления, изменение значения которого во времени можно задавать.

УДК 623-9

## ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТРЕБОВАНИЙ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫХ К ОБРАЗЦАМ ВОЕННОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

**Шостак В.Г., Назин А.Е.**

*Белорусский национальный технический университет*

Существенную роль в транспортном комплексе Республики Беларусь и в Вооруженных силах играет автомобильный транспорт (АТ), который регулярно обслуживает предприятия и организации всех форм собственности, население страны, а так же обеспечивает выполнение боевых задач, решаемых Вооруженными силами Республики Беларусь. Его использование связано с мобильностью и гибкостью доставки грузов, пассажиров, обеспечения подвижности образцов вооружения различного назначения. Эти свойства АТ определяются техническим состоянием автомобилей и от мер по обеспечению их работоспособности в процессе эксплуатации.

**Анализ технических требований к объектам ВАТ.** Основа будущего автомобиля закладывается на этапе проектирования с учетом тактико-технических характеристик (ТТХ) предъявляемых к нему. Эти характеристики в первую очередь определяют перспективность образца военной автомобильной техники (ВАТ) на ближайший интервал времени, а во вторую очередь – возможность многоцелевого использования его базового шасси автомобиля для различных модификаций образцов вооружения, а так же возможности его последующей модернизации.

Об образце автомобильной техники обычно судят по его качеству. Качество автомобиля, как правило, изменяется в процессе эксплуатации за счет изменения его составных элементов и систем. Например, расход топлива при перевозке зависит не только от условий эксплуатации или конструкции автомобиля, но и от текущего состояния системы питания и зажигания автомобиля, износа цилиндропоршневой группы, изменения углов установки передних колес и других элементов и систем.

С учетом вышесказанного, очень важные для эксплуатации понятия качества, надежности, технического состояния автомобилей необходимо рассматривать во взаимосвязи, т.е. комплексно оценивать их влияние на реализацию требований к проектируемому автомобилю в процессе его эксплуатации по схеме:

техническое состояние – работоспособность – надежность – качество и, на конечном этапе - решение поставленных задач перед проектируемым образцом.

Качество – это совокупность свойств, определяющих степень пригодности автомобиля, технологического оборудования, агрегата, детали, материала к выполнению заданных функций при их использовании по назначению, т.е. к эксплуатации.

Каждое свойство характеризуется одним или несколькими параметрами, которые могут принимать при эксплуатации различные количественные значения.



При оценке и анализе качества последовательно рассматриваются следующие цепочки:

- при оценке результатов испытаний образца: параметры-свойства-качество;

- при предъявлении требований к образцу: качество-свойства-параметры.

Так, одним из параметров топливной экономичности автомобиля является контрольный расход топлива, количественное значение которого для конкретной модели составляет, например 7л/100км.

Как вариант, можно рассматривать тактико-технические характеристики автомобилей, главными из которых является:

- масса и габариты;
- грузоподъемность;
- вместимость;
- маневренность;
- проходимость;
- безопасность;
- экологичность;
- топливная экономичность;
- динамичность (тягово-скоростная);
- производительность;
- общая экономичность;
- эргономичность;
- надежность;
- стоимость и др.

Тактико-технические характеристики образца ВАТ закладываются при проектировании, обеспечиваются при производстве, а реализуются и поддерживаются в эксплуатации.

В этом случае потребителя всегда интересуют два главных показателя эксплуатации: начальный уровень технического состояния образца ВАТ, который задается ТТХ, и поддержание его заданного значения в процессе эксплуатации.

Таким образом, для решения поставленных перед ВАТ задач, на этапе эксплуатации, должны быть предъявлены конкретные требования к составным элементам и системам ВАТ на этапе проектирования. Эти требования должны формировать тактико-технические характеристики будущего образца ВАТ.

В соответствии с действующими военными ГОСТами и общими техническими требованиями для разрабатываемых ВАТ все показатели условно можно разделить на группы.

1. Целевого назначения и решаемых ими задач:

- радиоэлектронной защищенности (для образцов с радиоэлектронными компонентами);

- живучести и стойкости к внешним воздействиям;
- эргономичности, обитаемости и технической эстетики.

2. Надежности:

- безотказности;
- сохраняемости;

- ремонтпригодности;
- долговечности;
- 3. Эксплуатации:
  - хранение, удобство технического обслуживания и ремонта;
  - безопасности эксплуатации;
  - транспортабельности различными видами транспорта.
- 4. Обеспечения:
  - режима секретности при эксплуатации;
  - защищенности от иностранных технических разведок;
  - стандартизации, унификации и каталогизации;
  - технологичности изготовления;
  - конструктивности.

Следует отметить, что после разработки проектной документации перед производством образца необходимо проведение тщательной экспертизы на предмет соответствия его тактико-технических характеристик лучшим мировым аналогам, а также перспективным или хотя бы современным тактико-техническим требованиям, при реализации которых эта ВАТ позволит нашим войскам (силам) выполнить все возлагаемые на них задачи по назначению во всех возможных условиях боевой обстановки. Конечным этапом при разработке нового образца ВАТ необходимо проведение сравнительного анализа по показателю «эффективность - стоимость» из имеющихся альтернатив других производителей.

**Заключение. Подход к назначению технических требований.** Подводя итоги с учетом вышесказанного и на основании анализа материалов работ [1-5], необходимо выделить главные требования, предъявляемые к образцу ВАТ:

- назначение данного образца ВАТ;
- состав образца ВАТ (использование как средства подвижности вооружения);
- боевая эффективность (управленческая) образца ВАТ;
- мобильность образца ВАТ;
- живучесть образца ВАТ в условиях применения традиционного оружия, высокоточного, массового поражения, на новых физических принципах и иного оружия. Живучесть характеризуется двумя свойствами – неуязвимостью и восстанавливаемостью ВАТ;
- надежность образца ВАТ (системы вооружения). Необходимость учета данного требования обусловлена тем, что создав даже самый эффективный в своем классе образец ВАТ, но обладающий низкой надежностью, мы не сможем его использовать по назначению, так как он большую часть времени будет находиться в ремонте. То есть такой образец будет не способен обеспечить нашим войскам (силам) выполнение всех возлагаемых на них задач во всех условиях боевой обстановки. А это является главным критерием эффективности и целесообразности последующего принятия на вооружение того или иного образца ВАТ. К требованиям этой группы следует отнести и требования к коэффициенту боевой готовности данного образца: требования по времени наработки образца на отказ, вероятность безотказной работы, допустимое время непрерывной работы образца при





использовании его, как комплексного образца вооружения, время до капитального ремонта, назначенный срок эксплуатации и т.д.;

- стоимость образца ВАТ. К великому сожалению зачастую стоимость требуемых качеств образца при его производстве превышает стоимость аналогов, выпускаемых в других государствах.

К выше изложенному следует добавить, что для исключения постановки на производство пусть и новых, но морально устаревших ВАТ необходимо проведение экспертизы на соответствие их тактико-технических характеристик лучшим мировым аналогам, а также перспективным или хотя бы современным тактико-техническим требованиям, при реализации которых эти образцы ВАТ позволят нашим войскам (силам) выполнить все возлагаемые на них задачи.

### **Список литературы:**

1. Лотенков, И.Н. Техническое обеспечение Вооруженных Сил: становление и развитие на современном этапе / И. Н. Лотенков // Армия. - 2013. - № 1-2 (101-102). - С. 32-35.

2. Кузьмин, В.И. Проблемы развития вооруженных сил и вооружений / В.И. Кузьмин, П.А. Галуша, В.А. Рябошапка // Вестн. Акад. воен. наук. - 2011. - №1 (34).

3. Буренок, В.М. Теория и практика планирования и управления развитием вооружения / В.М. Буренок, В.М. Ляпунов, В.И. Мудров. - М.: Граница, 2005. - 520 с.

4. ГОСТ РВ 15. 2001-2003. Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Тактико-техническое (техническое) задание на выполнение опытно-конструкторских работ. - М.: Госстандарт России, 2003. - 36 с.

5. ГОСТ РВ 15.002-2012. Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Система менеджмента качества. Общие требования. М.: Госстандарт России, 2012. - 52 с.



## МОДЕРНИЗАЦИЯ, РЕМОНТ И УТИЛИЗАЦИЯ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

Открытое акционерное общество  
научно-исследовательский институт  
электронных вычислительных машин



**НИИЭВМ**

Республика Беларусь  
220040, Минск  
ул. М.Богдановича, 155  
Тел./факс (+375 17) 334-47-42  
orion@niievvm.by  
[www.niievvm.by](http://www.niievvm.by)

СРЕДСТВА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ  
СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ  
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ РАБОЧИЕ МЕСТА  
МОДУЛИ И УСТРОЙСТВА  
СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ДОСТУПА И ТУРНИКЕТЫ  
МОДЕРНИЗАЦИЯ ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ





УДК 355/359:006

## ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ВООРУЖЕНИЮ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

**Батеновский М.В.<sup>1</sup>, Чугай К.Н.<sup>1</sup>, Степченко О.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>НИИ Вооруженных Сил Республики Беларусь, Минск, <sup>2</sup>ОАО «НИИЭВМ», Республика Беларусь, Минск

В связи с интенсивным развитием новых технологий, опирающихся на последние достижения в области микроэлектроники, информатики, нанотехнологии, новых видов энергии, освоение космического пространства и т.д., для перспективных образцов вооружения и военной техники (ВВТ) становится характерным повышение сложности и многофункциональности. Прогрессивное совершенствование информационных технологий, повышение темпов развития науки и промышленности способствует повышению эффективности процесса формирования требований к перспективным образцам ВВТ на стадии их разработки и дальнейшего сокращения затрат на стадии эксплуатации. Степень обоснования требований, предъявляемых к перспективным образцам, их облика и параметров зависит от качества и полноты принятых за основу исходных данных и используемого научно-методического обеспечения концептуальных исследований образца (принципов, методов, методик и моделей) [1].

Формирование требований к создаваемым (модернизируемым) образцам ВВТ, основываясь на передовых достижениях современной науки и техники, должно осуществляться по принципу рациональной достаточности, который определяется степенью реализации ими определенных тактических, технических и функциональных задач [2].

Исследование зарубежного опыта создания конкурентоспособных образцов ВВТ показывает, что основной тенденцией в их развитии является повышение боевой эффективности образцов. Решение данной задачи достигается за счет широкого применения инновационных технологий на всех стадиях создания (модернизации) образцов ВВТ. Среди подобных технологий следует выделить нано-, био-, когнитивные, информационные технологии, способные радикальным образом изменить содержание будущих войн и облик образцов и систем вооружения [3]. В качестве примера можно отметить министерство обороны США, где использование новых технологий широко применяется для обоснования требований к создаваемым (модернизируемым) образцам ВВТ в рамках процесса JCIDS (Объединенная система разработки и интеграции характеристик) [4].

Учитывая опыт, существовавший в Советском Союзе по созданию сложных высокотехнических систем, особое внимание уделялось на стадии исследования и обоснования целесообразности разработки образца ВВТ и на этапе военно-научных исследований, связанного с обоснованием концепций, обликов и требований к создаваемым (модернизируемым) образцам ВВТ. Основой для формирования требований, предъявляемых к образцу ВВТ, являлись требования к группировке войск (сил) и к ее системе вооружения, в составе которой

планировалось применение создаваемого образца. Обоснование требований к перспективным образцам ВВТ происходит по принципу соответствия боевых возможностей системы вооружения задачам вооруженных сил, выполняется по методу «сверху-вниз», при котором осуществляется декомпозиция задач от вышестоящего уровня к нижестоящему. При этом в ходе проведения исследований по обоснованию требований используются, как правило, детерминированные методы математического программирования, методы анализа накопленного опыта технического обслуживания, ремонта, хранения, перевозок, в отдельных случаях – экспертные методы [5].

В современных условиях требования необходимо предъявлять к системе в целом, так как ВВТ самостоятельно не ведут боевых действий. Боевые действия ведутся организационно-техническими системами военного назначения, которые представляют собой совокупность взаимосвязанных систем, комплексов, образцов ВВТ и личного состава, объединенных для решения военных (боевых) задач посредством организационных структур войсковых формирований различного уровня. Это обстоятельство требует дальнейшего развития подхода к формированию требований с учетом их возрастающей роли в обосновании военно-технической политики государства. Об этом свидетельствует ряд фактов:

- рост сложности, многофункциональности и комплексности систем (комплексов, образцов) ВВТ;

- сокращение периодичности замены основных видов ВВТ в вооруженных силах наиболее развитых государств;

- развитие новых форм и способов ведения боевых действий, реализующих концепцию сетецентрических войн [6].

Проведение работ по формированию исходных требований к ВВТ в современных условиях является очень важным и основополагающим элементом процесса создания (модернизации) образца ВВТ, осуществляемом на стадии жизненного цикла «Исследование и обоснование разработки». При процессе формирования требований к ВВТ должно учитываться соответствие современным достижениям научно-технического прогресса, тенденциям развития ВВТ. Стадия характеризуется изменением состояния образца ВВТ от возникновения замысла до обоснования возможности и целесообразности создания, и тем не менее, одним из результатов работ на этой стадии является разработка проекта тактико-технического задания (ТТЗ) на выполнение опытно-конструкторской работы (ОКР) по созданию (модернизации) образца ВВТ, в котором должна быть установлена совокупность тактико-технических, технических, технико-экономических, специальных и других требования, предъявляемых к образцу.

Основными государственными военными стандартами, регламентирующими работы по формированию требований к ВВТ, являются технические нормативные правовые акты в области технического нормирования и стандартизации (ТНПА) системы разработки и постановки на производство военной техники (СРПП). Основополагающими задачами СРПП являются создание, комплексов, образцов ВВТ высокого научно-технического уровня и качества, отвечающих требованиям обороны страны и современным достижениям научно-технического прогресса с учетом новых технологий, рациональное использова-



ние всех видов ресурсов, техническая и информационная совместимость и взаимозаменяемость, а также всестороннее тактико-техническое обоснование требований к ним и оценку их соответствия заданным требованиям [7].

Эффективное функционирование СРПП обеспечивается реализацией положений, установленных в ТНПА, в частности положения о системе общих технических требований (СОТТ), которая представляет собой упорядоченную совокупность организационных структур и комплекса научно технической документации ОТТ Минобороны, обеспечивающих единообразное проведение работ по формированию, применению и актуализации ОТТ к видам ВВТ, взаимовязанных по степени обобщения (общевидовые, межвидовые и видовые требования) и степени разукрупнения (требования к системам, комплексам, образцам ВВТ и их составным частям) [8].

Возвращаясь к ТТЗ необходимо отметить, что оно разрабатывается не только на основе ТНПА СРПП, но и на основе результатов научно-исследовательских работ (НИР), анализа новейших достижений и перспектив развития отечественной и зарубежной науки и техники, информационных и патентных материалов, опыта предыдущих разработок аналогичных образцов и эксплуатации существующих образцов, исходя из условий обеспечения наиболее эффективного их применения.

Анализируя установленный порядок организации и проведения работ по формированию требований к образцам ВВТ можно сделать вывод об отсутствии механизма оценивания всесторонних факторов, которые имеют не только статические, но и изменяющиеся составляющие, а порой не имеют количественных и качественных характеристик, что затрудняет выбор показателей эффективности и установки требуемого их значения. Другими словами, установленный порядок формирования требований к ВВТ не полностью учитывает возможные неопределенности.

Процесс формирования требований к создаваемым (модернизируемым) образцам ВВТ относится к процессу принятия решения. Так как образцы ВВТ и условия, в которых они применяются, являются сложными и требуют учета множества факторов (внешние условия, поведение образца в разных возможных ситуациях и т.п.), то решение должно приниматься в условиях неопределенности, когда из-за недостатка информации невозможно количественно определить вероятность его возможных результатов [9]. По существу, принятие решений в условиях неопределенности является выбором той или иной возможности из их многообразия, а сам процесс принятия решений неразрывно связан со снижением уровня неопределенности, вплоть до ее снятия [10]. Наличие неопределенности является характерной особенностью сложных систем (процессов, явлений). Влияние всех факторов на процесс формирования требований к ВВТ полностью учесть не удастся, что приводит к неоднозначности принятия решения. Исследование и учет неоднозначности (неопределенности) всех параметров и отношений, описывающих исследуемый процесс, представляет собой необходимую и важнейшую составляющую. Неопределенность заключается в том, что соответствующие характеристики рассматриваемого процесса находятся в условиях приближения и неполноты информации. В зависи-

мости от количества и качества информации описание неопределенности может быть разной. В любом случае необходим детальный анализ степени неопределенности всех факторов. При решении задачи по формированию требований к ВВТ необходимо максимально учесть всевозможные типы неопределенностей, многокритериальность, и применить менее сложные методы исследования.

По степени возрастания, неопределенность можно описать стохастически (теория вероятностей, теория случайных процессов), статистически (математическая статистика), с позиции теории нечетких множеств, а также интервально (интервальная математика). [11] Рассматривая возможно применимые методы исследования процесса формирования требований к ВВТ в условиях неопределенности на лидирующие места выходят построение математических моделей с помощью теории нечетких множеств, теории возможностей, экспертными методами.

В основе применения теории нечетких множеств для математического описания процесса формирования требований к ВВТ лежит не двузначная или даже многозначная логика, а логика с нечеткой истинностью, нечеткими связями и нечеткими правилами. Отличительными чертами подхода являются: использование «лингвистических» переменных вместо числовых, описание простых отношений между переменными с помощью нечетких высказываний, описание сложных отношений нечеткими алгоритмами.

С математической точки зрения данный подход как метод описания неопределенности лежит между описаниями с позиций теории вероятностей и математической статистики (в этом случае параметры системы, имеющие вероятностный, случайный характер, определяются некоторыми распределениями) и с позиций интервальной математики, при котором характеристики задаются диапазонами возможных значений (верхними и нижними границами) [12].

Учитывая современный уровень информационных технологий в качестве эффективного варианта решения задачи обоснования требований к образцам ВВТ в современных условиях на передовые позиции выходит применение методов математического моделирования их боевой работы, учитывающих особенности их функционирования, с реконструкцией действий создаваемых (модернизируемых) образцов ВВТ в различных условиях. Таким образом, для обоснования требований, предъявляемых к образцу, необходимо проведение полномасштабного моделирования, учитывающего особенности применения образца по назначению с учетом его функционирования.

В тоже время построение адекватных математических моделей, обеспечивающий достаточно полную имитацию внешних условий, позволяющих изучить поведение образца в разных возможных ситуациях его применения по назначению и др., позволяет исследовать сложные образцы ВВТ при существенном сокращении сроков и затрат (в 2-3 раза) и в значительной степени автоматизировать процесс их создания (модернизации). Кроме этого благодаря применению современной методологии построения математических моделей боевой работы, в первую очередь сложных образцов ВВТ, наряду с учетом как различных существующих условий боевой обстановки, возможно учесть изменение боевой обстановки на перспективу.



Результаты моделирования создаваемого (модернизируемого) образца ВВТ позволяют уточнить основные характеристики, провести достаточно полные его исследования, значительно сузить круг задач экспериментальной отработки образца и в целом снизить затраты времени и ресурсов на его создание.

Создаваемые математические модели, описывающие боевое применение образца ВВТ, должны учитывать процесс функционирования образца в составе, обусловленном совокупностью функционально связанных взаимодействующих сил и средств, которая создается для решения определенной боевой задачи с требуемым уровнем эффективности [13].

В конечном итоге использование достаточно полного, теоретически и инженерно-обоснованного вычислительного эксперимента на всех этапах создания образцов ВВТ с возможностью построения адекватных математических моделей; достаточно полной имитации внешних условий; изучения поведения образца в разных гипотетических ситуациях его применения по назначению и др., является весьма экономичным аппаратом исследования и синтеза сложных наукоемких образцов ВВТ, позволяющим существенно ускорить и в значительной степени автоматизировать процесс их разработки, повысить качество отработки при выполнении проектно-конструкторских работ и сузить круг вопросов, выносимых на экспериментальную отработку опытных образцов и их натурные испытания [14].

### Список литературы:

1. Гриб, Д.А. Принципы и аспекты методического подхода к формированию оперативно-стратегических и оперативно-тактических требований к перспективной системе вооружения вооруженных сил государства и ее структурным компонентам / Д.А. Гриб, Б.А. Демидов, О.А. Хмелевская // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2013. – № 2. – С. 29 – 34.
2. Чугай, К.Н. Основные направления развития боевых бронированных машин / К.Н. Чугай, Ю.И. Семак, В.В. Бондаренко // Наука и военная безопасность. – 2007. – № 3. – С. 8 – 13.
3. Буренок, В. М. Направления совершенствования методической базы обоснования проекта новой Государственной программы вооружения / В.М. Буренок // Вооружение и экономика. – 2013. – № 1 (22). – С. 3–7.
4. Аношкин, И.М. Организация разработки вооружения и военной техники в системе приобретения Министерства обороны США. – М.: Литера Форте, 2014 – 174 с., ил.
5. Буренок, В. М. Методология обоснования перспектив развития средств вооруженной борьбы общего назначения. – М.: Машиностроение, 2010. – 368 с., ил.
6. Шенец, И.В. Оперативно-тактические требования к вооружению и военной технике. Особенности формирования в современных условиях / И.В. Шенец, К.Н. Чугай // Наука и военная безопасность – 2013. – № 1(37). – С. 18–25.
7. Система разработки и постановки на производство оборонной продукции. Военная техника. Общие положения: СТБ В 15.001-2006. – Введ. 29.09.2006. – Минск: Гос. Комитет по стандартизации Респ. Беларусь, 2006. – 5 с.

8. Чугай, К.Н. Формирование требований к вооружению и военной технике на основе военной стандартизации / К.Н. Чугай, А.В. Шуляк // Наука и военная безопасность. – 2014. – № 1. – С. 38 – 42.

9. Анализ проблем использования математических моделей для снижения уровня неопределенности принятия УР / КГТУ им. А.Н. ТУПОЛЕВА // Казань 2005. // Электронный ресурс. – Режим доступа: [http://alversch.ru/finansy-dengi-kredit\\_2/analiz-problem-ispolzovaniya-matematicheskix.html](http://alversch.ru/finansy-dengi-kredit_2/analiz-problem-ispolzovaniya-matematicheskix.html).

10. Диев, В.С. Управленческие решения: неопределенность, модели, интуиция [Текст] / В.С. Диев.- Новосибирск: Новосиб-ий гос. ун-т, 2001. – 196с.

11. Волегов, П.С. Математическое моделирование в условиях неопределенности // Электронный ресурс. – Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=gexOnAXPUY>.

12. Борисов, А.Н. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. – М.: Радио и связь, 1989. – 304 с., ил.

13. Сивков, К.К. Модель с дальним прицелом / К.К. Сивков // ВПК. – 2015. – № 19 (585).

14. Демидов, Б.А. Методологические основы моделирования при предпроектных исследованиях и внешнем проектировании сложных образцов вооружения и военной техники / Б.А. Демидов, С.И. Хмелевский, О.А.Хмелевская // Системи озброєння і військова техніка. – 2012. – № 2 (30). – С. 138-142.





## МЕТОДИКА ПОИСКА РАЦИОНАЛЬНОГО МАРШРУТА ВЫПОЛНЕНИЯ ВОИНСКОЙ ПЕРЕВОЗКИ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОТИВНИКА НА МОСТОВЫЕ СООРУЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВОЙ КАРТЫ МЕСТНОСТИ

Демидов П.Г., Бобрицкий С.М.,

*УО «Белорусский государственный университет транспорта»*

Актуальность представленной в статье методики заключается в том, что в общей системе обеспечения военной безопасности стран таможенного союза Республики Беларусь, Республики Казахстан и Российской Федерации, важное место занимает безопасность системы транспортных коммуникаций. Вооруженными Силами Республики Беларусь используются в мирное и планируются на военное время все виды путей сообщения и транспортных средств в целях перемещения войск, вооружения, техники и воинских грузов.

На территории Республики Беларусь транспортная сеть развита достаточно хорошо, кроме того, по своей плотности на 1,0 тыс. км<sup>2</sup> она опережает все страны участниц СНГ. При этом по приоритету перевозка вооружения и военной техники в границах территории Республики Беларусь наиболее целесообразна автомобильным, железнодорожным, воздушным и речным видами транспорта. Способ доставки сил и средств зависит от многочисленного количества факторов, таких как: удаленность пункта доставки; директивные сроки и объемы перевозимых сил и средств; характер воздействия противника на транспортные коммуникации и др. Границы необходимого количества факторов на наш взгляд должны соответствовать максимально достоверному результату при решении поставленной задачи по воинской перевозке.

В настоящее время проведен целый ряд исследований в области принятия логистических решений по планированию и организации воинских перевозок различными видами транспорта. Однако не в одной из известных нам работ никто не взялся за решение проблематики по планированию и организации воинских перевозок различными видами транспорта, в том числе комбинированным способом с учетом воздействия противника на мостовые сооружения в пределах территории Республики Беларусь.

Известно, что мостовые сооружения, особенно на наиболее важных направлениях железных и автомобильных дорог, являются потенциально подвергаемыми нападению противником. При этом, как отмечают специалисты, анализируя опыт поражения мостовых сооружений в ходе последних войн и локальных вооруженных конфликтов, наиболее вероятному разрушению от воздействия высокоточного оружия подвергаются большие мосты ( $P = 0,9 \dots 1,0$ ), средние мосты и путепроводы ( $P = 0,5 \dots 0,65$ ), малые искусственные сооружения (малые мосты, водопропускные трубы и др.)  $P = 0,1 \dots 0,2$ . В тоже время вероятность нападения сил ДРГ и НВФ на мостовые сооружения составляет: большие мосты –  $P = 0,1 \dots 0,2$ ; средние мосты и путепроводы –  $P = 0,6 \dots 0,7$ ; малые искусственные сооружения –  $P = 0,8 \dots 0,9$ . Яркий пример нападения сил ДРГ и НВФ, был продемонстрирован в 2014 году на Украине в Донецкой области на не охраняемый

железнодорожный путепровод (рисунок 1), в этом же году были разрушены также ряд средних мостов и малых искусственных сооружений на железных и автомобильных дорогах в Луганской и Донецкой областях. Это свидетельствует о том, что нападение сил ДРГ и НВФ эвентуального противника на не охраняемые объекты подтверждает прогнозируемую вероятность, которая значительно выше, чем на охраняемые большие мосты. Все это, говорит о том, что даже при незначительных затратах сил и средств, противник может нанести серьезный урон транспортной системе любой страны, парализовав движение воинских перевозок в требуемом направлении, на продолжительный срок.



*Рис. 1 – Разрушение железнодорожного путепровода в ходе движения подвижного состава районе Новобахмутовки в Донецкой области*

В транспортных войсках Республики Беларусь на современном этапе развития, накоплен большой опыт по восстановлению больших и средних мостов, а также малых искусственных сооружений на железных и автомобильных дорогах. Существующие организационно-штатные структуры мостовых подразделений и воинских частей (ождбр и одмостбр) максимально адаптированы для решения задач по восстановлению мостовых сооружений на железных и автомобильных дорогах в условиях современных военных конфликтах в директивные сроки [1]. Кроме того производственные возможности мостовых воинских частей дают возможность прогнозировать сроки восстановления мостовых сооружений на территории Республики Беларусь.

Учитывая накопленный практический опыт по строительству и восстановлению мостовых сооружений, и опираясь на результаты проведенных научных исследований в области планирования и организации воинских перевозок [2–4], разработана методика поиска рационального маршрута выполнения воинской перевозки в условиях воздействия противника на мостовые сооружения с использованием цифровой карты местности (рисунок 2).



Рис. 2 – Укрупненная схема методики поиска рационального маршрута выполнения воинской перевозки в условиях воздействия противника на мостовые сооружения с использованием цифровой карты местности

Представленная методика на рисунке 2 состоит из пяти основных блоков и частных методик. В общем виде рассмотрим логическую последовательность ее работы:

в первом блоке представлен предварительный анализ картографической информации с использованием цифровой карты местности с учётом системы ограничений. Сущность работы первого блока (модуля) описана в [2, 4];

во втором блоке представлен выбор рациональных маршрутов воинской перевозки, осуществляемых различными видами транспорта в отдельности. Блок включает отдельный расчет параметров перевозок войск железнодорожным, воздушным и речным транспортом, а также передвижения подразделений своим ходом. На заключительном этапе производится сравнение вариантов по критериям оценки различных видов транспорта для определения наиболее рационального. Сущность работы второго блока (модуля) детально описана в [2];

в третьем блоке производится выбор рациональных маршрутов комбинированной воинской перевозки, в первом пункте выполняемой последовательным способом, а во втором пункте параллельным способом. Для успешной работы данного блока неотъемлемой частью является выполнение мероприятий по выбору пункта погрузки (выгрузки и перегрузки) с одного вида транспорта на другой. Сущность работы третьего блока (модуля) для каждого способа в отдельности описана в [2, 4];

в четвертом блоке выбора пункта погрузки (выгрузки и перегрузки) производится определение оптимального пункта погрузки (выгрузки и перегрузки), соответствующего совокупности требований (критериев) для перехода транспортного потока воинской перевозки с одного вида транспорта на другой. Данный блок работает в одной системе с третьим блоком. Сущность работы четвертого блока описана в [2, 4];

пятый блок состоит из трех последовательных методик:

прогнозирования характера и объемов разрушения мостовых сооружений. Данная методика учитывает современный характер воздействия вероятного

противника при прогнозировании разрушения мостовых сооружений от обычных средств поражения (высокоточное оружие, силы ДРГ и НВФ и др.), также позволяет оценить состояние и положение обрушенных конструкций. Детализация методики представлена в работе [1, 5];

ускоренного проектирования военных железнодорожных мостов по укрупненным плановым показателям. Данная методика учитывает накопленный опыт применения инвентарных конструкций мостов и отдельных элементов (пролетных строений и опор) при выборе и определении основных показателей восстановления мостов (срок, трудоемкость, темп восстановления и др.) по рациональным вариантам используя метод ускоренного проектирования описанный в [1, 6];

сравнения видов, способов и объемов восстановления с учетом мероприятий по обеспечению живучести, представляющей собой сравнение различных вариантов по видам и способам восстановления разработанных по предыдущей методике, используя основные параметры в критерии оценке технического уровня. Количество и вес каждого параметра оценки основных показателей определен на основе экспертного опроса ведущих специалистов в области строительства и восстановления мостов Республики Беларусь и Российской Федерации [1].

Совокупность представленных методик в пятом блоке неотъемлемо связана с блоками один, два и три, что позволяет спрогнозировать в мирное время и оценить в военное время целесообразность построения обходного маршрута воинской перевозки, как для отдельного вида транспорта, так и комбинированным способом, по отношению к восстанавливаемому участку пути с размещенным на нем одного или нескольких разрушенных и в последующем восстановленных мостовых сооружений.

По предварительным расчетам используя представленную методику по поиску рационального маршрута выполнения воинской перевозки в условиях воздействия противника на мостовые сооружения с использованием цифровой карты местности, установлено, что если срок восстановления будет меньше одних суток (восстановление малых искусственных сооружений на железных автомобильных и дорогах), то и пропуск воинской перевозки по восстановленному участку, будет конкурентоспособным с планированием и организацией движения воинской перевозки по новому маршруту комбинированным видом транспорта.

Разработанная методика позволяет в условиях мирного времени прогнозировать живучесть транспортной сети Республики Беларусь в условиях современного характера ведения вооруженных конфликтов.

Представленная методика в настоящий момент находится в стадии постоянного совершенствования, заключающегося в анализе различных факторов влияющих на повышение достоверности результатов при поиске рационального маршрута выполнения воинской перевозки в условиях воздействия противника на мостовые сооружения с использованием цифровой карты местности.



### Список литературы:

1 Бобрицкий, С. М. Адаптация организационно-штатной структуры отдельного мостового железнодорожного батальона транспортных войск Республики Беларусь к действиям в современных операциях: дис. канд. воен. наук / С. М. Бобрицкий. – СПб. : ВТИ ЖДВ РФ, 2012. – 190 с.

2 Разработка математического обеспечения для планирования комбинированных воинских перевозок с использованием геоинформационных систем : отчет о НИР (заключ.) / Белорус. гос. ун-т трансп. ; рук. Гордюк А. Г. ; исполн.: Демидов П. Г. [и др.]. – Гомель, 2011. – 147 с. – Библиогр.: с. 144–147. – Инв. № 07.07-190/2.

3 Демидов, П. Г. Методика и алгоритм выбора пункта погрузки (выгрузки, перегрузки) / А. Г. Гордюк, П. Г. Демидов, А. В. Коломиец // Строительство и восстановление искусственных сооружений: материалы республ. науч.-практ. конф., Гомель, 31 марта 2012 г. : в 2 ч. / Белорус. гос. ун-т трансп.; редкол.: Т. М. Ризевская [и др.]. – Гомель, 2012. – Ч. 1. – С. 150–159.

4 Булойчик, В. М. Алгоритм поиска маршрута, обеспечивающего необходимые условия передвижения мотострелковому подразделению / В. М. Булойчик, Д. М. Скрипко, А. А. Дубровский // Вестник ВА РБ. – 2010. – № 2 (27). – С. 45–52.

5 Бобрицкий, С.М. Методика прогнозирования вероятного разрушения железнодорожных мостов от воздействия современными средствами поражения / Бобрицкий С.М. // Строительство и восстановление искусственных сооружений: материалы II Международной науч.-практ. конф. В 2 част. Ч.1 / под общ. ред. А.Г.Гордюка; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2013. С. 33–44.

6 Бобрицкий, С.М., Печенев Е.В. Методика ускоренного проектирования военных железнодорожных мостов на жестких опорах / Бобрицкий С.М., Печенев Е.В. // Строительство и восстановление искусственных сооружений: материалы III Международной науч.-практ. конф. В 2 част. Ч.1 / под общ. ред. А.А.Поддубного; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2014. С. 138–146.

## РАЗРАБОТКА СОЕДИНИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ДЛЯ КОМБИНИРОВАНИЯ ТАБЕЛЬНЫХ ИМУЩЕСТВ КРАТКОСРОЧНЫХ МОСТОВ

**Доломанюк Р.Ю., Махаев К.В.,**

*УО «Белорусский государственный университет транспорта», Гомель*

В современных условиях ведения вооруженных конфликтов, нависших угроз террористических атак, чрезвычайных ситуаций из-за климатических катаклизмов особое внимание необходимо обратить на транспортную инфраструктуру, в состав которой неотъемлемо входят искусственные сооружения (мосты, трубы и др.).

Характеры поражения мостовых сооружений разнообразны: от поражения железнодорожных и автодорожных мостов высокоточным оружием или обычными средствами поражения доставляемых силами ДРГ и НВФ, до сейсмических реакций земли влияющих на разрушения мостов в районах катаклизма.

В этой связи для обеспечения возобновления движения по данному участку требуется произвести целый комплекс организационно-технических мероприятий по устранению разрушений и повреждений элементов мостовых переходов. При этом директивные сроки будут зависеть от создавшейся обстановки, объема и характера разрушений, заражения и затопления, а также наличия и состояния сил, средств необходимых для восстановления, с учетом технологических сроков [1].

На данный момент в достаточной степени накоплена научная база в области мостостроения, становятся на вооружение транспортных войск Республики Беларусь и железнодорожных войск Российской Федерации новые образцы строительно-восстановительной техники и инвентарных мостовых конструкций, разработанные с учетом современных требований. Совершенствуются способы восстановления мостовых переходов за счет внедрения новых технологических процессов по устройству инвентарных мостов и расчистке мостовых переходов от обрушенных конструкций [2].

Применение современных табельных инвентарных конструкций временных и краткосрочных мостов и переправ, в значительной степени облегчают выполнение задач восстановления мостовых сооружений. Однако использование инвентарных мостовых конструкций в конкретных условиях зависит от целого ряда технических условий и требований. При этом сами технические условия и требования постоянно изменяются и дополняются в соответствии с последними достижениями в области развития железнодорожного транспорта, строительства и восстановления мостов.

В настоящее время на вооружении структурных подразделений транспортных войск имеются следующие инвентарные мостовые имущества: металлическая сборно-разборная эстакада (далее – РЭМ-500); наплавной железнодорожный мост НЖМ-56; инвентарное мостовое имущество ИМИ-60; рамновинтовые опоры (РВО); сборно-разборные пролетные строения (СРП).



Эти конструкции, несмотря на большой срок эксплуатации и хранения, предоставляют собой самое эффективное средство для скоростного восстановления мостовых переходов. Инвентарные мостовые конструкции имеют следующие области применения:

- сборно-разборными эстакадами перекрывается, как правило, суходолы и неглубокие водотоки;
- наплавные железнодорожные мосты наводятся через широкие и глубокие водотоки [1].

Существуют на вооружение отдельных батальонов Вооруженных Сил Республики Беларусь принципиально новое имущество мост-лента МЛЖ-ВТ-ВФ (Рисунок 1) [3], которое разработана и серийно выпускается в Российской Федерации для железнодорожных войск. Но по ряду причин данное имущество, в транспортных войсках Республики Беларусь, имеется не в полном комплекте, что существенно затрудняет задачу по подготовке комплекса мероприятий обеспечения технического прикрытия и восстановления железнодорожных и автомобильных дорог в нашей стране.



*Рис. 1 – Общий вид моста-ленты МЛЖ-ВФ-ВТ*

В настоящее время транспортные войска прилагают большие усилия по совершенствованию конструкций и технологий монтажа инвентарных мостовых имуществ. На протяжении уже нескольких лет в рамках заказа транспортных войск Республики Беларусь, профессорско-преподавательский состав и курсанты военно-транспортного факультета в УО «БелГУТ» выполняют научно-исследовательские работы и осуществляют разработку проектов по тематике технического прикрытия и восстановления искусственных сооружений реальных объектов Республики Беларусь. Кроме этого ведется научно-исследовательская деятельность по всем направлениям военного мостостроения.

Так была поставлена задача по комбинированию пролетных строений инвентарных мостов НЖМ-56, РЭМ-500 [4, 5] с рамно-винтовыми опорами из имущества МЛЖ-ВТ-ВФ.

Коллективом профессорско-преподавательского состава факультета был разработан и запатентован соединительный элемент (марка ПТ 9/71), по своим конструктивным особенностям он выполняет функцию опорной части комбинированного моста (Рисунок 2).

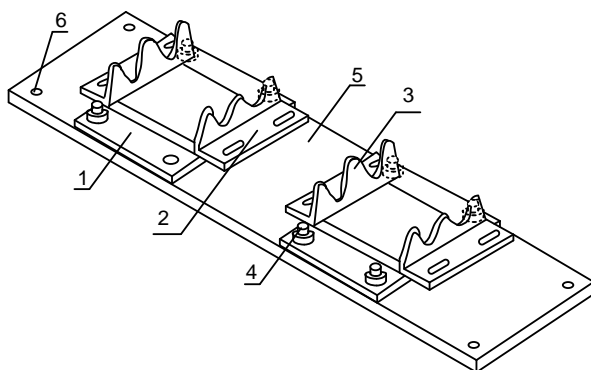


Рис. 2 – Соединительный элемент ПТ 9/71

Соединительный элемент моста «Рисунок 2» состоит из двух плит 1 имеющих отверстия для крепления к переходной плите, двух опорных подушек 2, щек 3, в горизонтальной полке которых имеются овальные отверстия для закладывания головки стяжного болта, переходной плиты 5 имеющей четыре отверстия 6 по углам, для крепления к ригелю опоры из имущества МЛЖ-ВТ-ВФ. На переходной плите располагаются восемь вертикальных крепежных элементов в виде шпилек с резьбой 4, находящихся симметрично относительно вертикальной и горизонтальной оси переходной плиты, для крепления плиты с опорной подушкой и щекой. Данный элемент моста предназначен для установки пролетных строений из имущества РЭМ-500 на инвентарные опоры имущества МЛЖ-ВТ-ВФ. Соединительный элемент крепится к ригелю опоры из имущества МЛЖ-ВТ-ВФ при помощи четырех болтов, которые вставляются в отверстия 6 по краям переходной плиты. На установленную переходную плиту симметрично относительно вертикальной оси устанавливаются две плиты, с опорными подушками и щеками, на шпильки с резьбой 4 и закручиваются гайками с шайбой. После установки соединительного элемента производится установка пролетного строения из имущества РЭМ-500.

Использование соединительного элемента позволяет компоновать между собой пролетные строения инвентарных мостов РЭМ-500, НЖМ-56 с рамновинтовыми опорами из имущества МЛЖ-ВТ-ВФ, что позволит комбинировать данные имущества металлических инвентарных конструкций между собой при сооружении временного мостового перехода через водную преграду (Рисунок 3).



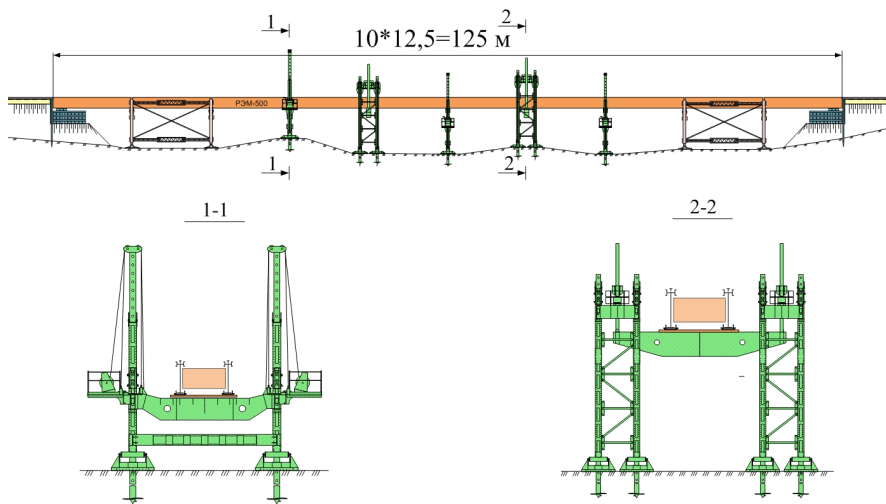


Рис. 3 – Схема комбинированного моста с использованием имущества РЭМ-500 и МЛЖ-ВТ-ВФ

Такая схема позволит расширить область применения инвентарного имущества РЭМ-500, там где установка опор РЭМ-500 невозможна из-за слабых грунтов или угрозы размыва грунтов под подошвой плоской опоры.

### Список литературы:

1. Строительство и восстановление искусственных сооружений: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. В 2 ч. Ч 1 / под общ. ред. А.А. Поддубного ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 441 с.
2. Строительство и восстановление искусственных сооружений: материалы III Междунар. науч.-практ. конф. В 2 ч. Ч 1 / под общ. ред. А.А. Поддубного ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2014. – 396 с.
3. Наплавной унифицированный железнодорожный мост – лента МЛЖ-ВФ-ВТ: Техническое описание и инструкция по монтажу, перевозке, хранению и эксплуатации. / Федеральная Служба ЖДВ РФ. – М. : ФС ЖДВ РФ, 2007.
4. Наплавной железнодорожный мост НЖМ-56: Техническое описание и инструкция по монтажу, перевозке, хранению и эксплуатации. / Главное управление ЖДВ. – М. : ГУ ЖДВ, 1977.
5. Металлическая эстакада РЭМ-500: Техническое описание и инструкция по монтажу, перевозке, хранению и эксплуатации. / Главное управление ЖДВ. – М. : ГУ ЖДВ, 1976.

УДК 623.48, 519.8

**АНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ  
ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ В ОПЕРАЦИИ****Дубина Ю.В., Шакуро А.А.,***НИИ Вооруженных Сил Республики Беларусь, Минск*

Высокая интенсивность ведения военных действий в современных войнах и вооруженных конфликтах, а также использование боеприпасов, обладающих повышенной поражающей способностью, широкое применение высокоточного оружия приводят к значительному увеличению потерь вооружения и военной техники (ВВТ) противоборствующих сторон. При этом основным источником восполнения потерь ВВТ является восстановление вышедших из строя образцов вооружения и техники.

Для прогнозирования численности неисправных образцов вооружения в операции и оценки эффективности функционирования ремонтно-восстановительных органов (РВО) целесообразно использовать математическую модель, учитывающую основные процессы при восстановлении ВВТ: техническую разведку, дефектацию, эвакуацию, ремонт неисправных образцов вооружения и военной техники, а также возвращение их в строй. Сущность данной математической модели (постановка задачи и ее формализацию) рассмотрим на примере восстановления вышедших из строя образцов ВВТ одной номенклатуры.

Постановка задачи. На момент времени  $t = t_0$  в воинских формированиях имеется  $m_0$  единиц вооружения. По техническим причинам либо в результате воздействия противника с интенсивностью  $\beta(t)$  образцы вооружения выходят из строя. В зависимости от трудоемкости выполняемых работ восстановление вооружения и военной техники может выполняться в  $N$  ремонтно-восстановительных органах системы восстановления. Распределение ремонтного фонда по уровням системы восстановления задается вектором  $\alpha = \{\alpha_i\}$ ,

$i = \overline{1, N}$ . При этом  $\sum_{i=1}^N \alpha_i = 1$ , то есть  $\alpha_i$  – доля ремонтного фонда, который восстанавливается  $i$ -м ремонтно-восстановительным органом. В соответствии с имеющимися производственными возможностями ремонтных органов возвращение в строй восстановленных образцов вооружения происходит с интенсивностью  $\lambda_i$ ,  $i = \overline{1, N}$ .

Изменение во времени численности боеготовых образцов вооружения в воинских формированиях  $m_0$  и находящихся в ремонтно-восстановительных органах  $m_i$ ,  $i = \overline{1, N}$  можно описать системой  $N+1$  обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка



$$\begin{cases} \frac{dm_0(t)}{dt} = -\beta \cdot m_0 + \sum_{i=1}^N \lambda_i \cdot m_i \\ \frac{dm_i(t)}{dt} = \beta \cdot m_0 \cdot \alpha_i - \lambda_i \cdot m_i & i = \overline{1, N} \\ \dots \\ \frac{dm_N(t)}{dt} = \beta \cdot m_0 \cdot \alpha_N - \lambda_N \cdot m_N \end{cases} \quad (1)$$

с начальными условиями при  $t = t_0$   $m_0 \cdot \alpha_i = m_0 \cdot \alpha_i$  и  $m_i \cdot \alpha_i = m_i \cdot \alpha_i$ ,  $i = \overline{1, N}$ .

Интенсивности потоков восстановленных образцов вооружения, возвращающихся в строй, определим с учетом общих затрат времени на техническую разведку, дефектацию и эвакуацию  $T_i^{ЭБ}$ , возвращение в войска  $T_i^{БЗ}$  и ремонт  $T_i^P$

$$\lambda_i = \frac{1}{T_i^{ЭБ} + T_i^P + T_i^{БЗ}}. \quad (2)$$

Затраты времени  $i$ -го РВО на ремонт образца вооружения определим как

$$T_i^P = \frac{T_{TP}}{\frac{l_i}{S \cdot n_i} + 0.5 \cdot k_i}, \quad (3)$$

$$\text{где } S \cdot n_i = \begin{cases} m_i & \text{при } m_i < 1; \\ 1 & \text{при } m_i \geq 1; \end{cases}$$

$T_{TP}$  – средняя трудоемкость ремонта образца БВТ, чел.-час.;

$l_i$  – среднее количество мастеров, принимающих участие в ремонте образцов вооружения, чел.

$k_i$  – число членов экипажа, принимающих участие в ремонте образца БВТ, чел.

Интегрирование системы уравнений (1) позволяет определить численность работоспособных образцов вооружения и неисправных, находящихся в РВО, в любой момент времени. В силу общности предложенного методического аппарата (постановки задачи и ее формализации) данная математическая модель может использоваться для определения численности боеготовых и неисправных образцов БВТ нескольких номенклатур.

В качестве примера выполним расчет изменения численности образцов БВТ на предполагаемых этапах операции. Принимается, что ремонтно-восстановительные органы способны выполнять только текущий и средний ремонт БВТ [1].

При проведении расчетов сделаны следующие допущения.

1. Среднесуточные безвозвратные потери и выход в ремонт вооружения и военной техники на этапе операции имеют постоянную величину. Используемые при проведении расчетов интенсивности выхода в текущий  $\beta_r$ , средний  $\beta_{cp}$ , капитальный  $\beta_k$  ремонты и безвозвратные потери  $\beta_b$  БВТ приведены в

таблице 1. В последнем столбце таблицы приведена суммарная интенсивность потерь  $\beta$ .

Таблица 1 – Интенсивности потоков выхода в ремонт и безвозвратные потери БТВТ на этапах операции, 1/сут

Этапы операции	$\beta_T$	$\beta_{CP}$	$\beta_K$	$\beta_B$	$\beta$
Первый этап	0,04	0,015	0,007	0,005	0,067
Второй этап	0,08	0,045	0,021	0,015	0,161

2. При моделировании восстановления БТВТ потери подвижных средств технического обслуживания и ремонта РВО не учитываются.

3. Вышедшие в текущий ремонт БТВТ распределяются по трем уровням системы восстановления омбр в зависимости от трудоемкости ремонта: до 20 чел.-час., от 20 до 50 чел.-час. и от 50 до 100 чел.-час.

4. Требующие среднего ремонта образцы вооружения распределяются по четырем уровням восстановления с диапазонами трудоемкости ремонта: до 50 чел.-час., от 50 до 100 чел.-час., от 100 до 200 чел.-час. и от 200 до 300 чел.-час.

В соответствии с принятыми допущениями изменение во времени численности боеготовых БТВТ  $m_0$  и находящихся в ремонтно-восстановительных органах  $m_i(t)$ ,  $i = \overline{1,7}$  можно описать системой 8-ми обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dm_0(t)}{dt} = -\beta \cdot m_0 + \sum_{i=1}^7 \lambda_i m_i \\ \frac{dm_1(t)}{dt} = \beta_T \cdot m_0 - \alpha_1 - \lambda_1 m_1 \\ \frac{dm_2(t)}{dt} = \beta_T \cdot m_0 - \alpha_2 - \lambda_2 m_2 \\ \frac{dm_3(t)}{dt} = \beta_T \cdot m_0 - \alpha_3 - \lambda_3 m_3 \\ \frac{dm_4(t)}{dt} = \beta_{CP} \cdot m_0 - \gamma_1 - \lambda_4 m_4 \\ \frac{dm_5(t)}{dt} = \beta_{CP} \cdot m_0 - \gamma_2 - \lambda_5 m_5 \\ \frac{dm_6(t)}{dt} = \beta_{CP} \cdot m_0 - \gamma_3 - \lambda_6 m_6 \\ \frac{dm_7(t)}{dt} = \beta_{CP} \cdot m_0 - \gamma_4 - \lambda_7 m_7 \end{array} \right. \quad (4)$$

с начальными условиями при  $t = t_0$   $m_0 = m_0$  и  $m_i = m_i$ ,  $i = \overline{1,7}$ .

Используемые обозначения параметров в (4) соответствуют принятым в разд. 2.12.1. Распределение вышедших в текущий и средний ремонты БТВТ по



уровням восстановления задается векторами  $\alpha = \alpha_i$ ,  $i = \overline{1,3}$  и  $\gamma = \gamma_j$ ,  $j = \overline{1,4}$ .

При этом  $\sum_{i=1}^3 \alpha_i = 1$  и  $\sum_{j=1}^4 \gamma_j = 1$ , где  $\alpha_i$  и  $\gamma_j$  – доли вышедших в текущий и средний ремонты БТБТ, которые восстанавливаются на  $i$ -м и  $j$ -м уровне РВО, соответственно. Средняя трудоемкость ремонта одного образца БТБТ и доли ремонтного фонда по уровням восстановления, используемые при проведении расчетов, представлены в таблице 2. При этом нормативная трудоемкость текущего и среднего ремонтов ходовых частей БТБТ принималась равной 100 чел.-час. и 300 чел.-час., соответственно [2].

Таблица 2 – Распределение ремонтного фонда БТБТ по ремонтным органам

№ п/п	Диапазон трудоемкости ремонта, чел.-час.	Доля ремонтного фонда	Средняя трудоемкость ремонта, чел.-час.
Текущий ремонт			
1	0 – 20	0,309	11,25
2	20 – 50	0,398	37,5
3	50 – 100	0,293	75
Средний ремонт			
1	0 – 50	0,259	25
2	50 – 100	0,241	75
3	100 – 200	0,366	150
4	200 – 300	0,134	225

Интенсивности потоков образцов вооружения в РВО и возвращающихся в строй  $\lambda_i$ ,  $i = \overline{1,7}$  определяются выражением 2.23. Исходя из штатной численности РВО, для выполнения текущего ремонта ходовых частей БТБТ привлекаются 53 производственных ремонтно-восстановительных органов омбр и экипажи БТБТ. Средний ремонт проводят 36 производственных РВО старшего начальника. Используемые при проведении расчетов данные о количестве ремонтников по уровням восстановления  $l_i$ ,  $i = \overline{1,7}$ , затратах времени на эвакуацию в РВО  $T_i^{ЭВ}$ ,  $i = \overline{1,7}$  и возвращение восстановленных БМП в строй  $T_i^{БЗ}$ ,  $i = \overline{1,7}$  приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Исходные данные для расчета интенсивностей потоков БТБТ в операции

№ п/п	Диапазон трудоемкости ремонта, чел.-час.	$l_i$ , чел.	$T_i^{ЭВ}$ , час.	$T_i^{БЗ}$ , час.
Текущий ремонт				
1	0 – 20	7	1,5	0,5
2	20 – 50	19	2,5	1,7
3	50 – 100	27	2,5	1,7
Средний ремонт				
1	0 – 50	6	2,5	1,7
2	50 – 100	7	4	2,8
3	100 – 200	15	4	2,8
4	200 – 300	8	6	5

На основе математической модели (4) проведен анализ эффективности восстановления БТВТ на первом и втором этапах операции в соответствии с принятыми потерями БТВТ (таблица 1). При проведении расчетов начальная численность образцов вооружения принималась – 130 ед. На рисунке 1 представлены зависимости изменения численности работоспособных образцов БТВТ в боевых подразделениях с учетом безвозвратных потерь и выхода в капитальный ремонт. К концу первого этапа операции численность работоспособных образцов БТВТ уменьшилась на 14,6 ед., что составляет 88,1 % от начального количества. В связи с возросшими потерями на втором этапе операции количество работоспособных единиц вооружения уменьшилось до 80 ед. и составляет 61,5 % от начального количества.

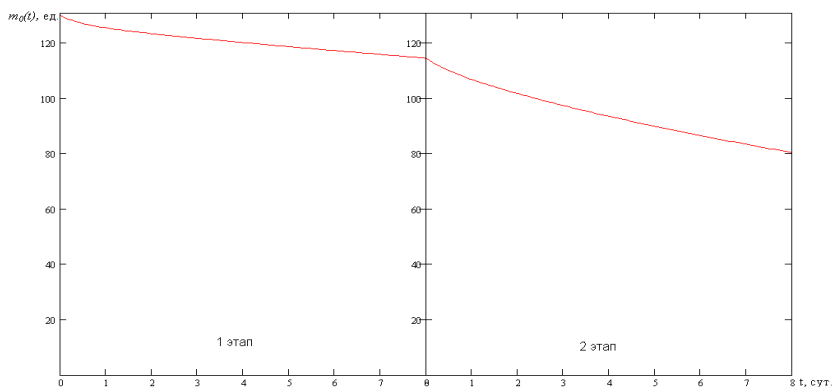


Рис. 1 – Численность работоспособных БТВТ на этапах операции

Количество поступивших в РВО образцов вооружения для текущего  $n_T$  и среднего  $n_{CP}$  ремонтов на этапе операции продолжительностью  $T$  определяется выражениями

$$n_T = \beta_T \int_0^T m_0 \overleftarrow{dt} \quad \text{и} \quad n_{CP} = \beta_{CP} \int_0^T m_0 \overleftarrow{dt},$$

интегрирование которых выполняется численным методом. За восемь суток первого этапа операции в ремонтные органы поступает ~ 53,1 ед. БТВТ. Количество восстановленных образцов вооружения за этот период времени составляет 49,3 ед. За восемь суток второго этапа операции в РВО поступает ~ 94,4 ед. БТВТ, из которых 87 ед. восстанавливаются. Количество образцов БТВТ, вышедших в текущий и средний ремонты, и восстановленных ремонтными органами звеньев войск за шестнадцать суток операции представлено в таблице 4.



Таблица 4 – Количество и доля образцов БТВТ, восстановленных ремонтными органами за шестнадцать суток операции

Вид ремонта	Количество БТВТ, поступивших в РВО, ед.	Количество восстановленных БТВТ, ед.	Доля восстановленных БТВТ, %
Текущий ремонт	99,0	96,6	97,6
Средний ремонт	48,5	39,7	81,8
Итого	147,5	136,3	92,4

На рисунках 2 и 3 представлены изменения численности БТВТ в ремонтных органах по уровням трудоемкости ремонта, характеризующие их функционирование на втором этапе операции. Приведенные графики показывают, что наибольшее количество невосстановленных образцов БТВТ накапливается в ремонтных органах, которые выполняют средний ремонт с большой трудоемкостью работ. Так, на восьмые сутки второго этапа операции в ремонтных органах, выполняющих средний ремонт трудоемкостью более 100 чел.-час., остаются ~ 6 ед. невосстановленных БТВТ. Ремонтные органы, выполняющие менее трудоемкий текущий ремонт функционируют более результативно.

Таким образом, разработанная аналитическая модель позволяет прогнозировать численность боеготовых и неисправных образцов вооружения на этапах операции с учетом распределения ремонтного фонда по трудоемкости работ, затрат времени на техническую разведку, эвакуацию, ремонт и возвращение в строй, что является отличительной особенностью разработанной модели.

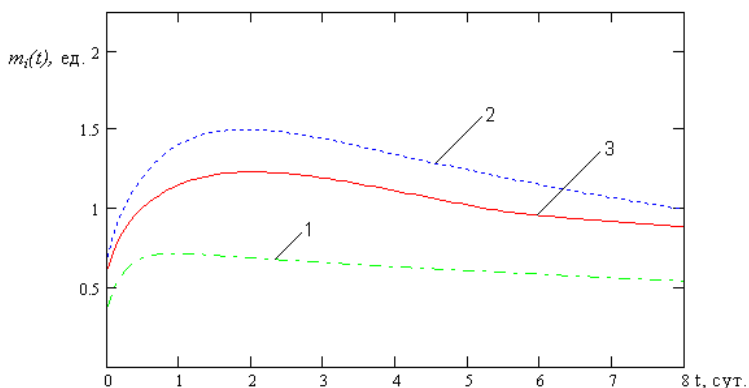


Рис. 2 – Численность неисправных БТВТ в ремонтных органах, выполняющих текущий ремонт с диапазонами трудоемкости: работ 0 – 20 чел.-час. (1), 20 – 50 чел.-час. (2) и 50 – 100 чел.-час. (3) на втором этапе операции

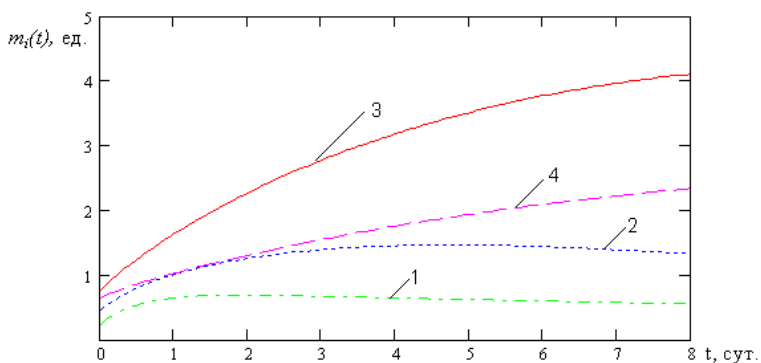


Рис. 3 – Численность неисправных БТВТ в ремонтных органах, выполняющих средний ремонт с диапазонами трудоемкости работ: 0 – 50 чел.-час. (1), 50 – 100 чел.-час. (2), 100 – 200 чел.-час. (3) и 200 – 300 чел.-час. (4) на втором этапе операции

### Список литературы:

1. Силы и средства технического обеспечения: пособие/ Г.А. Осипов, А.Н. Капусто, Е.Н. Цейко [и др.] - Минск: ВА РБ, 2010. 104 с.
2. Методические рекомендации по проведению оперативно-тактических (тактико-технических) расчетов для планирования восстановления вооружения, военной и специальной техники. Исх. от 5.03.2016 г. №9/288.





УДК 621.865.8

## ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ ВЗРЫВОВ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ БОЕПРИПАСОВ В МЕСТАХ ИХ ХРАНЕНИЯ ДЛЯ ОТДЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Качко В.А.<sup>1</sup>, Тумар В.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НИИ Вооруженных Сил Республики Беларусь, Минск, <sup>2</sup>УО «Военная академия Республики Беларусь», Минск

**Актуальность задачи.** В Вооруженных Силах Республики Беларусь безопасности баз хранения артиллерийских боеприпасов уделяется повышенное внимание. Это обусловлено возможностью возникновения на данных объектах чрезвычайных ситуаций (ЧС), приводящих к значительным материальным, финансовым, экологическим и социальным последствиям. В настоящее время в нашей стране действует ряд нормативно-правовых актов, направленных на решение данного вопроса. Так, в соответствии с Законом Республики Беларусь от 5 января 2016 г. № 354-3 [1] «О промышленной безопасности» базы артиллерийских боеприпасов относятся к объектам, которые подлежат обязательному декларированию. Одним из важных требований декларации безопасности является прогнозирование последствий ЧС в месте хранения боеприпасов, которое заключается в определении возможных разрушений зданий и сооружений, величины ожидаемого материального ущерба для объектов инфраструктуры, оценке санитарных и безвозвратных потерь среди личного состава базы и населения. Данный доклад посвящен оценке последствий взрыва боеприпасов в МХ на отдельные здания и сооружения. При проведении расчетов возможность передачи ЧС с активного МХ на соседние МХ не рассматривается.

**Постановка задачи.** Пусть имеется МХ артиллерийских боеприпасов и ряд прилегающих к нему зданий (сооружений). Известны следующие данные: тип МХ и его инженерное оборудование, номенклатура и количество хранимых боеприпасов, геометрические размеры здания (сооружения), расстояние между МХ и зданием (сооружением). Необходимо определить вероятность разрушения здания (сооружения), наиболее вероятный исход ЧС (последствия взрыва боеприпасов в МХ) и соответствующие данному исходу степени разрушений МХ, здания (сооружения).

**Особенности развития ЧС на базах артиллерийских боеприпасов.** Чрезвычайная ситуация на базах артиллерийских боеприпасов сопровождается пожарами и взрывами. Определяющее влияние на развитие ЧС оказывает взрыв боеприпасов, основным поражающим фактором которого является воздушная ударная волна (УВ). В результате действия УВ места хранения, здания и сооружения административно-хозяйственной территории и близлежащих населенных пунктов могут быть повреждены и разрушены. Разрушения характеризуются 4-мя степенями: слабая, средняя, сильная, полная.

Для определения степеней разрушения зданий (сооружений) используют детерминированные и вероятностные методы [2, 3]. Данные методы позволяют рассмотреть только случай детонации конденсированных взрывчатых ве-

ществ (ВВ), расположенных на открытой местности. При ЧС на базах артиллерийских боеприпасов необходимо учитывать ряд особенностей, которые влияют на степень разрушения здания (сооружения): тип МХ; наличие защитного обвалования МХ; номенклатура и количество хранимых боеприпасов. С учетом данных особенностей разработан порядок оценки последствий взрывов артиллерийских боеприпасов в МХ для зданий (сооружений).

**Оценка последствий взрывов артиллерийских боеприпасов в МХ для отдельных зданий (сооружений)** состоит из четырех основных этапов:

1. Определение возможных исходов ЧС (для МХ и здания (сооружения));
2. Расчет вероятностей степеней разрушения активного МХ и здания (сооружения);
3. Определение вероятности разрушения здания (сооружения);
4. Определение матрицы разрушений МХ, здания (сооружения) и выбор наиболее вероятного исхода ЧС.

*Этап 1. Определение возможных исходов ЧС (для МХ и здания (сооружения)).*

Для определения степеней разрушения зданий (сооружений) необходимо строить отдельные сценарии развития ЧС для хранилищ боеприпасов и площадок открытого хранения (ПОХ). Разработку данных сценариев целесообразно проводить с помощью диаграмм типа дерево, которые широко применяются при системном анализе техногенных катастроф и аварий на промышленных объектах. Основными достоинствами данных диаграмм являются: высокая информативность представления и описания исследуемых процессов, доступность и однозначность понимания пользователем, удобство интерпретации и обработки на средствах вычислительной техники, возможность получения на основании анализа данных моделей количественных оценок рассматриваемых процессов [5].

Возможные исходы определяются по одному из двух разработанных деревьев событий в зависимости от типа МХ, на котором возникла ЧС (дерево событий для хранилища или дерево событий для ПОХ). В качестве примера рассмотрим дерево событий (исходов) ЧС в хранилище артиллерийских боеприпасов (рисунок 1).

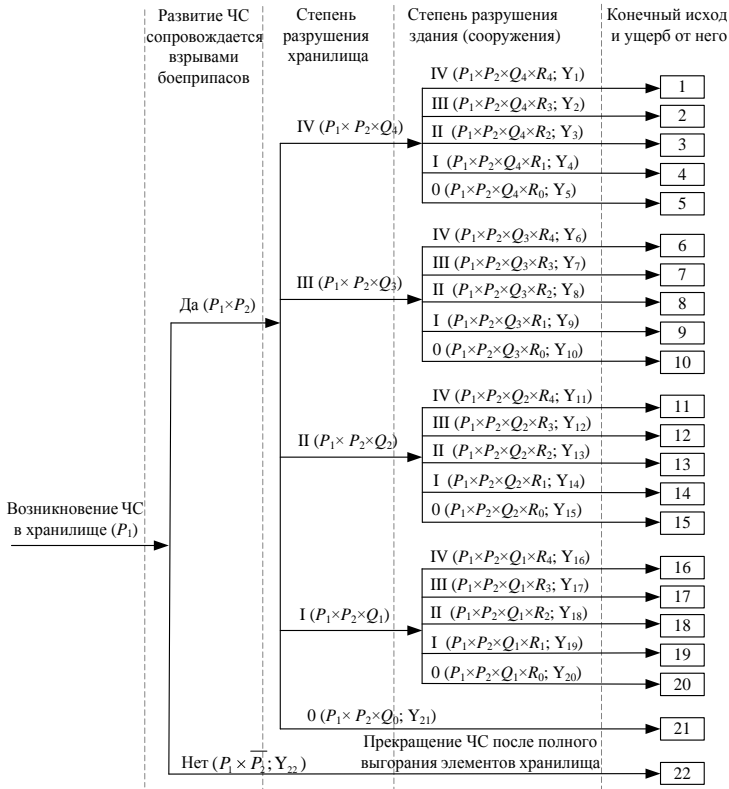


Рис. 1. – Дерево событий (исходов) ЧС в хранилище артиллерийских боеприпасов

Данное дерево состоит из центрального события (возникновение ЧС в МХ) и ветвей, олицетворяющих возможные сценарии причинения ущерба. Для данного дерева выявлено 22 конечных исхода, которые образуют полную группу несовместных событий, т.е. сумма их вероятностей равна 1.

Цифры в скобках на ветвях дерева исходов указывают на условные вероятности их появления и ожидаемый при этом материальный ущерб  $Y_x$ ,  $x = 1, 2, \dots, 22$ . Самым нежелательным конечным исходом является первый, т.к. при данном сценарии развития ЧС ущерб будет максимальным: хранилище и здание (сооружение) будут полностью разрушены.

Этап 2. Расчет вероятностей степеней разрушения активного МХ и здания (сооружения).

Согласно дереву событий (рисунок 1) и в соответствии с формулой полной вероятности исходное выражение для определения вероятности разрушения рассматриваемого объекта инфраструктуры с учетом степени разрушения активного места хранения будет иметь следующий вид:

$$P_p = P_1 P_2 \left( \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 Q_i R_j \right). \quad (1)$$

где  $P_1$  – вероятность возникновения ЧС в МХ;

$P_2$  – вероятность взрыва (взрывов) боеприпасов, находящихся в МХ;

$i$  ( $j$ ) – степень разрушения активного МХ (здания (сооружения)) ( $i, j = 1$  (2, 3, 4) соответствует слабой (средней, сильной, полной) степени разрушения);

$Q_i$  – вероятность получения активным МХ разрушений  $i$ -й степени;

$R_j$  – вероятность получения зданием (сооружением) разрушений  $j$ -й степени разрушений в результате взрыва (серии взрывов), произошедших на активном МХ.

Вероятность возникновения ЧС  $P_1$  определяется по методике, описанной в работе [6].

Вероятность взрыва (взрывов) боеприпасов  $P_2 = 1$  для боеприпасов, которые при нагревании детонируют, и  $P_2 = 0$  для боеприпасов, которые сгорают без детонации.

Для определения последствий воздействия УВ на здания (сооружения) будем считать возникновение ЧС в МХ событием произошедшим, т.е.  $P_1 = 1$ . Тогда вероятность разрушения здания (сооружения) для боеприпасов II и III-й групп опасности (таблица 2) будет определяться по выражению (2)

$$P_p = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 Q_i R_j. \quad (2)$$

Определим расчетные выражения для вероятностей  $Q_i, R_j$ . Для этого воспользуемся математической моделью, представленной в [7]

Введем обозначения:

$S_m, m = 0, 1, \dots, 4$  – состояние МХ, характеризующееся  $m$ -й степенью разрушения;

$p_{mn}, m = 0, 1, \dots, 4, n = 0, 1, \dots, 4$  – вероятность перехода МХ из состояния  $S_m$  в состояние  $S_n$ .

До возникновения ЧС МХ находится в состоянии  $S_0$ . В результате взрыва МХ может остаться в данном состоянии или перейти в состояние  $S_n, n = 1, 2, \dots, 4$  с вероятностью  $p_{0n}, n = 1, 2, \dots, 4$ . При следующем взрыве МХ может перейти из состояния  $S_m, m = 0, 1, \dots, 4$ , в состояние  $S_n, n > m$  или остаться в прежнем состоянии. Переход в состояние  $S_n$  из состояния  $S_m$ , где  $m > n$ , невозможен (здание в результате взрыва не может получить разрушения слабой степени, если уже до взрыва разрушения соответствовали сильной степени). Состояние  $S_4$  является поглощающим. На рисунке 2 представлен граф состояний активного МХ (здания, сооружения) и переходов, соответствующий описанному выше процессу.

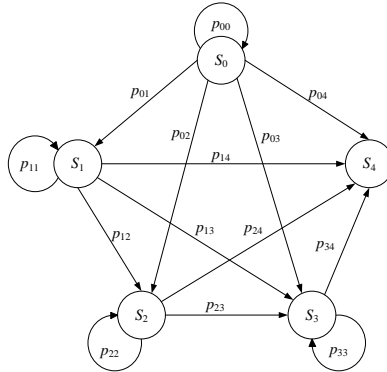


Рис. 2. – Граф состояний МХ (здания, сооружения) и переходов при взрывах

Процесс переходов МХ (здания, сооружения) из состояния  $S_m$  в состояние  $S_n$ , при  $n > m$  представляется цепью Маркова с конечным множеством состояний и дискретным временем. Следовательно, задача определения вероятностных оценок сводится к расчету матрицы переходных вероятностей.

Матрицы переходных вероятностей для активного МХ  $\mathbf{V}$  и здания (сооружения)  $\mathbf{W}$  имеют вид

$$\mathbf{V} = \mathbf{W} = \begin{bmatrix} p_{00} & p_{01} & p_{02} & p_{03} & p_{04} \\ 0 & p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} \\ 0 & 0 & p_{22} & p_{23} & p_{24} \\ 0 & 0 & 0 & p_{33} & p_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & p_{44} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Определение переходных вероятностей  $p_{mn}$  выполняется в следующей последовательности.

1. Вероятности перехода активного МХ (здания, сооружения) из состояния  $S_m$  в состояние  $S_n$  ( $n > m$ ) рассчитываются при помощи выражения [5]

$$p_{mn} = \begin{cases} 0,5 \exp \left[ -\frac{n - n_{\text{ср}}}{1,28} \right], & n = 1, 2, 3, \\ 0,5 \exp \left[ -\frac{n - n_{\text{ср}}}{1,28} \right], & n = 4, \\ 1 - \exp \left[ -\left( \frac{n_{\text{ср}} - 1,25}{2,505} \right) n_{\text{ср}} \right], & n_{\text{ср}} \geq 1,25, \\ 1 - \exp \left[ -\left( \frac{n_{\text{ср}} - 1,25}{2,505} \right) n_{\text{ср}} \right], & n_{\text{ср}} < 1,25, \\ 0, & \end{cases} \quad (4)$$

где  $m$  – текущая степень разрушения МХ (здания, сооружения);

$n$  – ожидаемая степень разрушения МХ (здания, сооружения) в результате каждого последующего взрыва;

$n_{\text{ср}}$  – параметр, характеризующий ожидаемую степень разрушения МХ (здания, сооружения).

2. Вероятность того, что состояние МХ (здания, сооружения) при взрыве не изменится, определяется по формуле

$$p_{mm} = 1 - \sum_{n=m+1}^4 p_{mn}, m = 0, 1, 2, 3. \quad (5)$$

3. Вероятность  $p_{44} = 1$ , так как состояние  $S_4$  является поглощающим. Параметр  $n_{cp}$  определяется выражением, приведенным в [3],

$$n_{cp} = 5 \left\{ 1 - \exp \left[ -0,7 \left( \frac{\Delta P_{\phi} - P_{0l}}{\Delta P_{lcp}^m} - 0,3 \right) \right] \right\}, \quad (6)$$

где  $\Delta P_{\phi}$  – избыточное давление во фронте УВ, кПа;

$P_{0l}$  – пороговое давление, ниже которого повреждения МХ (здания, сооружения)  $l$ -го типа отсутствуют, кПа;

$\Delta P_{lcp}^m$ ,  $k = 0, 1, 2, 3$  – усредненное давление, характеризующее стойкость МХ (здания, сооружения)  $l$ -го типа к фугасному действию взрыва при  $m$ -й степени его разрушения, кПа.

Значения величин  $P_{0l}$ ,  $\Delta P_{lcp}^m$  определяются по методике, представленной в [5].

Величина избыточного давления на фронте ударной волны  $\Delta P_{\phi}$ , определяется по экспериментальной зависимости, полученной на основе теории подобию академиком М.А. Садовским [9]

$$\Delta P_{\phi} = 95 \frac{\sqrt[3]{m_{\text{экв}}}}{r} + 428 \left( \frac{\sqrt[3]{m_{\text{экв}}}}{r} \right)^2 + 1400 \left( \frac{\sqrt[3]{m_{\text{экв}}}}{r} \right)^3, [\text{кПа}], \quad (7)$$

где  $m_{\text{экв}}$  – масса ВВ в тротиловом эквиваленте, кг;

$r$  – расстояние от эпицентра взрыва до фронта УВ, м.

При расчете элементов  $p_{mn}$  матрицы переходных вероятностей для здания (сооружения)  $W$  необходимо учитывать инженерное оборудование активного МХ в виде обвалования, которое существенно препятствует дальнейшему распространению УВ. При наличии обвалования МХ величина избыточного давления  $\Delta P_{\phi}$  во фронте ударной волны, воздействующей на здание (сооружение), значительно уменьшается. Данный факт был учтен в работе [7] путем введения в выражение (7) коэффициента инженерного оборудования  $k_{\text{ио}}$ . Полученное выражение имеет вид



$$\Delta P_{\text{фз}} = 95 \frac{\sqrt[3]{m_{\text{эжв}}}}{k_{\text{ю}} r} + 428 \left( \frac{\sqrt[3]{m_{\text{эжв}}}}{k_{\text{ю}} r} \right)^2 + 1400 \left( \frac{\sqrt[3]{m_{\text{эжв}}}}{k_{\text{ю}} r} \right)^3, \text{ [кПа]}. \quad (8)$$

При наличии обвалования  $k_{\text{ю}} = 1,69$ , а при отсутствии  $k_{\text{ю}} = 1$ .

Так как до начала ЧС на базе боеприпасов активное МХ и здание (сооружение) не имеют повреждений ( $i, j = 0$ ), то вероятностями степеней их разрушения  $Q_i, R_j$ , ( $i, j = 0, 1, \dots, 4$ ) являются элементы первых строк  $p_{0n}$ , ( $n = 0, 1, \dots, 4$ ) переходных матриц  $\mathbf{V}, \mathbf{W}$  (3) соответственно. При развитии ЧС на ПОХ матрица переходных вероятностей рассчитывается только для здания (сооружения), учитывая наличие (отсутствие) обвалования МХ (8).

*Этап 3. Определение вероятности разрушения здания (сооружения).*

На распространение УВ оказывает влияние степень разрушения активно-го МХ. Так например, в результате взрыва (серии взрывов) МХ не было разрушено ( $i = 0$ ). В этом случае вероятность разрушения здания (сооружения)  $P_p = 0$ , так как УВ не распространится за пределы хранилища. Для учета влияния степени разрушения МХ введем безразмерный коэффициент  $\psi_i$ , значения которого представлены в таблице 1 [4].

Таблица 1. – Значения коэффициента учета степени разрушения активного МХ

Степень m	0	1	2	3	4
Разрушения	Нет	Слабые	Сред	Сил	Пол
Коэффициент $\psi_i$	0	0,15	0,4	0,5	0,85

Для полной степени разрушений МХ ( $i = 4$ ) коэффициент  $\psi_i \neq 1$ , так как часть боеприпасов может оказаться под завалом, который препятствует распространению УВ.

Выражение (2) после подстановки коэффициента  $\psi_i$  примет вид

$$P_p = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 Q_i \psi_i R_j. \quad (9)$$

Запишем данное выражение в матричной форме:

$$P_p = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \psi_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \psi_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \psi_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \psi_4 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} R_1 & R_2 & R_3 & R_4 \end{vmatrix} = \mathbf{E} \mathbf{K} \mathbf{Q} \mathbf{R}^T \quad (10)$$

где  $\mathbf{E}$  – единичная матрица-строка размерностью  $1 \times 4$ ;

$\mathbf{K}$  – диагональная матрица размерностью  $4 \times 4$ , элементами которой являются коэффициенты  $\psi_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) учета степени разрушения активного МХ;

$Q(R)$  – матрица-строка, элементами которой являются вероятности степеней разрушения активного МХ (здания (сооружения)) ( $i, j = 1, 2, 3, 4$ );

$T$  – символ, означающий транспонирование матрицы.

*Этап 4. Определение матрицы разрушений МХ, здания (сооружения) и выбор наиболее вероятного исхода ЧС.*

Матрица разрушений размерностью  $4 \times 5$ , элементами которой являются вероятности  $j$ -й степени разрушения здания (сооружения) ( $j = 0, 1, \dots, 4$ ) при  $i$ -й степени разрушения активного МХ ( $i = 1, 2, 3, 4$ ), будет иметь вид

$$P = K_1 Q R_1^T = \begin{pmatrix} 0 & \psi_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \psi_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \psi_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \psi_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 \end{pmatrix} \begin{vmatrix} R_0 & R_1 & R_2 & R_3 & R_4 \end{vmatrix} = \begin{pmatrix} P_{10} & P_{11} & P_{12} & P_{13} \\ P_{20} & P_{21} & P_{22} & P_{23} \\ P_{30} & P_{31} & P_{32} & P_{33} \\ P_{40} & P_{41} & P_{42} & P_{43} \end{pmatrix} \quad (11)$$

где  $K_1$  – матрица размерностью  $4 \times 5$ , полученная добавлением к матрице  $K$  дополнительного столбца с элементами  $k_{i0} = 0$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ );

$R_1$  – матрица-строка, элементами которой являются вероятности степеней разрушения здания (сооружения) ( $j = 0, 1, \dots, 4$ ).

Чтобы учесть возможный исход, при котором активное МХ и здание (сооружение) не получают разрушений  $i, j=0$ , добавим в матрицу (11) дополнительную строку с элементами  $p_{0j}, j = 0, 1, \dots, 4$ . Вероятность  $p_{00}=Q_0$ . Значения остальных элементов данной строки равны 0, т.к. разрушения здания (сооружения) при 0-й степени разрушения активного МХ невозможны. Данная матрица будет иметь вид

$$P_1 = \begin{pmatrix} p_{00} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{10} & P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} \\ P_{20} & P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} \\ P_{30} & P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} \\ P_{40} & P_{41} & P_{42} & P_{43} & P_{44} \end{pmatrix}. \quad \begin{matrix} (1 \\ 2) \end{matrix}$$

Среди элементов данной матрицы  $P_1$  определяется элемент  $p_{ij}$  с максимальным значением. Это будет наиболее вероятный исход ЧС на активном МХ.

**Заключение.** В докладе представлен подход к оценке последствий взрывов артиллерийских боеприпасов в местах их хранения для отдельных зданий (сооружений). Научной новизной предложенного подхода и главным его отличием от известных [2, 3] является использование для оценки последствий взрыва диаграмм типа дерево и матриц разрушений. Применение данных диаграмм и матриц позволяет определить вероятность разрушения здания (сооружения), степени разрушения активного МХ и здания (сооружения) с учетом основных факторов (тип МХ, номенклатура и количество хранимых боеприпасов, нали-





чие инженерного оборудования МХ, тип здания (сооружения)), влияющих на развитие ЧС.

Предложенный подход может использоваться на практике в войсках при разработке декларации безопасности баз хранения артиллерийских боеприпасов.

Таким образом, применение представленного подхода позволяет:

рассчитать вероятность разрушения  $P_p$  отдельных зданий (сооружений) при взрывах артиллерийских боеприпасов в местах их хранения;

определить ожидаемые степени разрушения активного МХ и зданий (сооружений);

выявить все возможные сценарии последствий взрыва (серии взрывов) и выбрать из них наиболее вероятный исход.

### Список литературы:

1. О промышленной безопасности: Закон РБ 354-3/2016: принят Палатой представителей 10.12.2015: вступ. в силу 05.01.2016 – Минск: 2016 – 38 с.

2. Козлитин, А.М. Теоретические основы и практика анализа техногенных рисков. Вероятностные методы количественной оценки опасностей техносферы. / А.М. Козлитин, А.И. Попов, П.А. Козлитин. – Саратов: СГТУ, 2002. – 180 с.

3. Козлитин, А.М. Чрезвычайные ситуации техногенного характера. Прогнозирование и оценка. Детерминированные методы количественной оценки опасностей техносферы: учеб. пособие. / А.М. Козлитин, Б.Н. Яковлев; под ред. А.И. Попова. – Саратов: СГТУ, 2000. – 124 с.

4. Романенко, Б.Г. Основы обеспечения безопасности артиллерийских арсеналов, баз и складов боеприпасов / Б.Г. Романенко [и др.]. – Пенза: ПАИИ, 2000. – 130 с.

5. Белов, П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / П.Г. Белов. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 512 с.

6. Тумар, В.А. Логико-вероятностные модели и оценка взрывопожаробезопасности баз хранения боеприпасов: дис. ... канд. техн. наук: 20.02.01 / В.А. Тумар. – Минск, 2011. – 159 с.

7. Бусла, А.П. Оценка действия и последствий взрывов на базах хранения боеприпасов: дис. ... канд. техн. наук: 20.02.17 / А.П. Бусла. – Минск, 2010. – 139 с.

## РАЗВИТИЕ СИСТЕМ ПРИВОДОВ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ТРАНШЕЙНЫХ МАШИН

**Котлобай А.Я., Котлобай А.А., Герасимюк А.И., Юнусов Ю.Ш.**

*Военно-технический факультет БНТУ, Минск.*

Применение землеройной техники, стоящей на вооружении инженерных войск Республики Беларусь, в современных условиях по-прежнему остается актуальным [1,2]. Заложенные в конструкции машин общетехнические характеристики [3,4] обеспечивают выполнение стоящих перед инженерными войсками задач, однако поддержание их работоспособного состояния в эксплуатации с каждым годом становится сложной инженерной задачей. Это объясняется тем, что эти машины выпускались предприятиями различных регионов бывшего СССР малыми сериями, кроме того системы отбора мощности на привод рабочих органов, были реализованы на базе сложных механических передач, производимыми только специализированными предприятиями военно-промышленного комплекса, гидрофицированные системы управления рабочими органами, созданы на устаревшей элементной базе гидравлической аппаратуры, а также отсутствием запасных частей, производство которых прекращено по экономическим и политическим причинам.

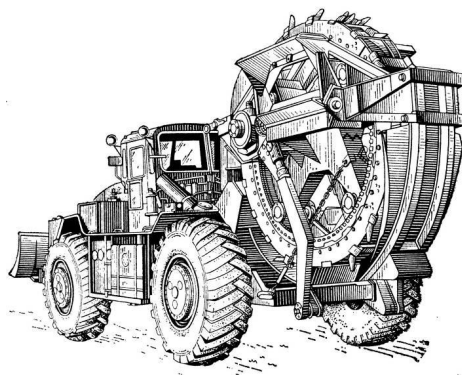
В настоящее время нет четко сформулированных направлений совершенствования и модернизации военной инженерной землеройной техники Республики Беларусь, и в этой связи землеройная техника, не обеспеченная штатными запасными агрегатами и деталями, разукomплектовывается, и, в конечном итоге, ликвидируется. При этом парк военной инженерной землеройной техники не пополняется. Это приводит к снижению обороноспособности Вооруженных Сил Республики Беларусь.

Основным направлением модернизации военной инженерной землеройной техники Республики Беларусь является переустановка рабочего оборудования на серийно выпускаемые в Беларуси тягово-транспортные шасси, коренная переработка систем отбора мощности базовых шасси на привод рабочих органов, при этом, предпочтение отдается гидрообъемным передачам на основе современной элементной базы гидравлической аппаратуры [5]. Использование стандартных гидравлических агрегатов систем приводов вместо механических, выпускаемых малыми сериями, позволит снизить трудозатраты при модернизации машин, техническом обслуживании и ремонте [6,7]. Направления модернизации должны формироваться по каждой землеройной машине, исходя из ее боевого применения и конструктивной схемы.

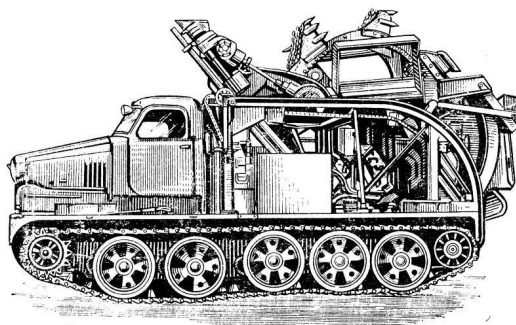
На вооружении в частях инженерных войск используются полковая землеройная машина ПЗМ-2 (рис. 1), траншейные машины ТМК-2 (рис. 2), БТМ-3 (рис. 3) [8]. По своим тактико-техническим характеристикам в рамках принятых военно-политических доктрин Республики Беларусь и существующих бюджетов страны эти машины соответствуют современному уровню решения боевых задач.



*Рис. 1 – Траншейно-котлованная машина ПЗМ-2*



*Рис. 2 – Траншейная машина ТМК-2*



*Рис. 3 – Траншейная машина БТМ-3*

Полковая землеройная машина ПЗМ-2 (рис. 1) предназначена для отрывки котлованов и траншей при оборудовании позиций войск и пунктов управления. По своим тактико-техническим характеристикам ПЗМ-2 соответствует современному уровню решения боевых задач.

Основными частями ПЗМ-2 являются базовая машина (легкий колесный тягач Т-155-01) и рабочее оборудование. В состав рабочего оборудования входят цепной рабочий орган, роторный метатель, тяговая лебедка, бульдозерное оборудование, дополнительная трансмиссия, гидравлическая, пневматическая и электрическая системы управления.

Современные модели тракторов, выпускаемые ЗАО «ТРАКТОРМАШ», г. Харьков – трактор ОрТЗ-150Г-Я-01 с навесным бульдозерным оборудованием оснащены двигателем ЯМЗ-236Д-3/Д, базовая платформа которого хорошо зарекомендовала себя при эксплуатации. Поддержание работоспособного состояния такой техники является сложной инженерной задачей из-за отсутствия запасных частей, производство которых прекращено.

Финансовые ресурсы, обеспечивающие импорт военно-инженерной техники для механизации земляных работ в бюджет Республики Беларусь не складываются.

В Республике Беларусь модернизация ПЗМ-2 предполагает создание новой траншейно-котлованной машины на базе доработанного по стандартам Вооруженных Сил Республики Беларусь трактора МоАЗ-49011 (рис. 4), производства Могилевского автомобильного завода. Трактор оснащен двигателем ЯМЗ-238Б, мощностью 220 кВт, его масса составляет 13500 кг.



*Рис. 4 – Трактор МоАЗ-49011 производства Могилевского автомобильного завода*

На современном этапе при модернизации рабочего оборудования ПЗМ-2 важнейшим направлением является замена сложных и материалоемких механических систем приводов рабочего оборудования гидравлическими приводами. Рациональным является отказ от применения материалоемкой распределительной коробки и использование гидравлического привода цепного рабочего органа и роторного метателя, что позволит уменьшить массу рабочего оборудования и снизить стоимость изготовления, повысит надежность рабочего оборудования, исключая поломки элементов привода при динамическом увеличении нагрузки, упростит техническое обслуживание и ремонт траншейно-



котлованной машины. При использовании базового тягача МоА3-49011 (см. рис. 4) к ВОМ подключается насосная установка.

Гидросистемы траншейно-котлованной машины может быть реализована в открытом [9] и закрытом [10] контурах. Для гидравлического привода цепного рабочего органа и роторного метателя траншейно-котлованной машины, установленного на доработанном шасси двойного назначения с ограниченными габаритными возможностями, актуален закрытый контур, оснащенный системой охлаждения рабочей жидкости.

В рамках модернизации гидросистемы траншейно-котлованной машины [10] может быть предложена насосная установка (рис. 5), состоящая из регулируемого реверсируемого насоса 19 с наклонной шайбой серии 416 (416.0.71, 416.0.90), предназначенного для работы в закрытом контуре. Масса насоса 67 кг, потребляемая номинальная мощность соответственно 63,5 и 80,2 кВт. Возможно построение гидросистемы с двумя насосами, установленными соосно (тандем) – переменной производительности для привода цепного рабочего органа и постоянной производительности для привода метателя. В этом случае для привода метателя могут быть использованы насосы серии 310 объемом 28, 45 см<sup>3</sup>/об, максимальной потребляемой мощностью 52, 65 кВт и массой 9, 17 кг. При использовании неревверсируемого цепного рабочего органа могут быть использованы регулируемые насосы серии 313 рабочим объемом 56, 80 см<sup>3</sup>/об, максимальной потребляемой мощностью 81, 104 кВт и массой 22, 38 кг. Эти насосы применяются в открытых схемах мобильных установок и потребуют применения делителя потока, поскольку не предназначены для тандемирования. Возможно также построение гидросистемы привода цепного рабочего органа и метателя на базе одного насоса постоянной производительности и делителя потока [11]. Может быть применен насос серии 310 объемом 80 см<sup>3</sup>/об, максимальной потребляемой мощностью 104 кВт и массой 19,2 кг. Производитель насосов ОАО «Пневмостроймашина» РФ [5].

При работе траншейно-котлованной машины насосы 1, 19 и 23 включаются при неработающем двигателе.

Гидрораспределитель 7 обеспечивает управление гидроцилиндрами 3, 6 позиционирования отвала бульдозера.

При работе лебедкой вентиль 4 открывается. Поднимается отвал бульдозера в крайнее верхнее положение, и рабочая жидкость насоса 1 через вентиль 4 поступает в гидромотор 5, приводя во вращение барабан лебедки.

Перевод рабочего оборудования из транспортного положения в рабочее и обратно обеспечивается гидрораспределителем 9, управляющим гидроцилиндрами 10, 12. При подъеме и опускании рабочего оборудования вентиль 11 открыт. Для фиксации рабочего оборудования в транспортном положении вентиль 11 закрывается.

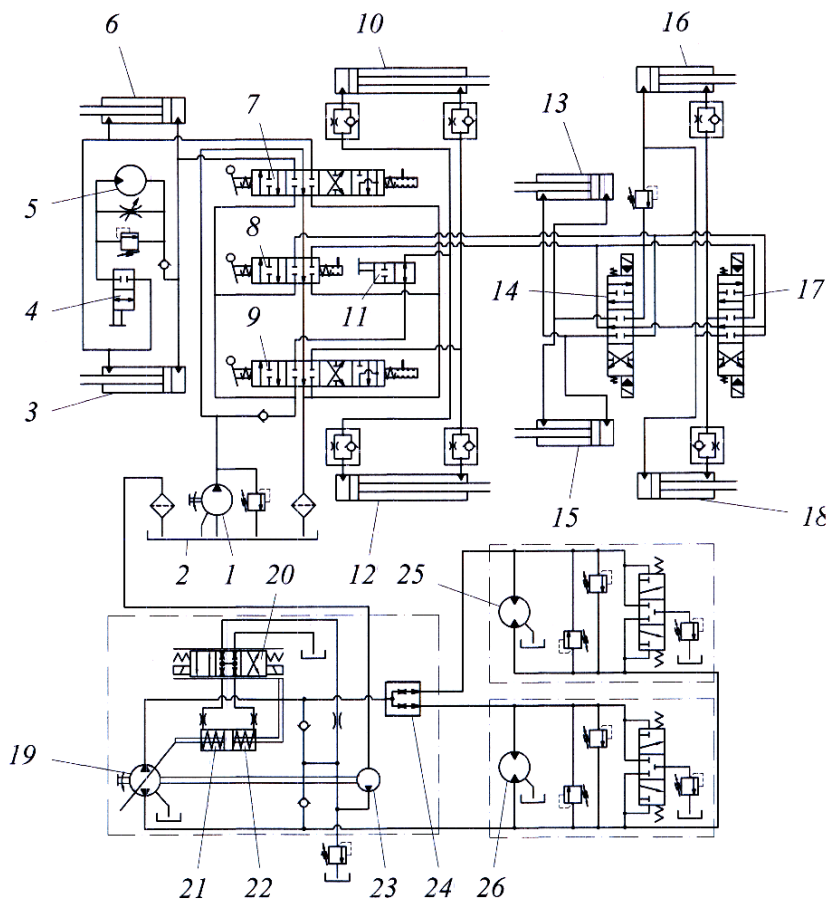


Рис. 5 – Принципиальная схема гидропривода траншейно-котлованной машины:

1, 19, 23 – насос; 2 – бак; 3, 6, 10, 12, 13, 15, 16, 18 – гидроцилиндр; 4, 11 – вентиль; 5, 25, 26 – гидромотор; 7, 8, 9, 14, 17, 20 – гидрораспределитель; 21, 22 – рабочая полость; 24 – делитель – сумматор потока



Для отрывки траншей гидрораспределитель 20 переводится в первую, либо третью позиции и рабочая жидкость насоса подпитки 23 подается в полости 21, 22 гидроцилиндра управления шайбой насоса 19. Рабочая жидкость насоса 19 поступает к делителю–сумматору потока 24 [2], работающему в режиме деления потока, и подается к гидромоторам 25, 26 привода метателя и цепного рабочего органа. Рабочая жидкость, сливаемая из гидромоторов 25, 26 подается во всасывающую магистраль насоса 19. Утечки рабочей жидкости компенсируются насосом подпитки 23.

При необходимости реверсирования цепного рабочего органа при возникновении внештатной ситуации, либо иной необходимости гидрораспределитель 20 обеспечивает реверсирование насоса 19. Рабочая жидкость подается к гидромоторам 25, 26, приводя цепной рабочий орган и метатель, и сливается во всасывающую магистраль насоса 19 через делитель–сумматор потока 24, работающий в режиме суммирования потоков рабочей жидкости.

Для работы цепного рабочего органа гидрораспределитель 8 переводится во вторую позицию, и рабочая жидкость насоса 1 поступает к трехпозиционным распределителям 14, 17, определяющим положение цепного рабочего органа. Позиционирование рабочего органа обеспечивается гидроцилиндрами 16, 18, управляемыми гидрораспределителем 17.

Качание цепного рабочего органа при отрывке котлованов осуществляется гидроцилиндрами 13, 15, управляемыми гидрораспределителем 14. Для работы в автоматическом режиме цепной рабочий орган оснащен концевыми выключателями, фиксирующими крайнее положение, на основании сигнала которых формируется управляющее воздействие. Также, заглубление рабочего органа гидроцилиндрами 16, 18 осуществляется в автоматическом режиме по достижении рабочим органом крайнего положения при качании.

При модернизации траншейной машины ТМК-2, созданной на базе колесного шасси, в качестве альтернативы колесному тягачу КЗКТ-538ДП (см. рис. 2), производство которого прекращено, может быть применен трактор МоАЗ-49011 (см. рис. 4).

На современном этапе для модернизации землеройных машин, созданных на базе гусеничных шасси, предлагается модернизация только систем приводов и управления рабочим оборудованием. Так, например, для привода рабочего оборудования траншейных машин ТМК-2, БТМ-3 перспективным направлением является замена сложных и материалоемких механических приводов рабочего органа гидравлическими приводами, реализованными на современной элементной базе. Это позволит уменьшить массу рабочего оборудования и снизить стоимость изготовления, повысить надежность рабочего оборудования, исключить поломки элементов привода при динамическом увеличении нагрузки при выполнении земляных работ, упростить техническое обслуживание и ремонт траншейных и котлованных машин.

В рамках совершенствования систем приводов рабочего оборудования траншейных машин ТМК-2, БТМ-3 разработаны принципиальные схемы гидропривода рабочего оборудования (рис. 6).

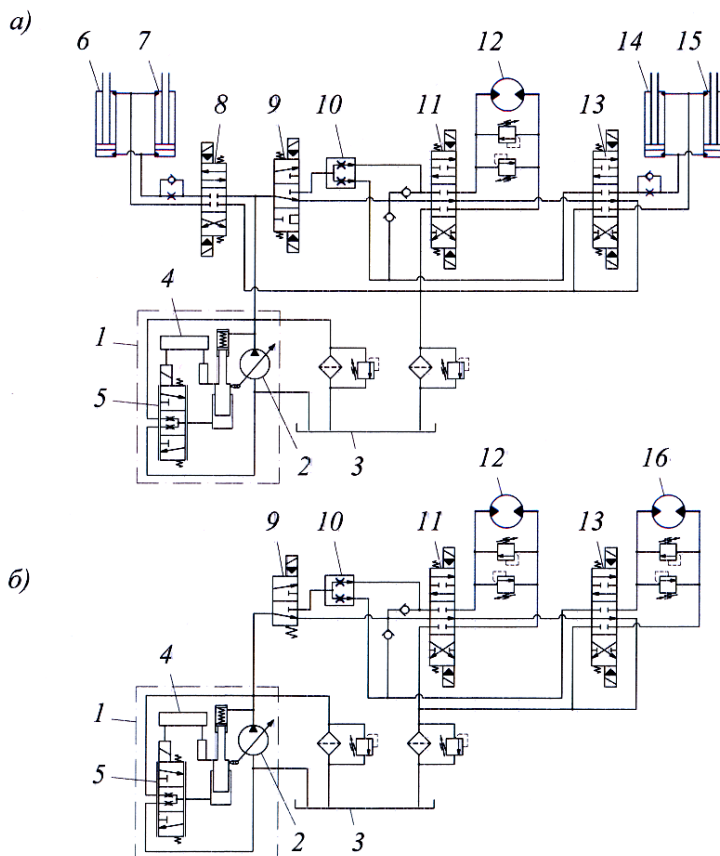


Рис. 7 – Принципиальная схема модернизированного гидропривода  
рабочего оборудования траншейной машины:

а – ТКМ-2; б – БТМ-3; 1 – насосный агрегат; 2 – насос; 3 – бак; 4 – электронный блок управления; 5 – гидрораспределитель управления насоса; 6, 7, 14, 15 – гидроцилиндр; 8, 9, 11, 13 – гидрораспределитель; 10 – делитель потока; 12, 16 – гидромотор

Предлагается гидравлический привод роторного рабочего органа траншейных машин ТКМ-2 (рис. 6, а), БТМ-3 (рис. 6, б) оснастить насосной установкой 1 и гидромотором 12 привода роторного рабочего органа. Рекомендована к использованию насосная установка 1, состоящая из регулируемого насоса 2 серии 313.3.80, 313.3.107, предназначенного для работы в открытом контуре с баком 3 гидросистемы, и системы автоматического поддержания параметров





работы насоса, включающей электронный блок управления 4, гидрораспределитель 5. Номинальный объем насоса – 80, 107 см<sup>3</sup>, минимальный 0 см<sup>3</sup>. Производитель ОАО «Пневмостроймашина» РФ [4]. В блоке управления 4 насоса 2 заложена информация о режиме работы насоса при использовании бульдозерного оборудования и роторного рабочего органа на всех грунтах, что обеспечивает оптимальный режим работы рабочего оборудования и двигателя машины. Насос обеспечивает работу при номинальной частоте вращения 1200–1500 мин<sup>-1</sup>. Масса насоса 38, 40 кг, потребляемая номинальная мощность при номинальной частоте вращения 1500, 1200 мин<sup>-1</sup> – 41,0 и 44,0 кВт. Для привода роторного рабочего органа может быть использован радиально-поршневой гидромотор 12, устанавливаемый на редуктор бортовой правый роторного рабочего органа, обеспечивающий деление потока мощности гидромотора 12 на привод ротора и метателя грунта. Трансмиссия привода роторного рабочего органа обеспечивает вращение его в диапазоне частот 9,15–2,35 мин<sup>-1</sup> и метателя грунта – 280–379 мин<sup>-1</sup>. Исходя из кинематической схемы привода роторного рабочего органа, гидромотор 12 должен обеспечивать частоту вращения метателя грунта. При номинальной подаче рабочей жидкости насоса 2 в 114, 122 л/мин необходимый объем гидромотора 12 составит (322–436), (301–407) см<sup>3</sup>. При этом, за основу следует брать нижние значения объемов. Определенным параметрам может удовлетворять радиально-поршневой гидромотор серии MR размерной группы 300, 350 массой 50, 77 кг. Использование насосов с подачей рабочей жидкости 122 л/мин потребует увеличение на машине емкости баков 3 для гидравлической жидкости до 250–300 л. Повышение мощности гидравлического привода возможно увеличением объема насоса 2 при соответствующем увеличении объема гидромотора 12 и емкости бака 3 для гидравлической жидкости. Возможна установка систем охлаждения гидравлической жидкости, которая позволит уменьшить объем бака 3.

Позиционирование и управление режимом работы роторного рабочего органа траншейной машины ТМК-2 осуществляется гидроцилиндрами 14, 15, гидромотором 12 и трехпозиционными гидрораспределителями 13, 11 (см. рис. 9, а). Позиционирование отвала бульдозера осуществляется гидроцилиндрами 6, 7 трехпозиционным гидрораспределителем 8.

Траншейная машина ТМК-2 не работает одновременно с бульдозерным оборудованием и роторным рабочим органом, поскольку инженерный колесный тягач ИКТ не обеспечит необходимого тягового усилия, а оператор – оптимального режима управления обоими видами оборудования. Изменение режима работы ТМК-2 обеспечивает трехпозиционный гидрораспределитель 9. При позиционировании отвала бульдозера гидрораспределитель 9 переводится в третью позицию (на рис. 9, а нижнюю), насос 2 подает рабочую жидкость в рабочие полости гидроцилиндров 6, 7.

При работе роторного рабочего органа отвал бульдозера поднимается в верхнее положение посредством гидрораспределителя 8. При одновременной работе гидромотора 12 и гидроцилиндров 14, 15 привода и позиционирования роторного рабочего органа гидрораспределитель 9 переводится в первую позицию (на рис. 9, а верхнюю) и рабочая жидкость насоса 2 подается в рабочие по-

лости гидромотора 12 и гидроцилиндров 14, 15 через делитель потока 10. Делитель потока 10 обеспечивает независимую работу контуров гидромотора 12 и гидроцилиндров 14, 15. При работе гидромотора 12 привода роторного рабочего органа при неизменном его положении, либо позиционировании остановленного роторного рабочего органа гидрораспределитель 9 переводится во вторую позицию, и насос 2 работает с одним из этих контуров.

Механизм подъема и опускания роторного рабочего органа траншейной машины БТМ-3 предназначен для перевода рабочего органа из транспортного положения в рабочее и обратно, а также для регулирования глубины траншеи. Для привода лебедки подъема и опускания роторного рабочего органа может быть применен радиально-поршневой гидромотор 16 (см. рис. 9, б) серии MR размерной группы 160, 190 массой 46 кг.

При одновременной работе гидромоторов 12, 16 привода и позиционирования роторного рабочего органа гидрораспределитель 9 переводится в первую позицию (на рис. 9, б верхнюю) и рабочая жидкость насоса 2 подается в рабочие полости гидромоторов 12, 16 через делитель потока 10. Делитель потока 10 обеспечивает независимую работу контуров гидромоторов 12, 16. При работе гидромотора 12 привода роторного рабочего органа при неизменном его положении, либо позиционировании остановленного роторного рабочего органа гидромотором 16 привода лебедки, гидрораспределитель 9 переводится во вторую позицию, и насос 2 работает с одним из этих контуров.

При встрече роторного рабочего органа с препятствием при работе его, либо позиционировании, клапаны, установленные в напорных магистралях гидромоторов 12, 16 снижают динамическую нагрузку роторного рабочего органа и насоса 2. Реверсирование роторного рабочего органа, необходимое при встрече с препятствием, обеспечивается гидрораспределителем 11.

Все перечисленные алгоритмы работы гидропривода рабочего оборудования траншейных машин ТМК-2, БТМ-3 заложены в блоке управления 4 насоса 2.

### **Выводы:**

1. Разработаны основные направления модернизации инженерной землеройной техники, стоящей на вооружении инженерных войск Республики Беларусь.
2. Разработанные принципиальные гидравлические схемы отбора мощности на привод рабочего оборудования траншейных машин на базе современной гидравлической аппаратуры позволяют снизить сложность и материалоемкость систем приводов рабочего оборудования.
3. Применение гидравлических приводов рабочих органов траншейных машин позволит улучшить показатели надежности работы траншейных и котлованных машин и исключить поломки приводов при перегрузке рабочего органа, возникающей при взаимодействии режущей кромки рабочего органа с препятствием.

### **Список литературы:**

1. Машины инженерного вооружения: учебное пособие для студентов и курсантов учреждений высшего образования по направлениям специальности 1-36 11 01-04 «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и



оборудование (управление подразделениями инженерных войск)»: в 3 ч. С.В. Кондратьев, А.Я. Котлобай, А.М. Витковский, А.Ю. Рогов; под общ. ред. Ю.Ш. Юнусова. – Минск: БНТУ, 2015. – Ч. 1: Общая характеристика машин инженерного вооружения, средства инженерной разведки, устройства минно-взрывных заграждений и преодоление заграждений. – 2015. – 376 с.

2. Машины инженерного вооружения: учебное пособие для студентов и курсантов учреждений высшего образования по направлениям специальности 1-36 11 01-04 «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование (управление подразделениями инженерных войск)»: в 3 ч. Ч. 2: Мостовые, мостостроительные и переправочные средства / С.В. Кондратьев, А.Я. Котлобай, А.М. Витковский, А.А. Барташевич; под общ. ред. Ю.Ш. Юнусова. – Минск: БНТУ, 2016. – 353 с.

3. Леонович, И.И. Машины для строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог: учебник / И.И. Леонович, А.Я. Котлобай. – Мн.: БНТУ, 2005. – 552 с.

4. Строительные машины: Справочник: В 2 т. Т. 1: машины для строительства промышленных, гражданских сооружений и дорог / А.В. Раннев, В.Ф. Корелин, А.В. Жаворонков и др.; Под общ. ред. Э.Н. Кузина. – 5-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1991. – 496 с.

5. Каталог гидравлики. ОАО «Пневмостроймашина». Издание №2. – Екатеринбург, 2005. – 134 с.

6. Котлобай, А.Я. Формирование направлений модернизации землеройных машин / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В.Ф. Тамело // Наука и техника. 2013. № 5. – С. 54–59.

7. Котлобай, А.Я. Анализ направлений и возможностей модернизации инженерной техники Вооруженных Сил / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В.Ю. Шляхтун, В.Ф. Тамело // Наука и военная безопасность. – 2014. – № 1. – С. 27–30.

8. Ольшанский, А.В. Машины инженерного вооружения. Часть I. Общая характеристика. Машины для преодоления разрушений и механизации земляных работ: учебник для курсантов военных училищ инженерных войск / А.В. Ольшанский, Н.Ф. Федотов, Н.Г. Бородин, В.П. Трянин и др.; Под ред. А.В. Ольшанского. – М.: Военное издательство, 1986 – 422 с.

9. Гидравлическая система землеройной машины: пат. 20084 С1 Респ. Беларусь, МПК F 16H 61/38 (2006.01), F 15B 21/00 (2006.01), F 02F 5/00 (2006.01) / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, Ю.Ш. Юнусов, В.Ф. Тамело; заявитель Белорусский национальный технический университет. – № а 20121389; заявл. 2012.10.03; опубл. 2016.04.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2016. – № 2.

10. Гидравлическая система рабочего оборудования землеройной машины: пат. 9664 U Респ. Беларусь, МПК F 16H 61/44 (2006.01) / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В.Ф. Тамело, С.В. Григоренко; заявитель Белорусский национальный технический университет. – № u 20130401; заявл. 2013.05.08; опубл. 2013.10.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 5.

11. Коробкин, В.А. О перспективных направлениях создания гидравлических агрегатов приводов строительных и дорожных машин / В.А. Коробкин, А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В.Ф. Тамело // Наука и техника. 2012. №6. – С. 71 – 76.

## НАПРАВЛЕНИЯ СНИЖЕНИЯ МАТЕРИАЛОЕМКОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ МАШИН

**Котлобай А.Я., Котлобай А.А., Грубеляс В.В.**

*Военно-технический факультет БНТУ, Минск.*

Эффективность работы инженерной машины напрямую зависит от числа рабочих органов, одновременно выполняющих технологические операции. При невозможности объединения необходимого технологического оборудования в одной специализированной машине, комплект дополняют специализированные, либо универсальные технологические машины, выполняющие отдельные технологические операции, увеличивая приведенные затраты на проведение всего комплекса работ.

В настоящее время наиболее перспективным типом передачи мощности от двигателя к рабочему оборудованию инженерных машин, является объемный гидропривод ходового и рабочего оборудования. При реализации много-моторных приводов ведущие компании – производители гидравлической аппаратуры не уделяют внимания поиску новых принципов и развитию конструкций делителей–сумматоров потоков рабочей жидкости насосов, предпочитая выпуск более материалоемких и дорогих многопоточных насосов, насосных агрегатов и делителей потока объемного типа, на базе освоенных в производстве насосов и гидромоторов.

При оценке материалоемкости инженерной машины исходим из того, что общая материалоемкость машины формируется за счет суммирования материалоемкости всех комплектующих агрегатов. Анализ состояния вопроса показал, что основные технические решения по наиболее востребованным типам инженерных машин отработаны. Разработки проводятся в направлении оптимизации параметров рабочего оборудования и гидравлических систем отбора мощности на привод рабочих органов. Рассмотрим материалоемкость насосного агрегата – основной составляющей системы отбора мощности на привод ходового и рабочего оборудования.

Основным параметром насосного агрегата является его рабочий объем. Оценим материалоемкость насосного агрегата относительным параметром – удельной массой насосного агрегата:

$$m_{yo} = \frac{M_n}{q_n}, \quad m_{yocp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_{yoi},$$

где  $m_{yo}$  – удельная масса насосного агрегата, кг/м<sup>3</sup>;  $M_n$  – масса насосного агрегата без рабочей жидкости, кг;  $q_n$  – номинальный рабочий объем насосного агрегата, м<sup>3</sup>;  $i, n$  – номер и число анализируемых насосных агрегатов.



Таблица 1 – Материалоемкость насосных агрегатов

Параметр	Насос нерегулируемый типа НШ [1]							
	10У-3	16Г-3	32УК-3	50А-3	100А-3	250-4		
$q_n$ , 10-6 м3	10	16	32	50	100	250		
$M_n$ , кг	1,9	2,9	4,0	7,1	16,5	43,6		
$m_{y\phi}$ , 10-6 кг/м3	0,19	0,18	0,13	0,14	0,17	0,17		
$m_{y\phi.c.p.}$ , 10-6 кг/м3	0,16							
Параметр	Насос аксиально-поршневой нерегулируемый [2]							
	типа 210		типа 310					
	12	28	28	56	80	112	160	250
$q_n$ , 10-6 м3	11,6	28,1	28,0	56,0	80,0	112,0	160,0	250,0
$M_n$ , кг	4,0	8,1	9,0	17,0	19,2	29,0	45,0	65,0
$m_{y\phi}$ , 10-6 кг/м3	0,34	0,29	0,32	0,30	0,24	0,26	0,28	0,26
$m_{y\phi.c.p.}$ , 10-6 кг/м3	0,29							
Параметр	Насос аксиально-поршневой регулируемый [2], [3]							
	типа 207		типа 313					
	55	55	56	107	112	160	250	
$q_n$ , 10-6 м3	54,8	55,0	56,0	107,0	112,0	160,0	250,0	
$M_n$ , кг	30,0	24,0	22,0	40,0	37,5	55,0	85,0	
$m_{y\phi}$ , 10-6 кг/м3	0,55	0,44	0,39	0,37	0,33	0,34	0,34	
$m_{y\phi.c.p.}$ , 10-6 кг/м3	0,55	0,37						
Параметр	Насос аксиально-поршневой регулируемый многопоточный [4], [5]							
	на базе насосов типа 207				на базе насосов типа 313			
	223.20	223.25	321.224А		323.20	333.20		
$q_n$ , 10-6 м3	54,8+54,8	107+107	112+112		56+56	56+56+28		
$M_n$ , кг	162,0	320,0	280,0		90,0	100,0		
$m_{y\phi}$ , 10-6 кг/м3	1,48	1,50	1,25		0,80	0,71		
$m_{y\phi.c.p.}$ , 10-6 кг/м3	1,41					0,76		
Параметр	Насос аксиально-поршневой регулируемый двухпоточный «BOSCH-Rexroth» серия А8VO [6]							
	54,8+54,8	80+80		107+107	140+140		200+200	
	82,0	90,0		116,0	146,0		180,0	
$q_n$ , 10-6 м3	0,75	0,56		0,54	0,52		0,45	
$m_{y\phi}$ , 10-6 кг/м3								
$m_{y\phi.c.p.}$ , 10-6 кг/м3	0,56							
Параметр	Агрегат насосный многопоточный [2]							
	333.3.55. 100.220	УНА-4: 333.3.56. 000.660		333.4.107. 100.880	УНА-1: 323.4.112. 120.77		УНА-5: 323.3.112. 020.77	
	55+55+12	56+56+12		107+107+12	112+112		112+112	
$q_n$ , 10-6 м3	74,0	80,0		132,0	138,0		137,0	
$M_n$ , кг	0,62	0,66		0,59	0,62		0,61	
$m_{y\phi}$ , 10-6 кг/м3								
$m_{y\phi.c.p.}$ , 10-6 кг/м3	0,62							

Анализ результатов расчета материалоемкости насосных агрегатов (см. таблица 1) показывает, что усложнение конструктивной схемы приводит к увеличению удельной массы. Так, удельная масса аксиально-поршневого насоса нерегулируемого типа 210, 310 выше удельной массы насоса нерегулируемого типа НШ на 82%. Удельная масса аксиально-поршневого насоса регулируемого типа 313 выше удельной массы насоса нерегулируемого типа 210, 310 на 28%, и аналогично, увеличение удельной массы аксиально-поршневого насоса регулируемого типа 207 выше удельной массы насоса нерегулируемого типа 210, 310 на 90%, что свидетельствует о рациональности конструктивной схемы насоса типа 313 по параметру материалоемкости. Разность значений удельной массы насосов регулируемого и нерегулируемого позволит оценить удельную массу систем регулирования и автоматики насоса.

Многопоточные насосы, широко применяемые в системах приводов ходового и технологического оборудования инженерных машин, имеют различные параметры удельной массы, определяемые конструктивной схемой многопоточного насоса. Удельная масса двухпоточных насосов 223.20, 223.25, 321.224А, созданных на базе насосов типа 207 выше удельной массы насоса однопоточного типа 207 на 156% (удельная масса приводов насосов 0,86), и удельная масса этих насосов выше удельной массы насоса типа 313 на 281%. Удельная масса многопоточных насосов 323.20, 333.20, созданных на базе насосов типа 313 выше удельной массы однопоточных насосов типа 313 на 105% (удельная масса приводов насосов 0,39). Анализ соотношения удельной массы насосов аксиально-поршневых регулируемых двухпоточных «BOCH-Rexroth» серии A8VO и однопоточных насосов серии 313 показал, что удельная масса двухпоточных насосов серии A8VO выше удельной массы насосов типа 313 на 51%.

Удельная масса насосных агрегатов, созданных на базе насосов типа 313, выше удельной массы однопоточных насосов типа 313 на 68% (удельная масса приводов насосов 0,25). Насосные агрегаты создавались в качестве альтернативы многопоточных насосов 223.20, 223.25, 321.224А.

Рассмотрим связь материалоемкости насосного агрегата с рыночной стоимостью. За основу примем уровень цен насосных агрегатов, предлагаемых дилерской сетью производителей гидравлической аппаратуры России [7]. Оценим стоимость насосного агрегата – удельной стоимостью:

$$c_{yo} = \frac{C_n}{q_n}, \quad c_{ydep} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_{yoi},$$

где  $c_{yo}$  – удельная стоимость насоса (насосного агрегата), RUR/м<sup>3</sup>;  $C_n$  – стоимость насоса (насосного агрегата) без рабочей жидкости, RUR.



Таблица 2 – Стоимость насосных агрегатов

Параметр	Насос нерегулируемый типа НШ					
	10У-3	16Г-3	32УК-3	50А-3	100А-3	250-4
цена с НДС, RUR	860	1388	1428	3243	5001	26124
$c_{yo}$ , 10-6 RUR/м3	86,0	86,8	44,6	64,9	50,0	104,5
$c_{yo,cr}$ , 10-6 RUR/м3	86,4		53,2			104,5
$c_{yo,cr}$ , 10-6 RUR/м3	72,8					
Параметр	Насос аксиально-поршневой нерегулируемый типа 310					
	28	56	80	112	160	250
цена с НДС, RUR	18585	17200	24520	26670	59991	82600
$c_{yo}$ , 10-6 RUR/м3	663,8	362,4	361,7	281,0	374,9	330,4
$c_{yo,cr}$ , 10-6 RUR/м3	663,8	342,1				
$c_{yo,cr}$ , 10-6 RUR/м3	412,4					
Параметр	Насос аксиально-поршневой регулируемый типа 313					
	55	56	107	112	160	250
цена с НДС, RUR	53808	53808	73455	73455	100064	142308
$c_{yo}$ , 10-6 RUR/м3	978,2	960,9	686,5	655,8	625,4	569,2
$c_{yo,cr}$ , 10-6 RUR/м3	970,0		634,2			
$c_{yo,cr}$ , 10-6 RUR/м3	746,0					
Параметр	Насос аксиально-поршневой регулируемый двухпоточный					
	223.25			321.224А		
цена с НДС, RUR	195450			195450		
$c_{yo}$ , 10-6 RUR/м3	913,1			872,5		
$c_{yo,cr}$ , 10-6 RUR/м3	892,8					
Параметр	Агрегат насосный многопоточный					
	333.3.55. 100.220	УНА-4: 333.3.56. 000.660	333.4.107. 100.880	УНА-1: 323.4.112. 120.77	УНА-5: 323.3.112. 020.77	
цена с НДС, RUR	159807	142225	253110	191962	200470	
$c_{yo}$ , 10-6 RUR/м3	1309,9	1147,0	1120,0	857,0	895,0	
$c_{yo,cr}$ , 10-6 RUR/м3	1192,3			876,0		
$c_{yo,cr}$ , 10-6 RUR/м3	1065,8					

Анализ результатов расчета (см. таблица 2) показывает, что усложнение конструктивной схемы приводит к увеличению удельной стоимости. Удельная стоимость аксиально-поршневого насоса нерегулируемого типа 210, 310 выше удельной стоимости насоса типа НШ на 466%. Удельная стоимость аксиально-поршневого насоса регулируемого типа 313 различна для насосов разного объема и превышает удельную стоимость насоса нерегулируемого типа 310 на 80,9% (удельная стоимость системы управления и автоматики насоса составляет  $333,6 \cdot 10^{-6}$  RUR/м<sup>3</sup>). Удельная стоимость двухпоточных насосов 223.25,

321.224А превышает удельную стоимость насосов однопоточных типа 313 данного объема на 40,8%, и удельную стоимость двухпоточных насосных агрегатов УНА-1, УНА-5 на 1,8%. Удельная стоимость двухпоточных насосных агрегатов УНА-1, УНА-5 превышает удельную стоимость насосов однопоточных типа 313 данного объема на 38,1% (удельная стоимость системы приводов насосов составляет  $241,8 \cdot 10^{-6}$  RUR/м<sup>3</sup>). Удельная стоимость трехпоточных насосных агрегатов 333.3.55.100.220, УНА-4, 333.4.107.100.880 превышает удельную стоимость насосов однопоточных типа 313 данного объема на 88,0% (удельная стоимость системы приводов насосов составляет  $317,1 \cdot 10^{-6}$  RUR/м<sup>3</sup>), а также удельную стоимость двухпоточных насосных агрегатов УНА-1, УНА-5 на 36%.

Поиск направлений снижения материалоемкости решается в рамках доработки каждой конкретной инженерной машины. В полноповоротных гидравлических экскаваторах, например, 3-й, и 4-й размерных групп, и ряде других, аналогичных машин, применяются насосы двухпоточные регулируемые серии 223.20, 223.25, 321.224А, 323.20. Резервом рационализации гидравлического объемного привода полноповоротных гидравлических экскаваторов является применение двухпоточных насосных установок на базе одного насоса переменной производительности, оснащенного делителем потока объемного типа (рис. 1) [8].

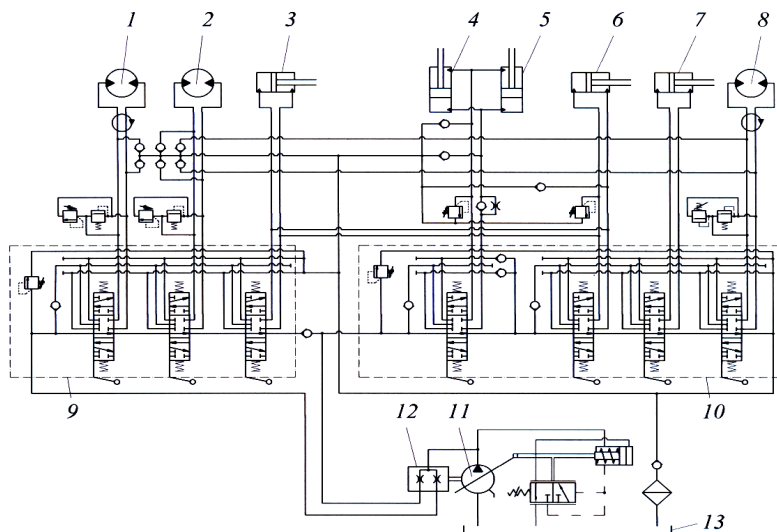


Рисунок 1 – Типовая гидравлическая схема универсального полноповоротного экскаватора на базе однопоточного насоса с делителем потока:

1, 8 – гидромоторы гусеничного хода; 2 – гидромотор поворота платформы;  
3 – гидроцилиндр поворота верхней секции стрелы; 4, 5 – гидроцилиндр подъема-опускания стрелы; 6 – гидроцилиндр поворота рукояти; 7 – гидроцилиндр поворота ковша; 9, 10 – блоки гидрораспределителей; 11 – насос; 12 – делитель потока; 13 – бак





Основу насосной установки (см. рис. 1) составляет однопоточный аксиально-поршневой насос 11, оснащенный делителем потока 12 рабочей жидкости насоса 11. Распределительные устройства образуют два блока 9, 10. Блок гидрораспределителей 9 питается от одной магистрали делителя потока 12, а блок гидрораспределителей 10 – от второй магистрали. При нейтральном положении золотников блока гидрораспределителей 9 поток рабочей жидкости насоса 11 питает исполнительные механизмы, управляемые с помощью блока гидрораспределителя 10. Таким образом, участвующие в рабочем цикле исполнительные механизмы, управляемые с помощью блока гидрораспределителя 9, питаются от одной магистрали делителя потока 12, а в механизмы стрелы, рукояти и ковша, управляемые блоком гидрораспределителей 10, может поступать полный силовой поток рабочей жидкости насоса 11.

Одним из возможных направлений снижения материалоемкости гидравлических систем приводов ходового и технологического оборудования машин может быть создание и использование двухпоточного насосного агрегата, состоящего из однопоточного аксиально-поршневого насоса, например, типа 313, и делителя потока малой материалоемкости [9], интегрированного в конструкцию насоса.

Так, может быть рекомендован двухпоточный насосный моноагрегат в составе насоса 313...250 массой 85 кг и делителя потока, разработанной конструктивной схемы [8]. Экспертная оценка конструктивной схемы делителя потока показывает, что при его создании может быть использован технологический уровень производства шестеренных насосов. При этом, материалоемкость делителя потока данного объема прогнозируется ниже материалоемкости шестеренного насоса. Масса насоса НШ-250-4 составляет 43,6 кг, его стоимость с НДС – 26124 RUR. Масса делителя потока может прогнозироваться на уровне 35 кг, а его стоимость 18200 RUR. Суммарная масса двухпоточного насосного моноагрегата в составе одного насоса серии 313...250 и ДГ составит 120 кг, а его стоимость – 160500 RUR. Такой насосный агрегат может заменить аксиально-поршневые насосы регулируемые двухпоточные 223.25, 321.224А, насосные агрегаты УНА-1, УНА-5 при производстве полноповоротных экскаваторов, например, 4-й размерной группы (рис. 2). Применение двухпоточного насосного моноагрегата в составе насоса серии 313...250 и делителя потока позволит уменьшить массу насосного моноагрегата по сравнению с применяемыми насосными агрегатами УНА-1, УНА-5 на 15%, и стоимость – на (19,6–24,9)%, что при цене УНА-1, УНА-5 – 191962, 200470 RUR обеспечит экономический эффект за счет уменьшения материалоемкости и совершенствования гидравлических агрегатов систем приводов ходового и рабочего оборудования – 31462–39970 RUR.

Выводы: предложены показатели материалоемкости и удельной стоимости многопоточного насосного агрегата системы приводов ходового и технологического оборудования инженерной машины, позволяющие анализировать рациональность принимаемых технических решений насосных агрегатов. Определены направления снижения материалоемкости гидропривода на примере универсального полноповоротного экскаватора.

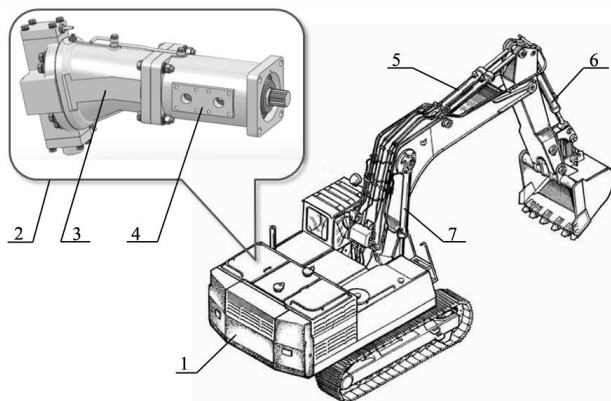


Рисунок 2 – Гидравлический экскаватор с гидравлической системой в составе насоса серии 313...250 и делителем потока: 1 – силовая установка; 2 – насосный агрегат; 3 – насос; 4 – делитель потока; 5, 6, 7 – гидроцилиндры рукояти, ковши, стрелы

#### Список литературы:

1. Применяемость насосов шестеренных, гидрораспределителей. Проспект ОАО «Гидросила». – Кировоград. – 39 с.
2. Каталог гидравлики. ОАО «Пневмостроймашина». Издание № 2. – Екатеринбург, 2005. – 134 с.
3. Гидропневмоавтоматика и гидропривод мобильных машин. Объемные гидро- и пневмомашин и передачи: Учеб. Пособие для вузов / А.Ф. Андреев, Л.В. Барташевич, Н.В. Богдан и др.; Под ред. В.В. Гуськова. – Мн.: «Выш. шк.», 1987. – 310 с.
4. Каталог продукции ЧАО «Стройгидравлика». – Интернет ресурс «Stroygidravlika.com.ua».
5. Аврунин, Г.А. Обзор рынка гидрооборудования / Г.А. Аврунин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2005. – №3. – С. 7–14.
6. BOSCH Rexroth AG. Hydraulics. Axial Piston Variable Double Pump A8VO. Интернет ресурс «www.boschrexroth.com/axial-piston-pumps».
7. Прайс-лист ООО «Компания Драйв» Мобильная и промышленная гидравлика. – Екатеринбург. – Интернет ресурс «drive@r66.ru».
8. Котлобай, А. Я. Развитие объемного гидравлического привода экскаватора / А. Я. Котлобай, А. А. Котлобай, В. Ф. Тамело // Инженер-механик. – 2015. №4 (69). – С. 10–12.
9. Коробкин, В. А. О перспективных направлениях создания гидравлических агрегатов приводов строительных и дорожных машин / В. А. Коробкин, А. Я. Котлобай, А. А. Котлобай, В. Ф. Тамело // Наука и техника. – 2012. № 6. – С. 71–76.



## РЕМОНТ ДЕРЕВЯННЫХ И МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ СТРЕЛКОВОГО ВООРУЖЕНИЯ

**Марданов А.В., Малашков Д.В., Токаревский А.В.**

*УО «Белорусский государственный университет транспорта», Гомель*

Способы ремонта деревянных деталей оружия из-за специфических свойств древесины существенно отличаются от способов ремонта металлических деталей. В то же время ремонт деревянных деталей различных образцов оружия имеет много общего.

К деревянным деталям оружия при выпуске из ремонта предъявляются следующие основные требования:

не допускаются трещины, сколы, пробоины, значительные вмятины и побитости, снижающие прочность и ухудшающие внешний вид оружия. Незначительные потертости лакировки и царапины на оружии после текущего ремонта допускаются;

не допускается поводка, искривление и скручивание длинных деревянных деталей, например, цевья у винтовок и карабинов. Этот дефект проверяется обычно визированием на глаз по ребру желоба и в сборке со стволом;

металлические детали (затылок приклада, антабка и т. п.), крепящиеся к деревянным деталям шурупами, не должны иметь качки, ощутимой пальцами руки, и выступать над деревом приклада (ложи). Шурупы не должны провертыться и выпадать из своих гнезд.

Анализируя работу производственных подразделений в воинских частях Министерства обороны Республики Беларусь, по ремонту стрелкового вооружения прослеживается одна из основных проблематик – это преобладание ручного труда при обработке поверхностей сложных элементов стрелкового вооружения.

В настоящее время для механизации процесса снятия старого защитного покрытия деталей, повышая производительность труда используют пескоструйную очистку деталей оружия. Однако размеры данного оборудования и его стоимость не всегда способны окупить себя очень быстро. Для того, чтобы повысить производительность труда и качество обрабатываемой поверхности деталей предлагается использовать передвижное мобильное универсальное пескоструйное оборудование, изготовленное и внедренное кафедрой общевойсковой подготовки военно-транспортного факультета в учреждении образования «Белорусский государственный университет транспорта» на одной из баз ремонта вооружения в Вооруженных Силах Республики Беларусь. Устройство зарекомендовало себя как удобное, мобильное с высоким качеством обработки поверхности оборудования (рисунок 1).

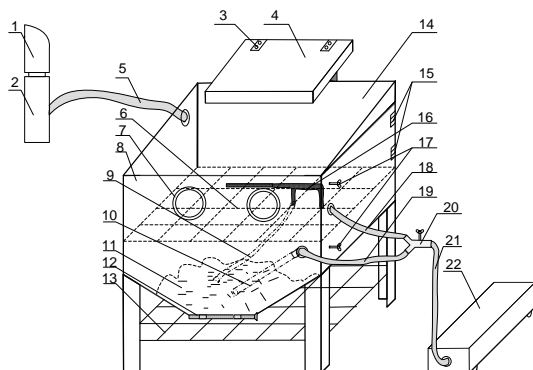


Рис. 1 – Универсальное пескоструйное оборудование:

1 – вытяжка; 2 – мотор (220 В/ 230 В); 3 – кронштейн освещения; 4 – местное освещение (220 В); 5 – гибкий рукав  $\varnothing 50...60$ ; 6 – полка для деталей; 7 – проемы для рук; 8 – корпус оборудования; 9 – гибкий шланг (подающий песок)  $\varnothing 22/14$ ; 10 – трубка для раздутия песка; 11 – кварцевый песок; 12 – рычаг извлечения отработанного песка; 13 – полка ремфонда; 14 – оргстекло; 15 – шарнирная завеса; 16 – пескоструйный пистолет; 17 – винт дверцы; 18 – гибкий шланг  $\varnothing 17/10$ ; 19 – гибкий шланг  $\varnothing 20/14$ ; 20 – тройник регулировки подачи воздуха; 21 – гибкий шланг  $\varnothing 8/5$ ; 22 – передвижная компрессорная установка (380В)

К примеру, затраты времени на снятие старого защитного лакокрасочного покрытия абразивными материалами с одного комплекта 5,45-мм автомата АК-74 составляли 0,3 часа. Применяв универсальное пескоструйное оборудование количество выпускаемой продукции увеличивается в 5 раз. При этом затраты на электроэнергию минимальны (рисунок 2, 3).

Универсальное пескоструйное оборудование осуществляет снятие не только старого лакокрасочного покрытия с деревянных деталей стрелкового вооружения, но и удаляет старое фосфатолаковое и оксидное покрытие в трудно доступных местах, тем самым, исключая работу с вредными химическими элементами (хромоангидридом и соляной кислотой) (рисунок 4–6).

Данное оборудование предназначено для всех видов стрелкового вооружения. Оно значительно компактнее и мобильнее существующих пескоструйных аппаратов. При эксплуатации оборудование очень удобно, позволяет использовать его не только в стационарном ремонтном органе, но и в полевых условиях (передвижных ремонтных мастерских).



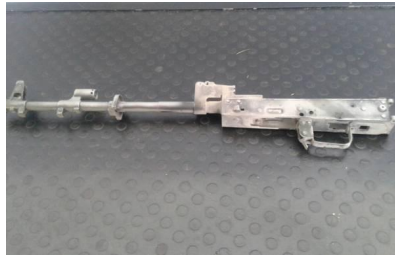
*Рис. 2 – Удаление старого лакокрасочного покрытия на универсальном пескоструйном оборудовании*



*Рис. 3 – Удаление старого лакокрасочного покрытия при помощи электроинструмента и абразивного материала*



*Рис. 4 – Ствольная коробка 5,45-мм автомата АК-74, покрытая коррозией*



*Рис. 5 – Ствольная коробка 5,45-мм автомата АК-74, обработанная универсальным пескоструйным оборудованием*



*Рис. 6 – Комплекты деревянных деталей к 5,45-мм автомату АК-74 до и после снятия старого защитного лакокрасочного покрытия на универсальном пескоструйном оборудовании*

Универсальное пескоструйное оборудование позволит не только повысить качество выпускаемой продукции, но и производительность труда, а также снизить трудозатраты в ремонте деревянных и металлических деталей стрелкового вооружения.

## ВИРТУАЛЬНЫЙ СИМУЛЯТОР ТММ-3

**Миронов Д.Н., Иодо С.В.**

*Военно-технический факультет БНТУ, Минск*

Применение различного рода тренажеров в целом ряде отраслей человеческой деятельности получило чрезвычайно широкое распространение. По мере развития тренажерной техники, с одной стороны и усложнением изучаемых технических решений, с другой, методы имитационного моделирования проникли и во многие другие области человеческой деятельности. К стимулированию тренажерных технологий привела также необходимость обучения большого количества специалистов, обладающих однотипными навыками, для работы на схожем оборудовании. Широко представлены тренажерные технологии в таких сферах, как медицина, транспорт, судовождение, педагогика. В некоторых областях, например, в воздушном транспорте, использование тренажеров является частью учебного процесса, а также процесса аттестации работников [1].

В настоящее время в военных вузах наряду с традиционными создаются новые информационные технологии обучения, в частности, с применением компьютерных виртуальных симуляторов [2].

В компьютерных играх все мультимедийные средства (звук, цвет, освещенность и т. д.) действуют на игрока одновременно, дополняя друг друга, поэтому воздействие на психику играющего усиливается многократно. Поскольку компьютерные видеоигры обладают полным набором таких средств, то они являются практически идеальной формой внушения [3].

Неудивительно, что именно способность оказывать концентрированное воздействие на эмоционально-чувственную психологическую сферу человека (группы людей) предопределило широкое повсеместное внедрение компьютерных игр в процесс боевой подготовки военнослужащих ряда государств.

Наиболее велика роль видеоигр в психологической работе как традиционно важного компонента морально-психологической подготовки военнослужащих. Ее цель — обеспечить эмоционально-волевую устойчивость личного состава к внешним раздражителям в условиях реальной боевой обстановки. Основное преимущество видеоигр заключается в том, что при отсутствии реальной угрозы для жизни и здоровья обучающихся психологические условия виртуальной реальности приближены к боевым, то есть достигается эффект, психологически сравнимый с условиями реального боя. Видеоигры дают возможность приобрести опыт ведения военных операций заблаговременно, без существенных затрат и риска для жизни людей. Кроме того, компьютерные видеоигры внедряются как форма досуга [4, 5].



Рис. 1 – Сравнение фотографии ТММ-3М с его 3d моделью

На кафедре «Военно-инженерная подготовка» создан виртуальный тренажер тяжелого механизированного моста ТММ-3 (рис. 1, 2), который предназначен для устройства мостовых переходов через препятствия шириной до 40 м и глубиной до 3 м с целью пропуска через них колесных и гусеничных нагрузок весом до 60 т.



Рис. 2 – Сравнение фотографии ТММ-3М с его 3d моделью

Комплект моста состоит из четырёх мостоукладчиков с мостовыми блоками и обеспечивает механизированную сборку однопролётных (10.5 м) и многопролётных (до 42 м) мостов.

Создание тренажера - продолжительный и трудоёмкий процесс, состоящий из различных этапов, включающий в себя как технические, так и творческие моменты [6, 7].

При создании тренажера были реализованы и осуществлены следующие этапы и элементы:

1. **Формулирование цели:** - идея, - жанр.
2. **Средство:** - программный код, - игровой движок, - 3d моделирование.
3. **Игровая механика:** - объекты, - управление, - физический движок.
4. **Уровень:** - расстановка объектов (левелдизайн).
5. **Графика:** - 2D, 3D модели, - анимации, - спецэффекты, - оформление экрана и меню (рис.2).
6. **Задачи:** - скрипты, -события.

7. **Звук:** - звуковые эффекты, - музыка.
8. **Отшлифовка:** - сведение материала (alfa-версия), - устранение ошибок (beta-версия).
9. **Издание.**
10. **Внедрение в учебный процесс.**
11. **Поддержка:** - обновления.



*Рис. 3 – Скриншот симулятора*

Первое, что необходимо выполнить – это определиться с целью.

Жанр выбирается в самом начале. Он и будет основным направлением развития игры. Для симулятора это совокупность двух жанров: Strategy (стратегии) и Action (боевика). Выбранный жанр можно немного корректировать по ходу работы, но его сущность должна оставаться прежней. Жанр – это своеобразный фундамент всего проекта. Если его сменить, то проще будет начать разработку заново, чем переделывать то, что уже было наработано.

Материалом, и инструментом игрового проекта является одна и та же сущность – программный код. Код как строительный материал – это цифровые изображения, трехмерные модели, звуки и тексты в виде последовательностей единиц и нулей. Код как инструмент – это команды в строчках программного кода, управляющие игровыми объектами всех перечисленных типов.

Для разработки игры используются готовые программные модули (игровые движки), где уже реализованы базовые функции, способные связать воедино графику, звук, объекты и их движения. **Unity** — наиболее подходящий инструмент для разработки двух- и трёхмерных приложений и игр (рис. 3), в силу наличия бесплатной версии, удобного интерфейса и простоты работы с движком. Он работает под операционными системами Windows и OS X. Созданные с помощью Unity приложения работают под операционными системами





Windows, OS X, Windows Phone, Android, Apple iOS, Linux, а также на игровых приставках Wii, PlayStation 3, PlayStation 4, Xbox 360, Xbox One.

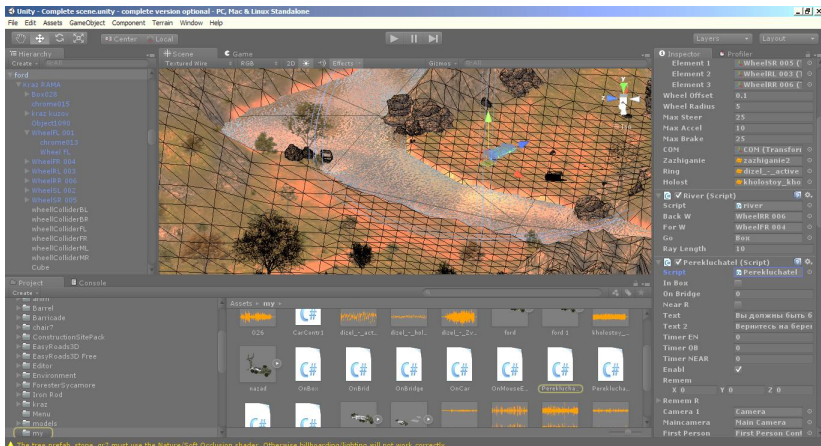


Рис. 4 – Unity 3d

Autodesk 3ds Max (ранее 3D Studio MAX) — полнофункциональная профессиональная программная система для создания и редактирования трёхмерной графики и анимации, доработанная компанией Autodesk (рис. 4), содержит самые современные средства для художников и специалистов в области мультимедиа.

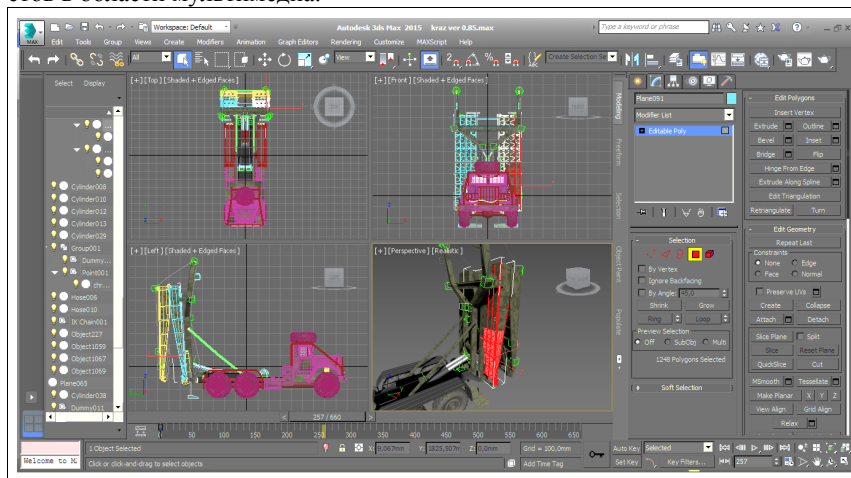


Рис. 5 – Модель создавалась полигональным методом (Editable Poly)

Большинство людей оценивают игры по качеству графики, и не осознают, что такие проекты сохраняют популярность всего несколько месяцев после ре-

лиза. Поэтому главной задачей для исполнителя проекта - создание правдоподобной, простой и удобной механики управления, физики, взаимодействия с интерфейсом и окружением. Чем разнообразнее и интереснее возможности, тем больше студент погружается в обучение. Игровая механика, это свод правил, по которым будет функционировать симулятор.

Если «управление» отвечает за перемещение подконтрольного нам персонажа, то физический движок отвечает за те движения, которые происходят без прямого вмешательства игрока. Эти действия имитируют физические законы реального мира (иногда немного искаженные в силу сложности просчетов). Брошенный мячик отскакивает от пола, опрокинутая бочка скатывается с наклонной поверхности, хрупкий предмет, брошенный с высоты, разбивается – всё это примеры действия физического движка. В готовых игровых движках чаще всего реализованы и физические движки. Останется лишь присвоить объектам уже готовые физические характеристики: вес, плотность, эластичность, разрушаемость. Как уже описывалось выше, расчёты физики в игровом движке Unity производит физический движок PhysX от nVidia.

Визуальные спецэффекты – это, по сути своей, те же анимации, только вместо перемещения объектов в них используются перемещения частиц и светофильтров. Отражение воды, дым, пыль, падающие листья, качание деревьев от ветра – всё это спецэффекты. Без подобных эффектов симулятор будет казаться пресным и слишком обыденным.



*Рис. 6 – Игровая механика вида от 1-ого лица*



*Рис. 7 – Игровая механика вида от 1-ого лица*

Для любого игрового движения нужно добавить соответствующий звук (шум двигателя машины, деревьев, пение птиц, журчание воды, звуки ударов и т.д.). Хорошие звуковые эффекты не только заполняют тишину, но и являются продолжением графического стиля. Чаще всего в качестве звуковых эффектов используются реальные звуки, записанные в цифровом виде, поэтому в интернете есть множество бесплатных коллекций звуковых эффектов, которые и стали частью данной работы.

Когда игра полностью собрана, остаётся лишь устранить получившиеся ошибки (bugs). Они появляются в любом случае, так как игра – это система со сложной структурой. Сами элементы игры наглядны и просты, но связи между ними настолько сложны, что процесс отладки и устранения ошибок может занимать до 40% всего времени разработки проекта. Полностью собранная, но ещё не проверенная на ошибки игра называется бета версией. Поиском ошибок в такого рода проектах занимаются тестеры. Для данного проекта в качестве тестеров выступали студенты военной кафедры и курсанты, обучающиеся на факультете.

С июля 2013 года симулятор тяжелого механизированного моста ТММ-3М широко используется на кафедре военно-инженерная подготовка военно-технического факультете БНТУ, а также общевойсковой кафедрой военного факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы.

Современные информационные технологии (виртуальные технологии) определяются как симбиоз, синтез технологий информатики и управления посредством организованного интеллектуального, когнитивного (основанного на знаниях) диалога человека с компьютером для достижения поставленной цели. Информационные технологии в качестве нового инструмента влияют на общество, обеспечивая высокопроизводительные условия для работы человека.

Виртуальный симулятор должен работать в тех же временных рамках, что и реальное техническое средство, но при умелом и уверенном выполнении действий позволяет сократить время выполнения операций, поэтому за два учебных часа обучаемый имеет возможность до 20 и более раз отработать выполнение заданий, что позволяет довести выполнение операций до автоматизма. Это позволяет сформировать у курсантов профессиональные навыки работы с данным техническим средством, что способствует формированию профессиональных компетенций военных специалистов.

Обучаясь на виртуальных симуляторах, курсанты имеют возможность неоднократно просмотреть обобщенную и систематизированную учебную информацию, полученную из разных источников. При изучении и выполнении операций программные средства позволяют возвращаться к неусвоенным вопросам. Описание каждого действия сопровождается натурным изображением изучаемого объекта, что конкретизирует умозрительное понимание изученного материала.

Каждый из курсантов имеет возможность заниматься с отдельной моделью реального объекта и имитировать выполнение различных технологических операций при эксплуатации индивидуально, без вмешательства других обучаемых, что вырабатывает у них психологическую устойчивость, способствует развитию творческого мышления, воспитывает самостоятельность при принятии инженерно-технических решений в случае экстремальных ситуаций, и в конечном итоге способствует формированию профессиональных компетенций военных специалистов.

Отработав учебные вопросы по эксплуатации на модели с помощью виртуального симулятора, курсанты закрепляют приобретенный навык на реальном техническом средстве. В конце занятия каждый курсант проводит выполнение различных технологических операций на реальном объекте, в процессе чего преподаватель может оценивать уровень приобретенных навыков, определять качество приобретенных знаний и умений по ответам на задания и контрольные вопросы и выставлять оценку. Таким образом изучение материала с применением виртуального симулятора ТММ-3М позволяет повысить у курсантов мотивацию, активность, самостоятельность, интерес у обучаемых к будущей специальности; формирует профессионально значимые качества личности.

### Список литературы:

1. Бабаева, Ю.Д. Диалог с ЭВМ: психологические аспекты / Ю.Д. Бабаева [и др.] // Вопросы психологии. – 1983. – № 2.
2. Бабаева, Ю.Д. Психологические последствия информатизации / Ю.Д. Бабаева, А.Е. Войскунский // Психологический журнал. – 1998. – № 1.
3. Беспалько, В.П. Педагогика и прогрессивные технологии обучения / В.П. Беспалько. – М., 1995.
4. Васильева, И.А. Психологические аспекты применения информационных технологий / И.А. Васильева, Е.М. Осипова, Н.Н. Петрова // Вопросы психологии. – 2002. – № 3.



5. Гершунский, Б.С. Компьютеризация в сфере обучения: проблемы и перспективы / Б.С. Гершунский. – М.: Педагогика, 1987.
6. Калягин, И. Новые информационные технологии и учебная техника / И. Калягин, Г. Михайлов // Высшее образование в России. – 1996. – № 1.
7. Коул, М. Новые информационные технологии, основные навыки и изнанка образования: что следует делать? Социально-исторический подход в психологии обучения / Под ред. М. Коула. – М.: Педагогика, 1989.

УДК 621.396.33

**ОБНАРУЖЕНИЕ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ БИСТАТИЧЕСКИМИ  
РАДИОЛОКАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ В ПОЛЕ ПОДСВЕТА  
ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СПУТНИКОВ****Савенко С.А.<sup>1</sup>, Гладейчук В.В.<sup>2</sup>, Чугай К.Н.<sup>1</sup>**<sup>1</sup>НИИ Вооруженных Сил Республики Беларусь, Минск, <sup>2</sup>Военная академия Республики Беларусь, Минск

*В докладе рассматриваются вопросы использования сигналов телевизионных вещательных спутников в интересах решения задачи обнаружения воздушных объектов.*

Одни из первых попыток решения задачи обнаружения воздушных объектов на основе обработки сигналов телевизионных вещательных спутников предпринимались в середине 80-х годов прошлого века [1]. Результатом явился вывод о «практической непригодности использования сигнала спутникового ретранслятора для локации целей» ввиду малой энергетики транспондеров, однако отмечалась возможность построения так называемых «просветных» систем.

Современное развитие технологий в области спутникового телевидения свидетельствует, что [3]: спутниковые ретрансляторы стали более мощными с энергетической точки зрения (максимальная эквивалентная изотропно излучаемая мощность (ЭИИМ) транспондеров современных спутников составляет более 50 дБВт); в целях повышения качества осуществлен переход к использованию сигналов в цифровой форме и, как следствие, внедрению других методов модуляции.

В результате существуют вполне обоснованные предпосылки для применения принципов бистатической радиолокации в интересах решения задачи обнаружения воздушных объектов в поле подсвета телевизионных спутников. Предполагаемый вариант наблюдения воздушного объекта [3] в этом случае представлен на рисунке, где спутниковый ретранслятор располагается на геостационарной орбите, не требуется система слежения за спутником, достигается сравнительно высокая стабильность уровня сигнала подсвета и не проявляется по отношению к спутнику эффект Доплера.

В области спутникового вещания широко используются диапазоны *C* (3,7–4,2 ГГц) и *Ku* (10,7–12,75 ГГц).

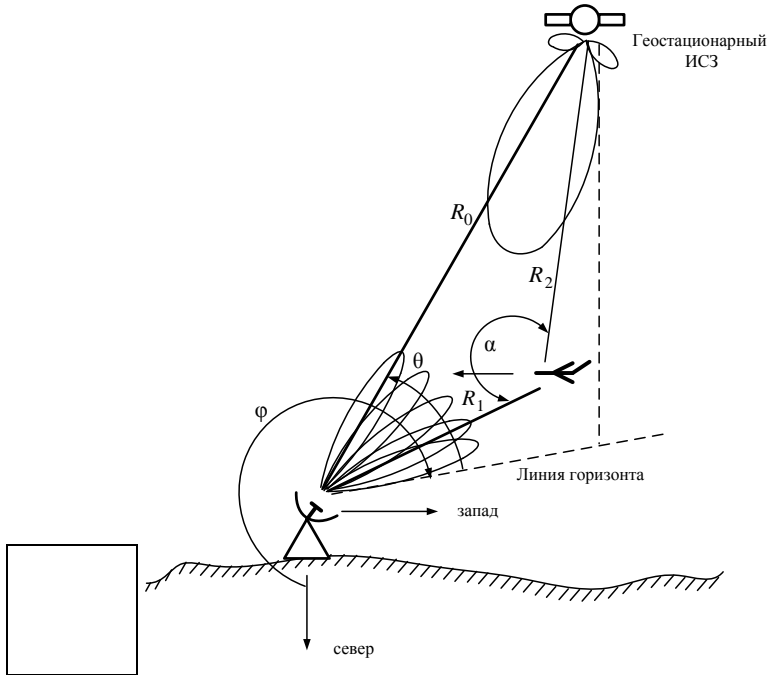


Рис. – Бистатическая радиолокационная линия

Исходным для оценки дальности действия приведенной системы является уравнение радиолокации для произвольной бистатической радиолокационной системы [2]:

$$P_c = \frac{P_1 G_1 G_2 \lambda^2 \sigma(\alpha)}{(4\pi)^3 R_1^2 R_2^2 L_{доп}}, \quad (1)$$

где  $P_c$  – мощность сигнала на входе приемника радиолокационной системы;  $P_1$  – мощность спутникового ретранслятора;  $G_1$  – коэффициент усиления антенны спутникового ретранслятора;  $G_2$  – коэффициент усиления антенны приемной радиолокационной системы;  $L_{доп}$  – дополнительные потери на трассе «спутник – объект – приемная радиолокационная система»;  $\sigma(\alpha)$  – эффективная поверхность рассеяния объекта.

Из выражения (1) можно получить максимальную дальность обнаружения:

$$R_{1, макс} = \sqrt{\frac{P_1 G_1 G_2 \lambda^2 \sigma(\alpha)}{(4\pi)^3 R_2^2 L_{доп} P_{с. треб}}}, \quad (2)$$

где  $P_{с. треб}$  – минимально необходимая мощность отраженного сигнала на входе приемника радиолокационной системы.

Проведенный анализ реализации возможностей, как необходимых условий наблюдения ( $L_{доп}$ ), так и технических ( $P_{с. треб}$ ) показал [3, 4]:

наиболее целесообразно использовать сигналы спутников *Ku*-диапазона, так как они обладают более мощными транспондерами (ЭИИМ 50÷60 дБВт) и возможно применять менее габаритные приемные антенны в бистатистических радиолокационных системах, кроме этого в направлении территории Республики Беларусь спутники расположены на следующих позициях восточной долготы: 5,2°; 13°; 19,2°; 28,2°; 36°;

оценка максимального значения дополнительных потерь для искусственных спутников земли расположенных в приведенных выше позициях не превышает  $L_{\text{доп}} < 4 \text{ дБ}$ ;

минимально необходимая мощность отраженного сигнала на входе приемника РЛС для решения задачи обнаружения должна составлять не более  $10^{-19} \text{ Вт}$ , что обеспечивает дальность обнаружения воздушного объекта ( $\sigma(\alpha) \approx 1 \text{ м}^2$ ) в районе 3 км.

### **Выводы:**

Полученные результаты подтверждают состоятельность технических решений, отражаемых в принципах работы предлагаемой бистатистической радиолокационной системы, и свидетельствуют о возможности скрытного решения задачи обнаружения воздушных объектов. При этом требуемый уровень минимально необходимой мощности отраженного сигнала на входе приемника радиолокационной системы  $\sim 10^{-19} \text{ Вт}$ , уже на протяжении порядка тридцати лет реализуется в радиолокационных приемниках.

В тоже время, основываясь на принципах построения бистатистических радиолокационных систем, характер зоны обнаружения бистатистической РЛС с телевизионным спутниковым подсветом описывается овалами Кассини [2, 5], форма которых зависит, как от особенностей технической реализации, так и от условий наблюдения.

### **Список литературы:**

1. Кондратенко, А.П. Автореферат докторской диссертации. Харьков: ВИРТА ПВО, 1996. – 48 с.
2. Охрименко, А.Е. Основы обработки и передачи информации. Минск: МВИЗРУ, 1990. - 180 с.
3. Савенко, С.А. Анализ возможности обнаружения воздушных объектов бистатистическими системами в поле подсвета телевизионных спутников/ С.А. Савенко, В.В. Гладейчук, Д.В. Заневский //Наука и военная безопасность. – № 2 (49). – 2016. – С. 9-12.
4. Спутниковая связь и вещание. Справочник. Под ред. Л.Я. Кантора. М.: Радио и связь, 1997. – 528 с.
5. Аверьянов, В.Я. Разнесенные радиолокационные станции и системы. Минск: Наука и техника, 1978. – 183 с.





## МАШИНА ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОМОЩИ НА БАЗЕ АВТОМОБИЛЯ УАЗ-390945

**Тарасенко П.Н.**

*Военно-технический факультет БНТУ, Минск.*

Передвижные аварийно-ремонтные мастерские имеют широкую область применения. Они незаменимы при обслуживании строительных объектов, проведения ремонтно-восстановительных работ спецтехники, грузовых и легковых автомобилей и т. д. Передвижная автомастерская позволяет выполнять ремонтные работы непосредственно на месте аварии, без сложной и дорогостоящей транспортировки пострадавшего транспортного средства в автосервис.

В настоящее время во многих странах разработаны и широко используются мобильные мини авторемонтные мастерские на базе автомобилей УАЗ, Mercedes, Fiat и др., сочетающие в себе возможность доставки ремонтной бригады с автономно работающим инструментом и оборудованием для проведения аварийных и планово-ремонтных работ в городских и полевых условиях.

Для восстановления военной автомобильной техники в местах выхода ее из строя, как в мирное, так и военное время далеко не всегда с экономической точки зрения целесообразно использовать подвижные мастерские МТО-АТ-М1 и мастерские MPC-АТ-М1 из состава ПАРМ-1М1 и ПАРМ-3М1, базирующие на автомобилях ЗИЛ-131.

Одним из направлений увеличения количества восстанавливаемых машин, вышедших из строя в ходе войсковых учений и боевых действий, может стать восстановление их в местах выхода из строя выездными бригадами, перемещаемыми в машинах технической помощи на базе автомобилей УАЗ.

С этой целью для Вооруженных Сил Республики Беларусь на 288 БРА была создана машина технической помощи на базе автомобиля УАЗ-452 (рисунок 1), предназначенная для восстановления поврежденной техники в местах выхода ее из строя [1]. Экипаж машины пять человек: водитель, три слесаря и один сварщик, для размещения которых в кузове автомобиля УАЗ-452 за салоном водителя и пассажира дополнительно оборудован пассажирский отсек, разделенный с рабочим отсеком вваренной металлической перегородкой.

В рабочем отсеке кузова машины – размещается следующее технологическое оборудование, приспособления и инструменты [1]:

бензиновый генератор Калибр БСЭГ-5511А;

сварочный инвертор Oliver MMA-200;

компрессор масляный Калибр KM-2100/50;

дрель DeWALT DWB-115S-QS;

машинка отрезная DeWALT большая 2200 Вт и малая 1400 Вт;

набор приспособлений и съемников из мастерской MPC-АТ-М1;

набор инструмента STELS и набор инструментов М-211;

набор сверл, плашек, метчиков, электродов, отрезных кругов, измерительного инструмента.

В качестве основных недостатков машины технической помощи на базе автомобиля УАЗ-452 следует отметить:

- малые габариты рабочего отсека, ограничивают набор технологического оборудования для ремонта машин в полевых условиях;
- отсутствие оборудования для диагностики автомобиля;



Рис. 1 – Машина технической помощи на базе автомобиля УАЗ-452

ограничена возможность транспортировки ремонтных комплектов №1 и других запасных частей и материалов для восстановления работоспособности поврежденных машин в полевых условиях.

В России на базе автомобиля УАЗ-390945 (4×4) и пятиместной кабиной создана «Аварийно-ремонтная летучка» [2] для устранения локальных аварий и проведения ремонтно-профилактических работ в сфере жилищно-коммунального хозяйства (рисунок 2).

В каркасном кузове-фургоне мастерской размещается: электрическая лебедка с тяговым усилием 3,5 т., слесарной верстак, тумба с антресолю и выдвижными ящиками для размещения инструмента, стеллаж для оборудования, выкатная конструкция кислородного баллона, конструкция крепления баллона с пропаном, поворотная кран-укосина с цепной талью 0,5 т.

Основным оборудованием аварийно-ремонтной летучки является: электростанция АДП10-Т400/230ВЛ-БС, сварочный агрегат с генератором переменного тока 5 кВт, пост газосварки, мотопомпа, компрессор, сверлильный станок до 16 мм, электроточило – 250 мм, а также слесарные тиски, комплект шанцевого инструмента, набор сверл, плашек, метчиков, электродов, отрезных кругов, измерительного инструмента.

Однако применение «Аварийно-ремонтной летучки», предназначенной для устранения локальных аварий и проведения ремонтно-профилактических работ в сфере жилищно-коммунального хозяйства, для восстановления военной автомобильной техники в полевых условиях затруднительно без предварительного ее переоснащения технологическим оборудованием, приспособлениями, съемниками, специальным инструментом и комплектами запасных частей и материалов.

На основании проведенного анализа предлагается разработать машину технической помощи для Вооруженных Сил Республики Беларусь, включающую следующие составляющие элементы:



базовое шасси – автомобиль УАЗ-390945;

раскрывающийся каркасный кузов-фургон, изготовленный на отечественном предприятии «МАЗ-КУПАВА»;

новое технологическое оборудование, располагаемое в каркасном кузове-фургоне мастерской.

В качестве технологического оборудования рекомендуем использовать:

электростанцию АДП10-Т400/230ВЛ-БС, мощностью 10,0 кВА [2];

сварочный агрегат с генератором переменного тока 5 кВт, пост газосварки, компрессор Aurora GALE-50, сверлильный станок до 16 мм, электро-точило – 250 мм, слесарные тиски, комплект шанцевого инструмента [2];

пускозарядное устройство NIKKEY DFC 650 [3];

стробоскоп мотор-тестер Multitronics Focus F10 для проверки и регулировки характеристик систем зажигания, диагностики систем питания и газораспределения бензиновых и дизельных двигателей [4];

прибор Э214 для проверки электрооборудования автомобилей [5];

прибор для проверки свечей зажигания Э203-П и приспособление для очистки свечей зажигания Э203-О [6];



Рис. 2 – Аварийно-ремонтная летучка на базе автомобиля УАЗ-390945:

1 – автомобиль УАЗ-390945; 2 – кузов-фургон; 3 – раскрывающаяся задняя стенка кузова-фургона; 4 – раскрывающиеся боковые стенки кузова-фургона

стенд М-106Э для испытаний и регулировок форсунок двигателей [7];

пневматический ударный гайковерт AIW1355 [8];

пневмощуруповерт прямой Sumake ST-4469 [9];

угловую пневмошлифмашину Sumake ST-7741 [10];

электровулканизатор для ремонта камер и шин [11];

нагнетатель смазки электрический С321-М [12];

набор приспособлений и съемников из мастерской MPC-AT-M1;

набор инструмента STELS и набор инструментов М-211;

набор сверл, плашек, метчиков, электродов, отрезных кругов, измерительного инструмента.

Кроме того, укомплектовать машину технической помощи запасными частями и материалами для восстановления работоспособности поврежденных машин в полевых условиях.

При комплектовании машины технической помощи техническими средствами (технологическим оборудованием, приспособлениями и инструментом) в первую очередь учитывали необходимость его при устранении отказов и проведении несложного текущего ремонта военной автомобильной техники в полевых условиях, а также выполнения следующих ограничений [13]:

1. Общее энергопотребление техническими средствами, не должно превышать вырабатываемого электростанцией АДП10-Т400/230ВЛ-БС и генератором переменного тока сварочного агрегата

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} d_{ij} \leq k A_0. \quad 1)$$

2. Суммарный объем, занимаемый техническими средствами не должен превышать объема кузова-фургона

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n v_{ij} d_{ij} \leq V_0. \quad 2)$$

3. Общая масса технических средств не должна превышать грузоподъемности автомобиля УАЗ-390945

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n g_{ij} d_{ij} \leq G_0. \quad 3)$$

4. На каждом  $i$ -м посту может быть использовано только одно  $j$ -е средство

$$\sum_{j=1}^n d_{ij} = 1, i = 1, 2, \dots, m. \quad 4)$$

где  $m$  – количество постов, на которые необходимо выбрать технические средства;

$n$  – количество отдельных средств на каждый пост;

$a_{ij}$ , – потребляемая мощность  $j$ -го средства при эксплуатации на  $i$ -м посту;

$v_{ij}$ ,  $i=1, 2, \dots, m, j=1, 2, \dots, n$  – объем  $j$ -го средства для  $i$ -го поста;

$g_{ij}$ ,  $i=1, 2, \dots, m, j=1, 2, \dots, n$  – масса  $j$ -го средства для  $i$ -го поста;

$A_0$  – допустимое энергопотребление совокупности оборудования машины технической помощи;

$k$  – коэффициент спроса, учитывающий неодновременность работы потребителей электроэнергии, в расчетах принимаем  $k=0,5-0,75$ ;



$V_0$  – максимальный имеющийся объем кузова-фургона для технических средств машины технической помощи;

$G_0$  – максимальная установленная масса для технических средств машины технической помощи;

$d_{ij}$ ,  $i=1, 2, \dots, m$ ,  $j=1, 2, \dots, n$  – булева переменная, принимающая значение 1, если  $j$ -е средство используется на  $i$ -м посту, и 0 – в обратном случае.

Предложенная машина технической помощи на базе автомобиля УАЗ-390945 обеспечит оперативное устранение неисправностей и проведение несложного текущего ремонта военной автомобильной техники в местах выхода ее из строя, как в мирное, так и военное время.

Однако существенным недостатком предлагаемой машины технической помощи является неустойчивая работа оборудования, питаемого от электрической сети ее генератора, и персонала во время атмосферных осадков (дождь, снег), что приводит к запрещению или ужесточению требований к используемому оборудованию, снижает производительность труда персонала и оперативность выполнения ремонтных работ в полевых условиях.

Для обеспечения устойчивой и эффективной работы оборудования и персонала машины технической помощи во время атмосферных осадков предложено дополнительно оборудовать ее боковым навесом, включающим [14]:

два телескопических соединения – 5 (рисунок 3) из трех труб, свободные выдвигаемые концы которых соединены с угловыми насадками – 6 и между собой поперечной трубой – 7, закрепленные с помощью кронштейнов на правой раскрывающейся внутренней боковой стенке – 4 кузова-фургона – 2 (рисунок 2);

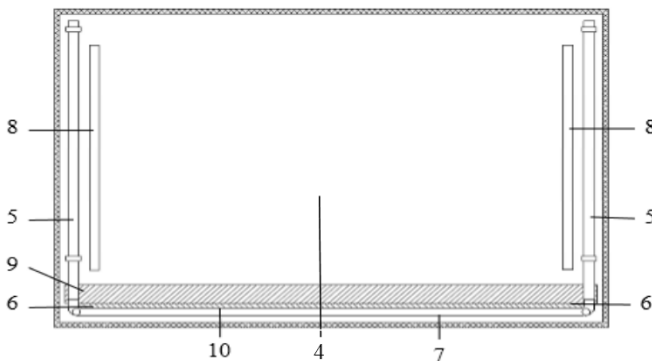


Рис. 3 – Вид снизу на правую открытую боковую стенку кузова-фургона:

4 – правая боковая стенка кузова-фургона; 5 – телескопическое соединение из трех труб; 6 – угловая насадка; 7 – поперечная труба; 8 – телескопическая стойка; 9 – металлический каркас; 10 – тент

две телескопические стойки – 8 из двух труб, соединяемые при установке навеса одним концом с угловыми насадками – 6 телескопически выдвигаемых труб, другим опираются на почву (рисунок 3 и 4);

металлический каркас – 9 с упакованным тентом – 10 в виде сплошного покрытия из непромокаемого полотна или пленки (рисунок 3 и 4).

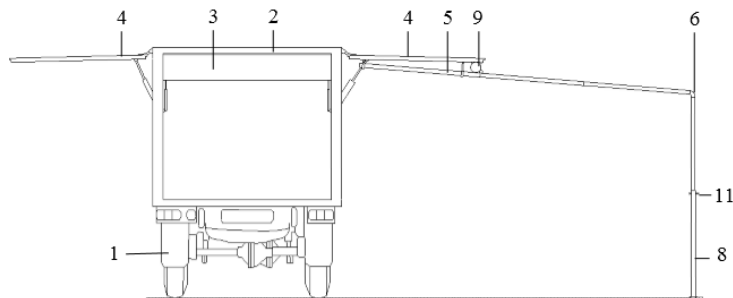


Рис. 4 – Конструкция навеса в собранном виде без укрытия его тентом:

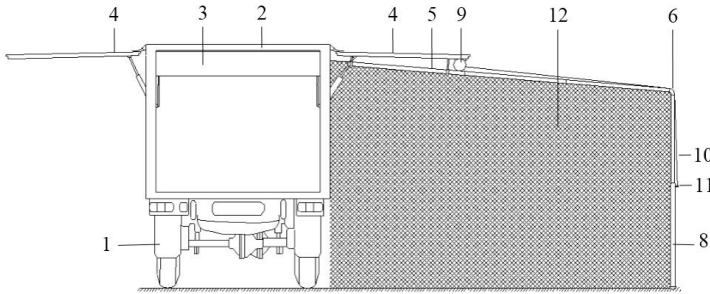
1 – автомобиль УАЗ-390945; 2 – кузов-фургон; 3 – раскрывающаяся задняя стенка кузова-фургона; 4 – раскрывающиеся боковые стенки кузова-фургона; 5 – телескопическое соединение из трех труб; 6 – угловая насадка; 8 – телескопическая стойка; 9 – металлический каркас; 11 – фиксатор

По прибытию машины технической помощи, к месту дислокации вышедшего из строя автомобиля, базовый автомобиль УАЗ-390945 – 1 с установленным на нем кузовом-фургонном – 2 (рисунок 2) размещается по отношению к ремонтируемому автомобилю в пределах доступа энергетического и технологического оборудования.

Раскрываются задняя стенка – 3 и боковые стенки – 4 (рисунок 2) и с помощью энергетического и технологического оборудования, размещенного внутри фургона, персонал выполняет ремонт неисправного автомобиля.

Во время атмосферных осадков (дождь, снег), обслуживающий персонал машины технической помощи прилагаяемым усилием к поперечной трубе – 7 (рисунок 3), раздвигает, расположенные на правой раскрытой боковой стенке – 4 два телескопически соединения – 5. Снимает две телескопические стойки 8, устанавливает их в вертикальное положение с опорой на грунт и соединяет выдвижную трубу с угловыми насадками – 6 (рисунок 4). Затем вытягивают тент – 10 (рисунок 5), упакованный в металлическом каркасе – 9, накрывают им собранную конструкцию навеса из телескопических труб и стоек и закрепляют конец тента фиксаторами – 11 телескопических стоек 8.

В случае бокового дождя или снега с наветренной стороны к раздвинутому телескопическому соединению – 5 из трех труб и телескопической стойке – 8 крепиться дополнительный боковой тент – 12, транспортируемый в кузове-фургоне машины технической помощи (рисунок. 5). Крепление нижних кромок тента может быть выполнено в виде костылей, забиваемых в землю.



*Рис. 5 – Конструкция навеса в собранном виде: 1 – автомобиль УАЗ-390945; 2 – кузов-фургон; 3 – раскрывающаяся задняя стенка кузова-фургона; 4 – раскрывающиеся боковые стенки кузова-фургона; 5 – телескопическое соединение из трех труб; 6 – угловая насадка; 8 – телескопическая стойка; 9 – металлический каркас; 10 – тент; 11 – фиксатор; 12 – дополнительный боковой тент*

Приведение машины технической помощи в транспортное положение проводится в обратной последовательности.

Таким образом, предложенное техническое решение обеспечивает устойчивую и эффективную работу оборудования и персонала машины технической помощи во время атмосферных осадков (дождь, снег).

На основании приведенного в работе анализа и исследований можно сделать следующие выводы:

1. Использование существующих подвижных мастерских МТО-АТ-М1 и МРС-АТ-М1 из состава ПАРМ-1М1 и ПАРМ-3М1 для восстановления военной автомобильной техники в местах выхода ее из строя в мирное время (в повседневной жизни и во время учений) экономически не целесообразно.

2. Машина технической помощи на базе автомобиля УАЗ-452, разработанная на 288 БРА для восстановления военной автомобильной техники в местах выхода ее из строя, имеет малые габариты рабочего отсека, ограничивающие набор технологического оборудования, возможность транспортировки запасных частей и материалов для восстановления работоспособности машин в полевых условиях.

3. Применение «Аварийно-ремонтной летучки», разработанной в России и предназначенной для устранения локальных аварий и проведения ремонтно-профилактических работ в сфере жилищно-коммунального хозяйства, для восстановления военной автомобильной техники в полевых условиях невозможно без дополнительного ее переоснащения технологическим оборудованием, приспособлениями, съемниками, специальным инструментом и комплектами запасных частей и материалов.

4. Предложен вариант машины технической помощи для Вооруженных Сил Республики Беларусь, включающей следующие составляющие элементы:

базовое шасси – автомобиль УАЗ-390945;

раскрывающийся каркасный кузов-фургон, изготовленный на отечественном предприятии «МАЗ-КУПАВА»;

новое технологическое оборудование, располагаемое в каркасном кузове-фургоне мастерской и предназначенное для восстановления работоспособности машин в местах выхода их из строя.

5. Разработана конструкция бокового навеса для обеспечения устойчивой и эффективной работы оборудования, питаемого от электрической сети генератора, и персонала машины технической помощи во время атмосферных осадков (дождь, снег).

### Список литературы:

1. Авторемонтная мастерская на базе автомобиля УАЗ / Е.С. Патроцин, П.Н. Тарасенко // Тезисы выступлений 5-й межвузовской научно-технической конференции курсантов и магистрантов факультета связи и АСУ / редкол.: С.Г. Голубцов и [др.]. – Минск: ВА РБ, 2016. – С. 108-109.
2. Передвижная аварийно-ремонтная летучка УАЗ-390945 – «Автомас-тер» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [//www.Avto-Master.com/catalog](http://www.Avto-Master.com/catalog).
3. Пуско-зарядное устройство NIKKEY DFC-650 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [//www.catalog.onliner.by](http://www.catalog.onliner.by).
4. Стробоскоп Multitronics Focus F 10 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [//www.shoferoff.ru](http://www.shoferoff.ru).
5. Прибор для проверки автомобильного электрооборудования Э214 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [//www.vlagi.net](http://www.vlagi.net).
6. Прибор для проверки и очистки свечей зажигания Э203-О, Э203-П [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [//www.technosouz.ru](http://www.technosouz.ru).
7. Стенд электронный для испытания и регулировки форсунок двигателей М-106Э.[Электронный ресурс]. – Режим доступа: [//www.polestand.ru](http://www.polestand.ru).
8. Гайковерт пневматический AIW 1355294. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [//www.trc-incom.ru](http://www.trc-incom.ru).
9. Пневмошуроповерты. Пневмоинструмент. Автоинструмент. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [//www.union.shop.by](http://www.union.shop.by).
10. Машинка углошлифовальная пневматическая Sumake ST-7741. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [//www.deal.by/Mashinka-ugloshlifovalnaya-pnevmaticheskaya.html](http://www.deal.by/Mashinka-ugloshlifovalnaya-pnevmaticheskaya.html).
11. Электровулканизатор для ремонта камер и шин, переносной 1кВт, 220/50. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [//www.minsk.deal.by](http://www.minsk.deal.by).
12. Нагнетатель смазки электрический С321-М. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [//www.oao-aso.ru](http://www.oao-aso.ru).
13. Аникеев, Ю.И. Выбор и обоснование технических средств для оснащения унифицированной мастерской по ремонту ракетно-артиллерийского вооружения / Ю.И. Аникеев, А.В. Долгович, С.Н. Хандошко // Вестник Военной Академии Республики Беларусь. – 2014. – № 4. – С. 111–118.
14. Передвижная аварийно-ремонтная летучка: заявка 20170005 Респ. Беларусь / П.Н. Тарасенко, А.В. Гусенцов, О.В. Корзун: дата публ.: 27.02.2017. – Положительное решение о выдаче патента на полезную модель. – Национальный центр интеллектуальной собственности.





УДК 621.396.33

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАГЛУБЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Чугай К.Н.<sup>1</sup>, Демьянюк Д.В.<sup>2</sup>, Максимович Е.С.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>НИИ Вооруженных Сил Республики Беларусь, Минск, <sup>2</sup>БГУИР, <sup>3</sup>Институт прикладной физики НАНБ, Минск

*В докладе рассматриваются модели сигналов, отраженных от заглубленных объектов, которые позволяют учесть существующие закономерности и особенности формирования радиолокационного «глубинного» портрета*

В последние годы значительно возрос интерес к дистанционным методам исследования природной среды, в том числе к такому перспективному и новому направлению, как подповерхностная радиолокация. Обнаружение заглубленных объектов обусловлено необходимостью исследования верхнего слоя земной поверхности (укрывающая среда) в ходе строительства объектов различного назначения, поиска полезных ископаемых, при проведении поисково-криминалистических мероприятий, разминировании местности и т. д. При этом объектами поиска являются трубы, взрывные устройства, клады, оружие и т. п. В качестве укрывающих сред могут быть грунт, растительность, снег, строительные конструкции [1].

Радиолокационные методы позволяют не только обнаруживать скрытые в глубине объекты, измерять толщину подповерхностных слоев, но и получать некоторые структурные и электрические характеристики сред. Решение задачи определения электрических свойств играет ключевую роль для достоверного восстановления толщины слоя и глубины залегания объекта. Следовательно, корректная и оперативная оценка электрофизических свойств грунта, а также адаптация к их изменению, является актуальной задачей.

Подповерхностная радиолокация имеет ряд специфических отличий от традиционной радиолокации, решающей задачи наблюдения за воздушными (наземными, надводными) объектами, которые выражаются в следующем:

- дальностям обнаружения в атмосфере существенно больше дальности обнаружения в грунте;
- величина ослабления электромагнитной волны в грунте существенно больше, чем в атмосфере (в атмосфере – доли дБ/км, в грунте – десятки дБ/м);
- скорость распространения электромагнитной волны в грунте существенно меньше, чем в атмосфере, при одинаковой частоте зондирующего сигнала;
- антенная система в подповерхностной радиолокации работает в ближней зоне, диаграмма направленности является «пятном» круглой формы, в отличие от антенных систем используемых в традиционной радиолокации, где сканирование осуществляется полностью сформированной диаграммой направленности;
- электромагнитная волна при прохождении в грунте претерпевает существенные дисперсионные искажения из-за частотной зависимости скорости распространения (показателя преломления) в грунте и изменчивости его профиля с глубиной [2].

Особенностью верхнего слоя земли является слоистость, причем отдельные слои имеют значительные отличия по физическим свойствам, и, как следствие, по электрическим характеристикам. Электрические характеристики подстилающей поверхности, в значительной степени зависят от влажности и частоты, причем влажность является одним из факторов, их определяющих. Результаты исследований электрических характеристик песка и глины в диапазоне 0,1 – 10 ГГц представлены в [3]. При этом с увеличением частоты уменьшается коэффициент отражения по мощности от границы раздела «воздух-песок».

Коэффициент отражения по мощности, в случае вертикального облучения и немагнитной среды, может быть определен в соответствии с выражением [2–5]

$$R_{P_{k+1}} = \left[ \frac{\sqrt{\dot{\epsilon}_k} - \sqrt{\dot{\epsilon}_{k+1}}}{\sqrt{\dot{\epsilon}_k} + \sqrt{\dot{\epsilon}_{k+1}}} \right]^2, \quad (1)$$

где  $\dot{\epsilon}_k$  – комплексная диэлектрическая проницаемость  $k$ -го слоя;  $\dot{\epsilon}_{k+1}$  – комплексная диэлектрическая проницаемость  $k+1$ -го слоя.

Коэффициент прохождения по мощности (прозрачность), в случае вертикального облучения и немагнитной среды, определяется выражением [2–5]:

$$C_{P_{k+1}} = \frac{\operatorname{Re} \sqrt{\dot{\epsilon}_{k+1}}}{\operatorname{Re} \sqrt{\dot{\epsilon}_k}} \left[ \frac{2\sqrt{\dot{\epsilon}_k}}{\sqrt{\dot{\epsilon}_k} + \sqrt{\dot{\epsilon}_{k+1}}} \right]^2. \quad (2)$$

Причем,  $R_{P_{k+1}} + C_{P_{k+1}} = 1$ .

Скорость распространения электромагнитной волны в  $k$ -м слое среды [2]:

$$V_k = \frac{c}{\operatorname{Re} \sqrt{\dot{\epsilon}_k}}, \quad (3)$$

где  $c$  – скорость распространения электромагнитной волны в среде.

координаты фазового центра передающей антенны – ( $x_t = 0$ ,  $y_t = 0$ ,  $z_t = 0$ ); координаты фазового центра приемной антенны – ( $x_r = d_b$ ,  $y_r = 0$ ,  $z_r = 0$ ); координаты центра верхней поверхности заглубленного объекта – ( $x_m$ ,  $y_m = r_m$ ,  $z_m$ ); высота фазового центра передающей антенны над уровнем земли –  $r_s$

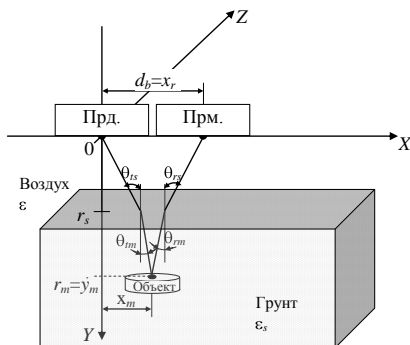


Рис. 1 – Схема радиолокационного наблюдения заглубленного объекта

Будем считать, что характеристики рассматриваемой системы соответствуют устройству подповерхностного зондирования [2], а облучаемый участок в общем виде представляет собой «пятно» круглой формы радиусом  $r_{rs}$ :

$$r_{rs} = r_s \tan\left(\frac{\Delta\theta}{2}\right), \quad (4)$$

и площадью  $S_s = \pi r_{rs}^2$ , где  $r_s$  – высота подъема фазового центра антенны над границей укрывающей среды;  $\Delta\theta = \sqrt{\frac{4\pi}{G_r}}$  – разрешающая способность по угловым координатам;  $G_r$  – коэффициент усиления приемной антенны;  $S_s$  – площадь облучаемого участка поверхности.

При прохождении границы раздела «воздух-грунт» наблюдается сужение диаграммы направленности антенны (уменьшение формируемого «пятна»). Результаты, характеризующие изменение электромагнитного поля в зависимости от изменения высоты подъема фазового центра антенны над грунтом (песком) (рисунок 3) для антенны вида рисунок 2.

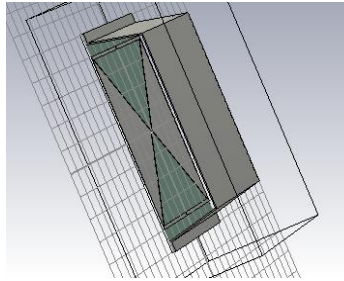


Рис. 2 – Обобщенный вид антенны

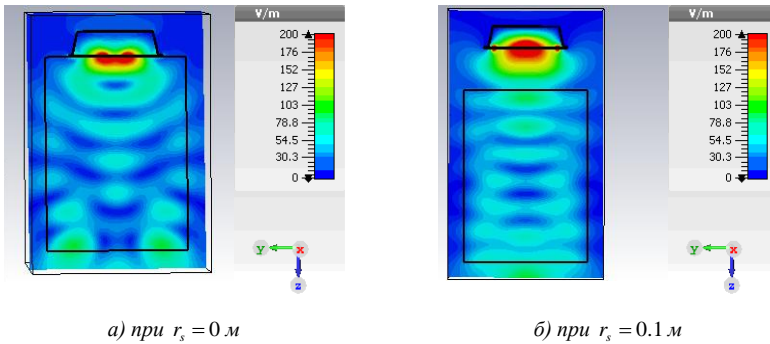


Рис. 3 – Распределение электромагнитного поля в грунте на частоте 1,5 ГГц

В обобщенном виде сужение диаграммы направленности антенны при прохождении границы раздела «воздух-грунт» приводящее к уменьшению фор-

мируемого «пятна», можно оценить через характер изменения его радиуса с  $r_{rs}$  до  $\tilde{r}_{rs}$  и отношение  $r_{rs}$  к  $\tilde{r}_{rs}$  рассчитывается по в соответствии с выражением [3]

$$\frac{r_{rs}}{\tilde{r}_{rs}} = \frac{\frac{r_s}{2r_m} + 1}{\frac{r_s}{2r_m} + \frac{tg\theta_m}{tg\theta_{ts}}} \quad (5)$$

Сужение диаграммы направленности антенны способствует перераспределению энергии излучения в сторону увеличения плотности потока мощности, выражение характеризующие это эффект для, заданной высоты подъема фазового центра антенны над границей укрывающей среды  $r_s$  и глубины нахождения заглубленного объекта  $r_m$  имеет вид [4]:

$$K_F = \left( \frac{\frac{r_s}{2r_m} + 1}{\frac{r_s}{2r_m} + \frac{1}{\sqrt{\dot{\epsilon}_k}}} \right)^2 \quad (6)$$

В случае, когда  $\frac{r_s}{r_m} \gg 2$  фокусирующим действием можно пренебречь. В

тоже время, максимум коэффициента характеризующего эффект фокусировки стремится к  $\dot{\epsilon}_k$  ( $K_F \cong \dot{\epsilon}_k$ ), что наблюдается только для широких слоев укрывающей среды (грунта) и малых высот подъема фазового центра антенны над границей укрывающей среды.

#### Математическая модель сигнала, отраженного от заглубленного объекта

Отраженный сигнал во временной области представляет собой сумму элементарных отраженных сигналов от отдельных элементарных участков, характеризующих обнаруживаемый заглубленный объект, комплексные амплитуды которых становятся функциями времени.

В результате отраженный сигнал от отдельных элементарных участков заглубленного объекта можно представить в виде выражения [6, 7]:

$$m(t) = \sum_g E_{mg} e^{i\varphi_{mg}} U_0(t - t_{rg}) e^{i\omega_k t}, \quad (7)$$

где  $E_{mg} e^{i\varphi_{mg}}$  – амплитуды и фазы;  $t_{rg}$  – время запаздывания сигнала, отраженного от  $g$ -го элементарного участка заглубленного объекта относительно зондирующего.

Как известно [8], при радиозондировании заглубленных объектов основным отражающим элементом является газовойдяной контакт, образующийся на границе между грунтом и объектом. Данная особенность позволяет рассматривать эффективную отражающую поверхность объекта, как отражение от границы «воздух-грунт» для  $g$ -го элементарного участка заглубленного объекта всей его площади

$$\sigma_{mg} = S_{mg} R_{pm}, \quad (8)$$



где  $S_{mg}$  – отражающая площадь  $g$ -го элементарного участка заглубленного объекта;  $R_{P_m}$  – коэффициент отражения по мощности для границы «воздух-грунт».

Как показывают результаты экспериментальных исследований [6], наиболее интенсивные отражения для заглубленного объекта, форма которого наиболее приближена к цилиндрической или кубической, обусловлены отражениями от верхнего и нижнего газовойдяного контактов.

Средняя мощность сигнала, отраженного от верхней поверхности  $g$ -го элементарного участка заглубленного объекта [2] с учетом эффекта фокусировки определяются в соответствии с выражением

$$\sigma_{mg}^2(t) = \frac{P_0 G_t G_r \lambda_{cp}^2 \sigma_{mg}}{(4\pi)^3 r_{mg}^2(t) r_{rmg}^2(t) \alpha_s} \frac{1 - R_{Ps}}{|r_{mg}(t) - r_{tsg}(t) + r_{rmg}(t) - r_{rsg}(t)|} K_F, \quad (9)$$

где  $\sigma_{mg}$  – эффективная отражающая поверхность  $g$ -го элементарного участка заглубленного объекта;  $\alpha_s$  – коэффициент затухания грунта;

$$r_{mg}(t) = \sqrt{|r_{mg}(t) - x_t(t)|^2 + |r_{mg}(t) - y_t(t)|^2 + |r_{mg}(t) - z_t(t)|^2}; \quad r_{tsg}(t) = \frac{r_s(t) r_{mg}(t)}{y_{mg}(t)};$$

$$r_{rmg}(t) = \sqrt{|r_{mg}(t) - x_r(t)|^2 + |r_{mg}(t) - y_r(t)|^2 + |r_{mg}(t) - z_r(t)|^2}; \quad r_{rsg}(t) = \frac{r_s(t) r_{rmg}(t)}{y_{mg}(t)};$$

$K_F$  – коэффициент характеризующий эффект фокусировки в укрывающей среде (грунте).

Рассматривая объект, в не металлическом исполнении, следует учитывать сигнал, отраженный от нижней поверхности заглубленного объекта. Средняя мощность, при этом, сигнала отраженного от нижней поверхности  $g$ -го элементарного участка заглубленного объекта [2] с учетом эффекта фокусировки равна

$$\sigma_{bg}^2(t) = \frac{P_0 G_t G_r \lambda_{cp}^2 \sigma_{mg}}{(4\pi)^3 r_{ibg}^2(t) r_{rbg}^2(t) \alpha_s} \frac{1 - R_{Ps}}{|r_{bg}(t) - r_{tsbg}(t) + r_{rbg}(t) - r_{rsbg}(t)|} \times \\ \times \frac{1 - R_{P_m}}{\alpha_m |r_{bg}(t) - r_{img}(t) + r_{rbg}(t) - r_{rmg}(t)|} K_{Fm}, \quad (10)$$

$$\text{где } r_{bg}(t) = \sqrt{|r_{mg}(t) - x_t(t)|^2 + |r_{mg}(t) + h_m - y_t(t)|^2 + |r_{mg}(t) - z_t(t)|^2};$$

$$r_{tsbg}(t) = \frac{r_s(t) r_{ibg}(t)}{y_{mg}(t) + h_m}; \quad r_{rbg}(t) = \sqrt{|r_{mg}(t) - x_r(t)|^2 + |r_{mg}(t) + h_m - y_r(t)|^2 + |r_{mg}(t) - z_r(t)|^2};$$

$$r_{img}(t) = \frac{y_{mg}(t) r_{ibg}(t)}{y_{mg}(t) + h_m}; \quad r_{rsbg}(t) = \frac{r_s(t) r_{rbg}(t)}{y_{mg}(t) + h_m}; \quad r_{rmg}(t) = \frac{y_{mg}(t) r_{rbg}(t)}{y_{mg}(t) + h_m};$$

$h_m$  – толщина заглубленного объекта;  $\alpha_m$  – коэффициент затухания, зависящий от физико-химических свойств заглубленного объекта;  $K_{Fm}$  – коэффициент

циент характеризующий эффект фокусировки в укрывающей среде (грунте), с учетом характеристик наблюдаемого заглубленного объекта.

Радиолокационные портреты (по результатам моделирования и экспериментов) отраженных от заглубленных объектов сигналов (противопехотная мина (типа **ПМН-2**) и противотанковая мина (типа **ТМ-62**)) и укрывающей среды, полученные для одноименных условий ( $P_0 = 50$  мВт,  $\lambda_{cp} = 0,2$  м,  $\Delta f_M = 1$  ГГц,  $T_0 = 10,23$  мкс,  $\varepsilon_s = 5$ ,  $r_s \approx 0,3$  м,  $r_m \approx 0,34$  м) с учетом алгоритмов обработки сигналов на выходе смесителя, приведенных в [9], представлены на рисунках 4–7.

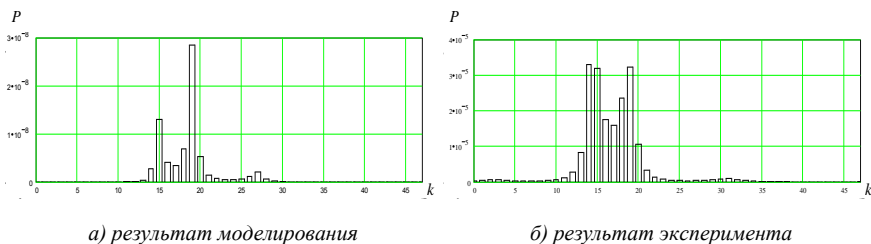


Рис. 4 – Глубинный портрет противопехотной мины

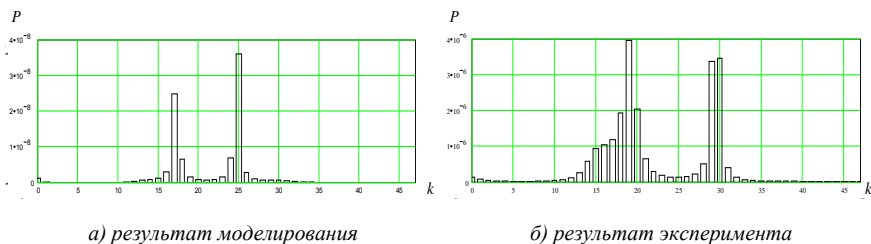


Рис. 5 – Глубинный портрет противотанковой мины

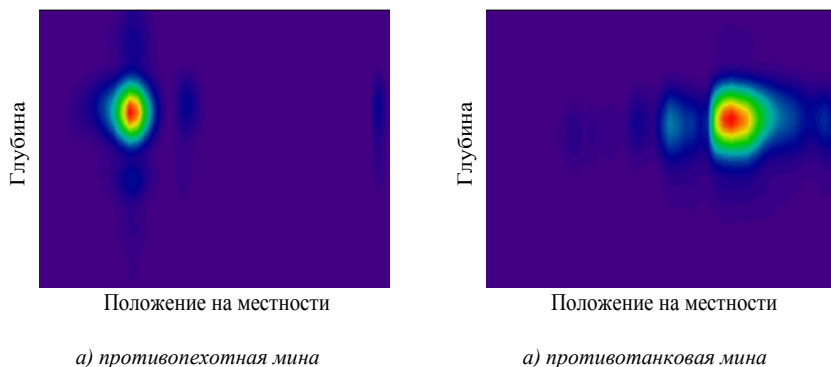


Рис. 6 Преобразование Фурье по экспериментальным данным

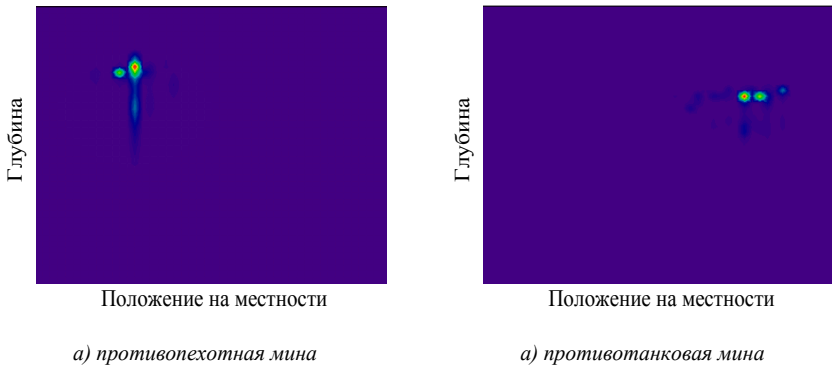


Рис. 7 Радиолокационное изображение по экспериментальным данным

Специфика формирования отраженного сигнала в подповерхностной радиолокации, обусловлена резким изменением диэлектрической проницаемости на границе раздела сред, что существенно усложняет условий наблюдения, особенно в случае многослойной укрывающей среды.

Сопоставляя результаты экспериментальных исследований и моделирования, полученные для одноименных условий, несмотря на высокую степень адекватности созданной имитационной модели сигнала отраженного от заглубленного объекта, существуют и отличия, которые, в первую очередь, обусловлены сложной интерференционной картины и наличием достаточно мощного просачивающегося сигнала от передатчика.

В результате созданная модель позволяет решить задачу настройки и калибровки существующих подповерхностных радиолокаторов с минимальными временными затратами, а также обеспечить синтез высокоэффективных подповерхностных радиолокаторов, способных обеспечить решение задач формирования радиолокационных изображений наблюдаемых объектов в реальном масштабе времени для высоко мобильных устройств, как в ручном варианте, так и в варианте устанавливаемом на роботизированные платформы.

### Список литературы:

1. Проблематика построения радиолокатора подповерхностного зондирования / С.А. Савенко [и др.] // Наука и воен. безопасность. – 2013. – № 3. – С. 20–27.
2. Чугай, К.Н. Имитационное моделирование отраженных сигналов в подповерхностной радиолокации / К.Н. Чугай, С.А. Савенко // Наука и военная безопасность. – 2016. – № 1. – С. 39 – 43.
3. Филькенштейн, М.И. Применение радиолокационного подповерхностного зондирования в инженерной геологии / М.И. Филькенштейн [и др.]; под ред. М.И. Филькенштейна. – М.: Недра, 1986. – 128 с.
4. Вопросы подповерхностной радиолокации / А.Ю. Гринев [и др.]; под общ. ред. А.Ю. Гринева. – М.: Радиотехника, 2005. – 416 с.

5. Финкельштейн, М.И. Радиолокация слоистых земных покровов / М.И. Финкельштейн [и др.]; под ред. М.И. Финкельштейна. – М.: Сов. радио, 1977. – 176 с.

6. Охрименко, А.Е. Основы радиолокации и радиоэлектронная борьба / А.Е. Охрименко. – М.: Воеиздат, 1983. – Ч. 1. – 456 с.

7. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория: справочник. / Я.Д. Ширман [и др.]; под общ. ред. Я.Д. Ширмана. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радиотехника, 2007. – 512 с.

8. Komarov, I.V. Fundamentals of Short-Range Fm Radar / I.V. Komarov, S.M. Smolskiy, D.K. Barton. – Horwood.: Artech House Publishers, 2003. – 314 p.

9. Чугай, К.Н. Современный подход к обработке сложных сигналов в системе подповерхностного зондирования / К.Н. Чугай, С.А. Савенко // Наука и воен. безопасность. – 2015. – № 1. – С. 39–43.





УДК 621.396.33

## ФОРМИРОВАНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ

Чугай К.Н.<sup>1</sup>, Демьянюк Д.В.<sup>2</sup>, Савенко С.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>НИИ Вооруженных Сил Республики Беларусь, Минск, <sup>2</sup>БГУИР

*В докладе рассмотрены современные методы формирования радиолокационных изображений заглубленных объектов, среди которых можно выделить методы голографии в радиодиапазоне и метод миграции. Для получения радиоголограммы широко применяются принципы, применяемые при синтезировании апертуры [1, 2], причем качество получаемых радиолокационных изображений заглубленных объектов существенно зависит от априорной информации. Радиолокационное изображение в методе миграции получается в результате вычисления корреляции распространяемого обратно в среду рассеянного поля и поля, распространяющегося в среду непосредственно от излучателя, возбуждающего электромагнитные волны [2]. Существенное улучшение качества радиолокационного изображения достигается при реализации эффекта «сверхразрешения», благодаря адаптивному алгоритму максимального правдоподобия [3] и фокусировке в область расположения заглубленного объекта.*

В настоящее время существенно возрастает интерес к продповерхностной локации, в частности в сфере инженерно-геофизических исследований, что породило создание различных модификаций радиолокаторов подповерхностного зондирования. Отдельно следует выделить радиолокаторы подповерхностного зондирования малых дальностей, которые предназначены для решения задачи обнаружения заглубленных объектов (в виде малоразмерных неоднородностей) в различных укрывающих средах в ходе разведки местности (приповерхностном слое грунта, железнодорожном полотне, взлетно-посадочных полосах аэродромов, дорожном покрытии автодорог, завалах и т.п.) при проведении поисково-спасательных работ и поиске скрытно установленных объектов.

Существующие методы подповерхностного зондирования, обеспечивающие формирование радиолокационных изображений заглубленных объектов находят широкое применение в различных областях: геологии, строительстве дорог и промышленных объектов, археологии, военной сфере и т.д.

Повышение эффективности радиолокаторов подповерхностного зондирования, основываясь лишь только на совершенствовании аппаратной части, сталкивается с трудностями, обусловлены приближением к пределам физической реализуемости. С учетом практического опыта [4] достаточно эффективным направлением, способным существенно улучшить качество получаемой радиолокационной информации, является необходимость совершенствования существующих и разработка новых методов обеспечивающих формирование радиолокационных изображений.

В первом приближении многие природные среды можно рассматривать как плоскостойкие, а электромагнитные волны – как плоские гармонические, направление распространения которых перпендикулярно к плоскости раздела.

Рассматривая методы формирования радиолокационных изображений необходимо учитывать существующие особенности, которые возникают при восстановлении радиолокационного изображения и заключается в том, что принимаемый сигнал имеет сложную структуру, включая компоненты обусловленные отражением от укрывающей среды (грунта) и различных неоднородностей встречающихся на пути распространения зондирующего сигнала и, представляет собой двумерный случайный процесс, который в случае наличия заглубленного объекта, может быть описан выражением [4]

$$f(t_1, t_2) = n(t_1, t_2) + m(t_1, t_2) + p(t_1, t_2) + h(t_1, t_2) \quad (1)$$

где  $n(t_1, t_2)$  – сигнал отраженный от укрывающей среды (земной поверхности);  $m(t_1, t_2)$  – сигнал отраженный от заглубленного объекта;  $p(t_1, t_2)$  – сигнал передатчика просачивающийся в приемный тракт посредством антенной системы;  $h(t_1, t_2)$  – помеха, в качестве которой выступает белый шум.

Неоднородности среды характеризуются относительным изменением диэлектрической проницаемости. Рассеяние электромагнитной волны на неоднородностях рассматривается в скалярном приближении однократного рассеяния. Описание поведения падающей, отраженной и прошедшей волн в такой среде дает одномерное уравнение Гельмгольца.

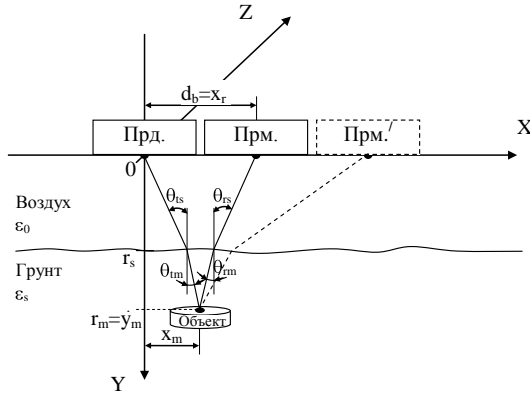
В дискретной форме представления двумерный случайный процесс имеет вид

$$f_{g,r} = f(g\Delta_1, r\Delta_2) \quad (2)$$

где  $g = 0 \dots M - 1$ ;  $M$  – количество реализаций в одном скане;  $\Delta_1$  – интервал дискретизации  $t_1$ ;  $r = 0 \dots N - 1$ ;  $N$  – количество отсчетов в одной реализации;  $\Delta_2$  – интервал дискретизации  $t_2$ .

Такой сигнал описывается пространственной частотой  $\omega$  и имеет структуру представленную на рисунке 1. При этом, как правило, наибольшую мощность имеет отражение от земной поверхности и приповерхностных неоднородностей, поэтому возникают сложности при выделении составляющих отраженных от верхней и нижней поверхностей объекта.

Учитывая выбранную в [4] структуру системы подповерхностного зондирования на рисунке 1 приводится схема радиолокационного наблюдения заглубленного объекта, с учетом голографических и томографических особенностей формирования отраженного сигнала [1, 2, 6, 7, 8].



$x_t = 0, y_t = 0, z_t = 0$  – координаты фазового центра передающей антенны;  
 $x_r = d_b, y_r = 0, z_r = 0$  – координаты фазового центра приемной антенны;  
 $x_m, y_m = r_m, z_m$  – координаты центра верхней поверхности заглубленного объекта;  $r_s$  – высота фазового центра передающей антенны над уровнем земли

Рис. 1 – Схема радиолокационного наблюдения заглубленного объекта

Двумерный спектр принятого сигнала формируется в соответствии с выражением вида [5]

$$S(\omega_1, \omega_2) = \frac{\Delta_1 \Delta_2}{4\pi^2} \sum_{\tau_1=0}^{K-1} \sum_{\tau_2=0}^{L-1} W_{\tau_1, \tau_2} R(\tau_1, \tau_2) e^{-j\tau_1 \omega_1 \Delta_1} e^{-j\tau_2 \omega_2 \Delta_2}, \quad (3)$$

где  $R(\tau_1, \tau_2)$  – двумерная корреляционная функция принятого сигнала  $f(t_1, t_2)$ ;  $W_{\tau_1, \tau_2}$  – корреляционное окно;  $K, L$  – число значений аргументов двумерной корреляционной функции.

Дискретная форма двумерной корреляционной функции принятого сигнала имеет вид [5]

$$R(\tau_1, \tau_2) = \frac{1}{M N} \sum_{g=0}^{M-1} \sum_{r=0}^{N-1} f(g\Delta_1, r\Delta_2) f(g\Delta_1 + \tau_1, r\Delta_2 + \tau_2), \quad (4)$$

### Методы формирования радиолокационных изображений

Для существующих методов обработки радиолокационных данных классическим и наиболее простым является спектральный метод получения радиолокационного изображения. С учетом преобразования Фурье можно выделить два направления [1]: радиоголографическое – получения радиолокационного изображения всей подповерхностной области и радиотомографическое – реконструкции внутреннего содержания подповерхностных объектов.

### **Радиоголографический метод**

При решении голографической задачи пространственно-спектральным методом осуществляется восстановления двумерного радиоизображения. Двумерный (пространственный) спектр, представляет собой радиолокационное (радиоголографическое) изображение, учитывающее распределение токов локализованных в объекте и представляет собой двумерное преобразование Фурье от интенсивности рассеянного поля электромагнитной волны  $J(x, y)$  с учетом функции Дирака  $D(\omega_x, \omega_y)$  и выражения (3) формируется в соответствии с выражением [1]

$$S_G(\omega_x, \omega_y) = \frac{\Delta_x \Delta_y}{4\pi^2} \sum_{g=-\frac{K-1}{2}}^{\frac{K-1}{2}} \sum_{l=-\frac{L-1}{2}}^{\frac{L-1}{2}} J(x, y) e^{-jg\omega_x \Delta_x} e^{-jl\omega_y \Delta_y} D(\omega_x, \omega_y) \quad (5)$$

где  $\Delta_x$  – шаг дискретизации по оси  $X$ ;  $\Delta_y$  – шаг дискретизации по оси  $Y$ .

### **Метод синтеза апертуры**

Реализация данного метода основана на применении радиолокатора с синтезируемой апертурой (РСА) обеспечивающего двумерное угловое сканирование антенной системой в верхнем полупространстве. В результате обработки получаемых данных осуществляется фокусировка излучения в каждую точку нижнего полупространства. Последовательное сканирование точкой фокусировки позволяет восстанавливать трехмерное распределение неоднородностей под границей раздела сред. Принимаемый сигнал описывается выражением [1, 2]

$$u_C(x, y) = \sum_{g=-\frac{M-1}{2}}^{\frac{M-1}{2}} \sum_{r=-\frac{N-1}{2}}^{\frac{N-1}{2}} W_{C,g,r} f(x + g\Delta_x, y + r\Delta_y) \quad (6)$$

где  $W_C$  – весовая функция.

Алгоритм восстановления радиоизображения имеет вид

$$S_C(\omega_x, \omega_y) = \frac{\Delta_x \Delta_y}{4\pi^2} \sum_{k=-\frac{K-1}{2}}^{\frac{K-1}{2}} \sum_{l=-\frac{L-1}{2}}^{\frac{L-1}{2}} u(x, y) e^{-jk\omega_x \Delta_x} e^{-jl\omega_y \Delta_y} \quad (7)$$

Однако, применение последовательного сканирования точкой фокусировки требует больших вычислительных ресурсов и временных затрат, что существенно снижает эффективность применения такого метода при разминировании.

В работе [6] рассмотрен быстрый метод восстановления распределения диэлектрических неоднородностей на основе приближения однократного рас-



сеяния в предположении сильного преломления волн на границе раздела сред и метода синтеза аппаратуры. Приближение сильно преломляющей среды позволяет восстанавливать распределение неоднородностей путем фокусировки РСА на поверхность среды (операцией свертки) и обратного преобразования Фурье. Результаты применения данного метода [4] показывают, что эффективное применение данного метода возможно только на малой глубине (до 11 см). Такие результаты связаны с затуханием сигнала в среде и расхождением аппаратной функции системы на больших глубинах.

### **Томографический метод**

Под томографией понимается реконструкция внутреннего содержания подповерхностных объектов. Радиотомографическое изображение, учитывающее распределение нормализованных токов поляризации локализованных в объекте, представляет собой двумерное преобразование Фурье от рассеянного поля электромагнитной волны интенсивностью  $J(x, y)$ , с учетом теоремы о смещении и характеристик заглубленного объекта, формируется в соответствии с выражением [1]

$$S_T(\omega_x, \omega_y) = \frac{\Delta_x \Delta_y}{4\pi^2} \sum_{k=-\frac{K-1}{2}}^{\frac{K-1}{2}} \sum_{l=-\frac{L-1}{2}}^{\frac{L-1}{2}} J(x, y, d_m, \varepsilon_m) e^{-jk\omega_x \Delta_x \sin(\theta_{ls})} e^{-jl\omega_y \Delta_y \cos(\theta_{ls})}, \quad (8)$$

где  $d_m$  – параметры мины, описывающие ее размеры и форму;  $\varepsilon_m$  – диэлектрическая проницаемость мины;  $\theta_{ls}$  – корректирующая поправка.

Существенным недостатком пространственно-спектрального метода является низкая разрешающая способность по глубине и возможность получения только двумерного изображения. К достоинствам относится простота данного алгоритма.

### **Метод миграции**

Метод миграции позволяет восстанавливать двухмерное (трехмерное) радиолокационное изображение [1]. Сбор информации об участке местности осуществляется с использованием сканирующей антенны [1]. Зарегистрированный сигнал имеет вид:

$$u_M(x, y) = \sum_{g=-\frac{M-1}{2}}^{\frac{M-1}{2}} \sum_{r=-\frac{N-1}{2}}^{\frac{N-1}{2}} W_{M,g,r} f(x + g\Delta_x, y + r\Delta_y) \exp^{-i2\pi k \sqrt{(g\Delta_x)^2 + (r\Delta_y)^2}} \quad (9)$$

где  $k$  – волновое число, учитывающее распространение волны к рассеивателям и обратно.

Алгоритм восстановления радиолокационного изображения методом дальностной миграции может быть описан следующим выражением [1]

$$S_M(\omega_{x_i}, \omega_{y_j}) = \frac{\Delta_x \Delta_y}{4\pi^2} \sum_{k=-\frac{K-1}{2}}^{\frac{K-1}{2}} \sum_{l=-\frac{L-1}{2}}^{\frac{L-1}{2}} u(x_i, y_j) e^{-jk\omega_x \Delta_x} e^{-jl\omega_y \Delta_y}.$$

(10)

Недостатками данного метода являются низкая разрешающая способность по глубине (однако выше, чем у пространственно-спектрального метода) и сложность обработки данным подобным методом.

### *Адаптивный метод спектрального анализа*

Основываясь на методе максимального правдоподобия [3] для сильно коррелированных сигналов, к которым можно отнести отраженные сигналы от заглубленных объектов, возможно, реализовать эффект «сверхразрешения». При этом следует учитывать, что сбор информации осуществляется с использованием сканирующей антенной системы [4].

Соответствующая максимально достоверная оценка радиолокационного изображения наблюдаемого объекта формируется за счет нахождения матрицы опорных частот  $\mathbf{S}_0$ , при использовании которой результат обработки отраженного сигнала имеет максимальную мощность. Алгоритм обработки в этом случае имеет вид

$$S_A(\omega_1, \omega_2) = \left[ \frac{\Delta_1 \Delta_2}{4\pi^2} \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{l=0}^{L-1} W_{A,k,l} Q_{k,l} \overline{S_{O,k,l}} \right]^{-1},$$

(11)

где  $\mathbf{Q} = \mathbf{R}^{-1}$  – обратная корреляционная матрица принятого сигнала  $f(t_1, t_2)$ ;  $W_A$  – весовая матрица;  $\mathbf{S}_0$  – матрица опорных частот,

$$\mathbf{S}_0 = \begin{pmatrix} 1 & e^{j\omega\Delta_2} & \dots & e^{j\omega(L-1)\Delta_2} \\ e^{j\omega\Delta_1} & e^{j\omega\Delta_1} e^{j\omega\Delta_2} & \dots & e^{j\omega\Delta_1} e^{j\omega(L-1)\Delta_2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ e^{j\omega(K-1)\Delta_1} & e^{j\omega(K-1)\Delta_1} e^{j\omega\Delta_2} & \dots & e^{j\omega(K-1)\Delta_1} e^{j\omega(L-1)\Delta_2} \end{pmatrix}.$$

**Выводы.** Выбор метода обработки зависит от особенностей решаемой задачи. При решении задачи обнаружения на малой глубине, хорошо себя проявил быстрый метод на основе РСА. При этом обеспечивается разрешающая способность до 1см. Однако при увеличении глубины зондирования данный метод на основе РСА становится малоэффективным, в виду больших потерь в грунте на высоких частотах (порядка десятка ГГц). Методы голографии и дальностной миграции позволяют восстанавливать радиоизображения объектов, находящихся на большой глубине. Однако эти методы характеризуются низкой разрешающей способностью, для случая формирования радиоизображения в реальном масштабе времени. Для повышения разрешающей способности, без



повышения частоты зондирующего сигнала и существенного увеличения вычислительных затрат, появляется необходимость комплексирования методов восстановления с эффектом «сверхразрешения» по глубине.

Таким образом, для мобильных компактных радиолокаторов подповерхностного зондирования, наилучший алгоритм обработки, обеспечивающий формирование качественного радиолокационного изображения в реальном масштабе времени, основан на методе максимального правдоподобия.

### **Список литературы:**

1. Вопросы подповерхностной локации. Коллективная монография / Под ред. А.Ю. Гринева. – М.: Радиотехника, 2005. – 416 с.
2. Суханов Д.Я., Якубов В.П. Метод наклонной фокусировки в подповерхностной радиолокации / Д.Я. Суханов, В.П. Якубов // Журнал технической физики. – 2006. – том 76, вып. 7. – С. 64 – 68.
3. Гринкевич А.В. Применение высокоразрешающих адаптивных методов спектрального анализа для получения глубинного портрета зондируемого участка поверхности // Доклады БГУИР. – 2006. №3.
4. Чугай К.Н., Савенко С.А. Современный подход к обработке сложных сигналов в системе подповерхностного зондирования // Наука и военная безопасность. – 2015. – № 1. – С. 39 – 43.
5. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. М.: Мир, 1983. Т.1. – 312 с.
6. Суханов Д.Я., Якубов В.П. Многокурсовое зондирование в подповерхностной радиотомографии и определение показателя преломления фоновой среды. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/koi/mar06/1/text.html>.
7. Финкельштейн М.И., Кутев В.А., Золотарев В.П. Применение радиолокационного подповерхностного зондирования в инженерной геологии. Под редакцией М.И. Финкельштейна. - М.: Недра, 1986. – 128 с.
8. Реконструктивная интерпретация данных подповерхностного зондирования Лукьянов С.П., Семенчук В.Е., Карауш А.С., Потемин Р.В.

## ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ И УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ АВИАТЕХНИКИ ИЗ СПЛАВОВ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И УЛУЧШЕНИЯ ИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ, ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ

Юркевич С.Н.<sup>1</sup>, Алифанов А.В.<sup>2</sup>, Люцкевич А.И.<sup>1</sup>, Юркевич К.С.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ОАО «558 Авиационный ремонтный завод», <sup>2</sup>БарГУ, <sup>3</sup>БНТУ

**Актуальность исследований.** Магнито-импульсная обработка материалов (МИО) достаточно известна. Применяется для упрочнения инструмента из быстрорежущих сталей, штамповки деталей из материалов с высокой электропроводностью (меди и её сплавов, алюминиевых сплавов и т.д.). В данной работе рассмотрим применение МИО с целью изменения структуры поверхностного слоя и упрочнения поверхности деталей из титановых и алюминиевых сплавов, стали 12Х18Н10Т и иных сталей малой твердости (малоуглеродистых сталей).

Детали из титановых сплавов широко применяются в авиационной технике. При сравнимой прочности они гораздо легче стальных деталей, однако уступают стальным деталям по износостойкости. С целью повышения износостойкости и поверхностной твердости авиационных деталей из титановых сплавов, проводится их хромирование или никелирование. Электроосаждение хрома на титановые сплавы сопряжено со значительными трудностями. Одной из них является невозможность нанесения хромового покрытия на детали с макробалльностью, по разным источникам, от 7 и более баллов (1) и 5 и более баллов (2). То же самое и с никелевым покрытием (3). В настоящее время приобретаемый (особенно на биржах) сортамент часто имеет макробалльность выше 6 баллов. Обнаруживается отклонение по макробалльности, как правило, лишь после отслоения покрытия, т.е. после проведения череды дорогостоящих и длительных операций. Поскольку структура формируется на стадии проката и отклонения по балльности являются следствием нарушения его режимов, то и исправлять структуру необходимо при той же или большей температуре, а это не менее 1300 °С. Печи с такой температурой есть не везде, и при исправлении структуры уходят размеры.

Детали из алюминиевых сплавов также широко используются в авиатехнике из-за своего малого веса. Прочность их уступает прочности стальных деталей и деталей из титановых сплавов. Детали из алюминиевых сплавов можно использовать и в качестве прессформ для производства резино-технических изделий, их изготовления обходится значительно дешевле изготовления стальных прессформ. Но алюминиевые прессформы недолговечны. Увеличение их твердости поверхности дало бы возможность применения алюминиевых прессформ в мелкосерийном производстве.

На деталях из титановых и алюминиевых сплавов часто требуется чистота поверхности порядка Ra 0,8-0,6. Получить данные параметры возможно методом шлифования, однако при шлифовании деталей из титановых сплавов воз-





можны прижоги, а при шлифовании деталей из алюминиевых сплавов происходит быстрое засаливание шлифовального круга.

Широко используются в авиатехнике детали из нетермоупрочняемых сталей типа 12X18H10T. Они не ржавеют, обладают высокой жаропрочностью. Однако их прочность и износостойкость оставляют желать лучшего. Для повышения износостойкости на подобные детали наносят хромовое покрытие.

Рассмотрим возможности МИО по получению необходимых свойств поверхностей деталей из титановых и алюминиевых сплавов, сталей типа 12X18H10T для упрочнения деталей авиатехники и улучшения их технологических, эксплуатационных и функциональных свойств.

### **Методика проведения эксперимента.**

Рассмотрим возможности МИОМ по получению необходимых свойств поверхностей деталей из титановых и алюминиевых сплавов, сталей типа 12X18H10T для решения поставленных задач:

- модификация поверхности (уменьшение макробалльности) для получения равномерного осажденного герметичного хромового покрытия на изделиях из титановых сплавов (BT3-1, OT4, OT4-1, BT5-1, BT5Л, BT6 (BT6C), BT9, BT22, BT23);

- упрочнение поверхности деталей из алюминиевых сплавов;
- получения необходимой шероховатости поверхности;
- упрочнение поверхности деталей из сталей типа 12X18H10T.

Исследования макро-микроструктуры проводились на образцах, подвергнутых магнитно-импульсной обработке поверхности:

- шток из титанового сплава BT6C (импульс – 6,1 кДж, число импульсов – 5, напряжение – 5,2 кВ);
- образцы титанового сплава с маркировками № 2 (контрольный, исходный), № 3 (3 имп. х 4 кДж), № 4 (3 имп. х 6 кДж), № 5 (3 имп. х 8 кДж);
- образец дюралюмина Д16 с маркировкой № 3 (5 имп., энергия импульса - 6,1 кВт);
- образцы титанового сплава BT6C с маркировкой № 2 с одной (3 имп., энергия импульса - 6,1 кВт), двумя (4 имп., энергия импульса - 6,1 кВт), тремя (6 имп., энергия импульса - 6,1 кВт) засечками.
- образец из стали 12X18H10T с Cr-покрытием, энергия импульса 6,2 Дж, число импульсов 9.

Исследование микроструктуры проводили на световом микроскопе «MeF-3» фирмы «Reichert» (Австрия) при увеличении  $\times 100$ ,  $\times 200$ ,  $\times 500$ .

Измерение микротвердости проводилось на микротвердомере «Micromet-П» с нагрузкой 50 г. по ГОСТ 9450-76.

Съемку микроструктуры исследуемых образцов проводили с помощью цифрового фотоаппарата Canon (PowerShot SX200).

### **МИО деталей из титановых и алюминиевых сплавов**

Общий вид и микроструктура штока из титанового сплава BT6C представлены на рисунке 1.

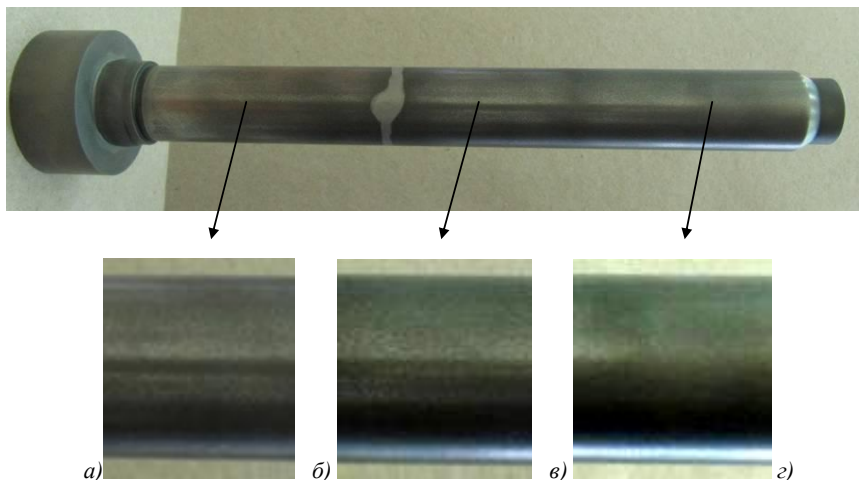


Рис. 1 – Общий вид (а) и макроструктура (б-г) штока из титанового сплава ВТ6С после магнитно-импульсной обработки а) общий вид; б) промежуточная зона нагрева; в) основная зона нагрева; г) на расстоянии 20 мм от заглушки

На рисунке 1 видно, что макроструктура имеет различную балльность в зависимости от участка на поверхности штока:

- в промежуточной зоне нагрева - 10 балл;
- в основной зоне нагрева - 8-9 балл;
- на расстоянии 20 мм от заглушки - 6-7 балл.

Макроструктура титановых образцов с маркировками № 2, 3, 4, 5 представлена на рисунке 2.



Рис. 2 – Макроструктура титановых образцов после магнитно-импульсной обработки а) образец с маркировкой № 2; б) образец с маркировкой № 3; в) образец с маркировкой № 4; г) образец с маркировкой № 5

Определено, что балл макроструктуры составляет:

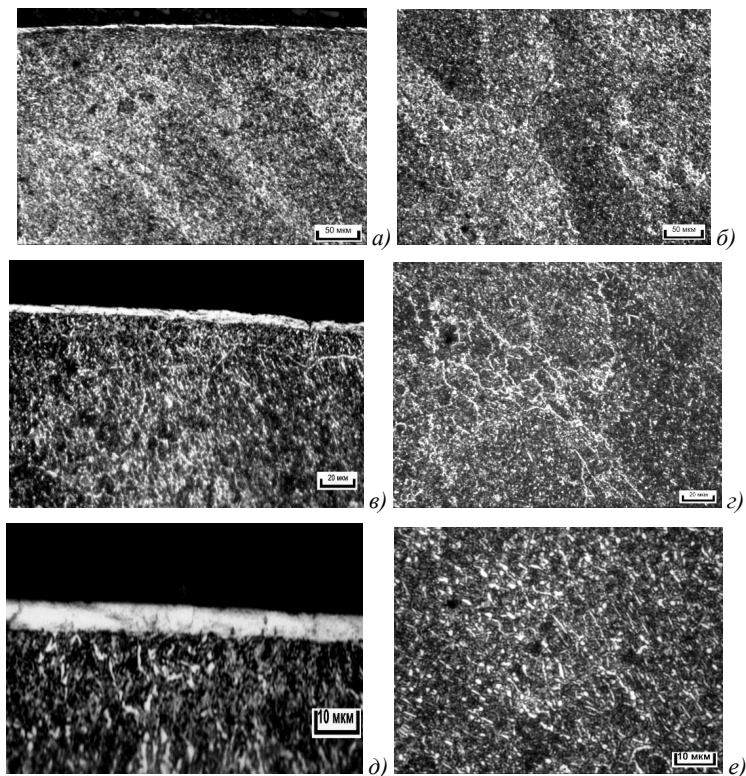
- образец с маркировкой № 2 (контрольный) – в сердцевине 7, 8 балл, у края поверхности 7, 8 балл;
- образец с маркировкой № 3 (импульс 4 кДж) - в сердцевине 7, 8 балл, у края поверхности 7, 8 балл;
- образец с маркировкой № 4 (импульс 6 кДж) - в сердцевине 7, 8 балл, у края поверхности 7, 8 балл;



- образец с маркировкой № 5 (импульс 8 кДж) - в сердцевине 7, 8 балл, у края поверхности 6 балл.

Т.к. оценка макроструктуры показала уменьшение балла зерна у края поверхности относительно сердцевины в образце № 5, на нем проводилось исследование микроструктуры с определением глубины воздействия магнитно-импульсной обработки. Исследование микроструктуры показало, что глубина измененного относительно сердцевины слоя у края поверхности составляет 1,5-2 мкм, возможно, это слой измененной структуры от воздействия ударной волны с микротвердостью 3000 -3100 МПа (рисунок 3).

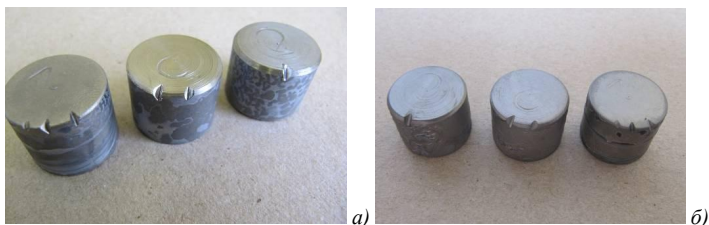
Затем наблюдается зона с незначительно измельченной структурой толщиной 10-20 мкм с микротвердостью 3600-3800 МПа, микротвердость сердцевины составляет 3500 – 3700 МПа.



а, б)  $\times 100$ ; в, з)  $\times 200$ ; д, е)  $\times 500$

Рис. 3 – Микроструктура образца титанового сплава с маркировкой №5 после магнитно-импульсной обработки у края поверхности (а, в, д) и сердцевине (б, з, е)

Общий вид и макроструктура образцов титанового сплава ВТ6С с маркировкой № 2 с одной, двумя, тремя засечками до и после травления представлены на рисунке 4.



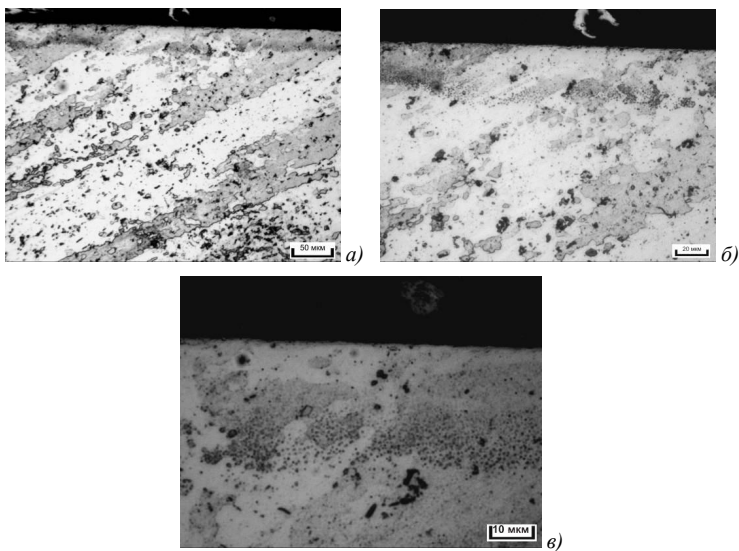
*а) до травления; б) после травления*

*Рис. 4 - Общий вид и макроструктура образцов титанового сплава ВТ6С с маркировкой № 2 с одной, двумя, тремя засечками до и после травления после магнитно-импульсной обработки*

Балл макроструктуры составляет:

- с одной засечкой (3 имп.) – в сердцевине 7,8 балл; на поверхности 5, 6 балл;
- с двумя засечками (4 имп.) - в сердцевине 7,8 балл; на поверхности 5 балл;
- с тремя засечками (6 имп.) - в сердцевине 7,8 балл; на поверхности 4, 5 балл.

Толщина измененного слоя у края поверхности на образце дюралюмина Д16 с маркировкой №3 после магнитно-импульсной обработки составляет 10 – 20 мкм (рисунок 5).



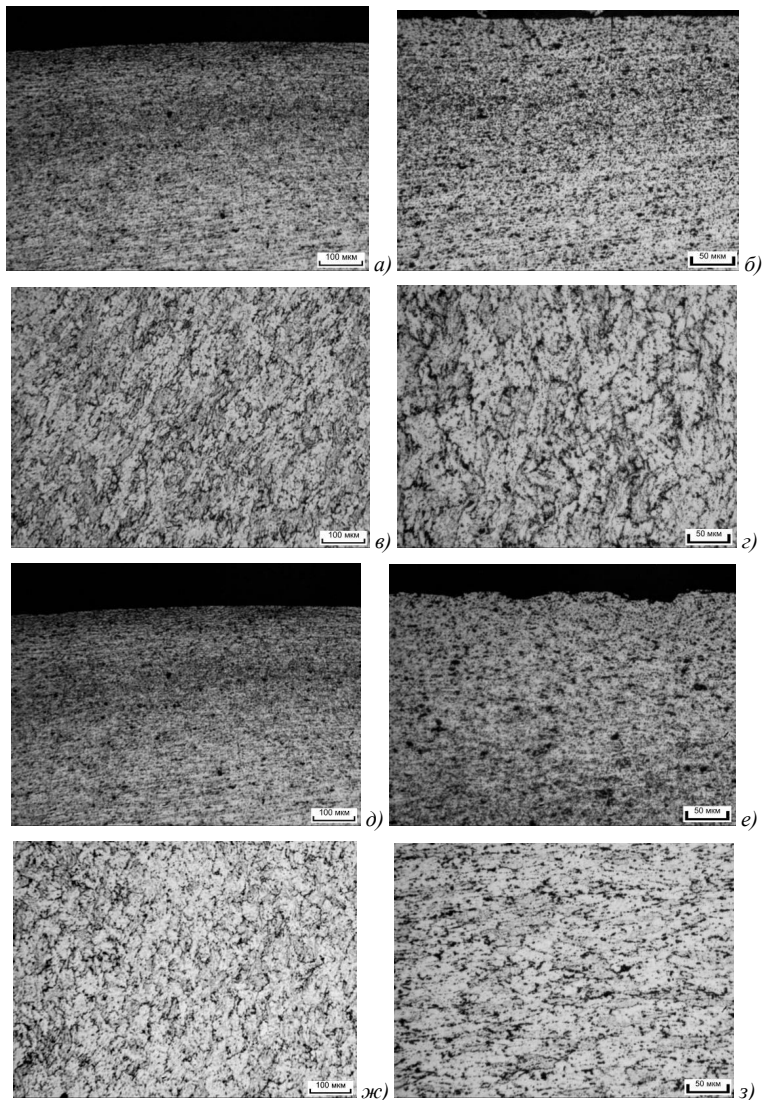
*а) x100; б) x200; в) x500*

*Рис. 5 – Микроструктура образца дюралюмина Д16 с маркировкой № 3 после магнитно-импульсной обработки у края поверхности.*



Видно, что по структуре на образце дюралюмина измененный слой у края поверхности имеет измельченную структуру. Микротвердость у края поверхности дюралюмина Д16 – 970-990 МПа, в сердцевине 900-950 МПа.

Микроструктура образца дюралюмина Д16 после магнитно-импульсной обработки в сечениях 1 и 2 (возле торца и посередине) представлена на рисунке 6.



*а, б) край сечения 1 (возле торца), x50, x100;*

в, з) сердцевина сечения 1 (возле торца),  $\times 50$ ,  $\times 100$ ;

д, е) край сечения 2 (посередине),  $\times 50$ ,  $\times 100$ ;

ж, з) сердцевина сечения 2 (посередине),  $\times 50$ ,  $\times 100$ ;

Рис. 6 – Микроструктура образца дюралюмина Д16 после магнитно-импульсной обработки в двух сечениях (рег. № 18457)

На рисунке видно, что у края образца в двух сечениях присутствует уплотненный слой с деформированными зернами в виде волокон на глубину не более 20 мкм с микротвердостью, измеренной на поверхности образца, равной 700-800 МПа относительно сердцевины 500-600 МПа.

Анализ представленных данных показывает следующее:

По образцам из титановых сплавов:

- имеется зависимость уменьшения макробалльности с увеличением мощности импульса;
- имеется зависимость по уменьшению макробалльности с увеличением количества импульсов;
- уменьшение макробалльности образцов при использовании МИОМ;
- наличие приповерхностного слоя с измельченной микроструктурой и увеличенной микротвердостью.

По образцам из алюминиевых сплавов:

- наличие приповерхностного слоя с измельченной микроструктурой;
- увеличение микротвёрдости приповерхностного слоя;
- увеличение микротвёрдости приповерхностного слоя образца из сплава Д16 значительно выше, чем у образца из сплава Д16Т.

На образцах из цветных сплавов получается пресс-эффект, позволяющий получить дополнительное упрочнение поверхности детали.

**Выводы.** Модифицирование поверхности деталей из титановых сплавов путем изменения МИОМ макробалльности поверхностного слоя позволит наносить качественные покрытия на детали со структурой, имеющей макробалльность от 5 и более баллов. Возможно использовать МИОМ для изменения балльности поверхностного слоя.

Возможно использование МИОМ для упрочнения приповерхностного слоя деталей из алюминиевых и титановых сплавов, что увеличит их износостойкость и ресурс.

Возможно упрочнение отдельных поверхностей.

**Применение магнитно-импульсной обработки на образце из стали 12Х18Н10Т с хромовым покрытием**

Общий вид стального образца с хромовым покрытием после магнитно-импульсной обработки с указанием выбранных заказчиком на исследование сечений – возле торца (сечение 1) и посередине (сечение 2) представлены на рисунке 7.



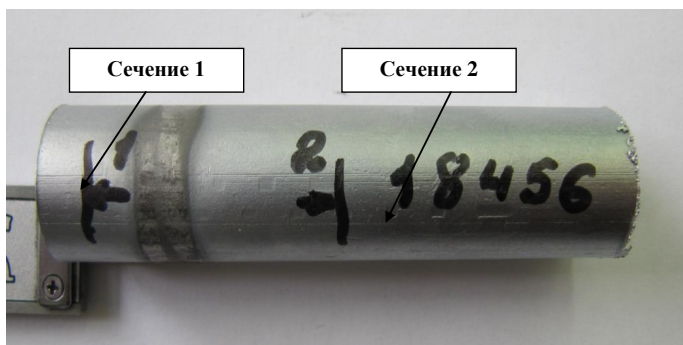
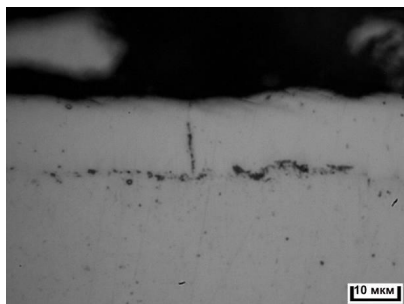
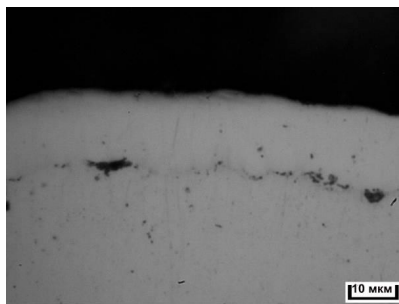


Рис. 7 – Общий вид образца из стали с Cr-покрытием (рег. № 18456) после магнитно-импульсной обработки с указанием вырезки сечений 1 и 2.

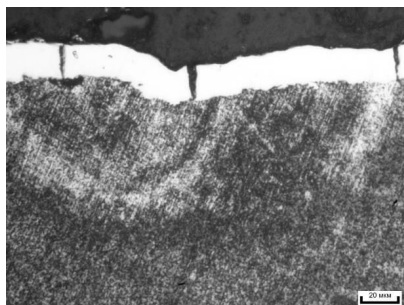
**Результаты.** Микроструктура образца стали с хромовым покрытием после магнитно-импульсной обработки в сечении 1 (возле торца) представлена на рисунке 8.



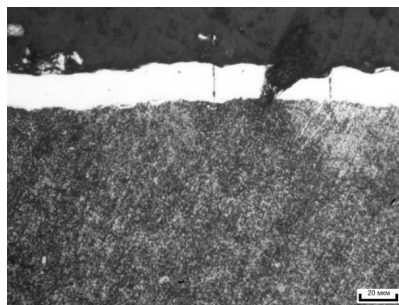
а) Увеличение  $\times 500$



б) Увеличение  $\times 500$



в) Увеличение  $\times 200$



г) Увеличение  $\times 200$

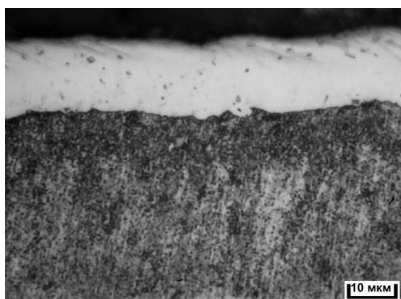
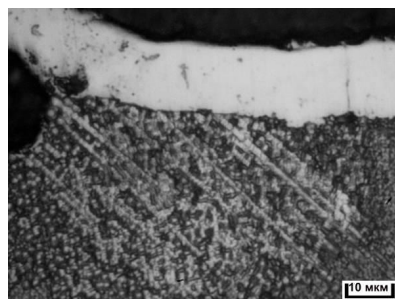
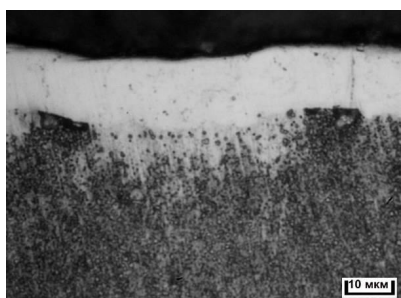
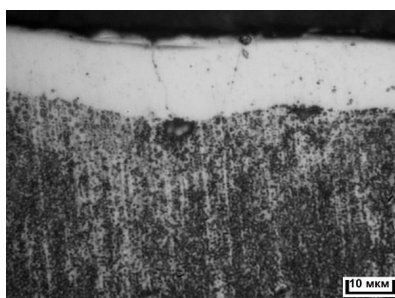
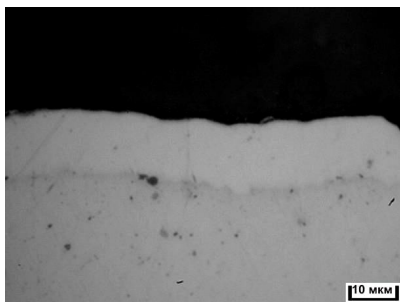
д) Увеличение  $\times 500$ е) Увеличение  $\times 500$ ж) Увеличение  $\times 500$ з) Увеличение  $\times 500$ 

Рис. 8 – Микроструктура образца стали с хромовым покрытием после магнитно-импульсной обработки, сечение 1 (возле торца) (рег. № 18456)

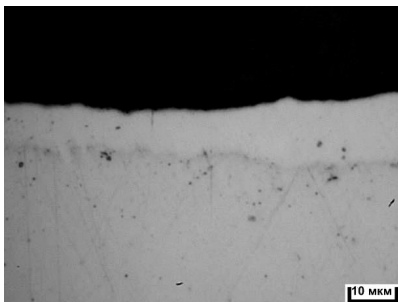
Толщина хромового покрытия составляет 18-20 мкм. Покрытие практически беспористое, имеет трещины. Пористость составляет не более 1-2 %. На границе раздела покрытие-основа наблюдаются несплошности в виде дырок. На стали в приграничной зоне присутствуют локальные участки МИО глубиной 30-40 мкм (рисунок 2 в, е) и участки со сплошным измененным слоем глубиной 10-20 мкм. Микротвердость хромового покрытия составляет 3900-4100 МПа, в приграничной зоне со стороны стали на участке обработки - 2400 МПа, в сердцевине - 1600 МПа.

Микроструктура образца стали с хромовым покрытием после магнитно-импульсной обработки в сечении 2 (посередине) представлена на рисунке 9.

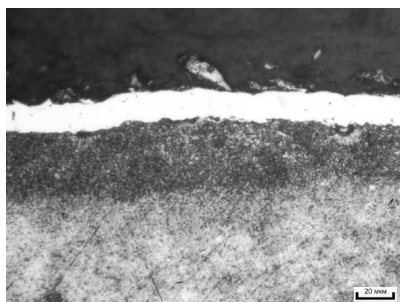




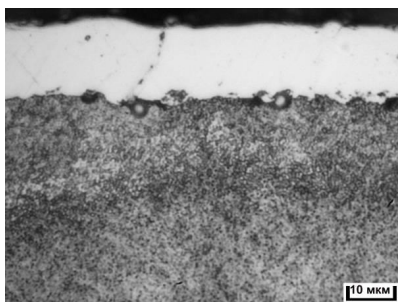
а) Увеличение x500



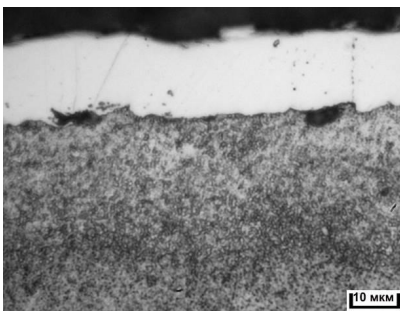
б) Увеличение x500



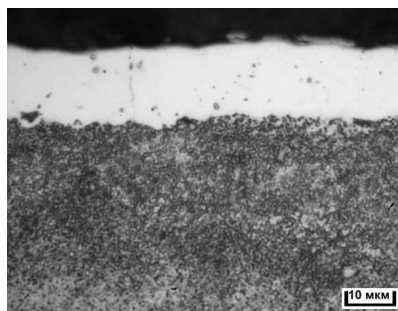
в) Увеличение x200



з) Увеличение x500



д) Увеличение x500



е) Увеличение x500

Рис. 9 – Микроструктура образца стали с хромовым покрытием после магнитно-импульсной обработки, сечение 2 (посередине) (рег. № 18456)

Толщина хромового покрытия неравномерна и составляет 10-20 мкм. Покрытие практически беспористое, имеет меньшее количество трещин, чем в сечении 1. Пористость не более 1-2 %. На границе раздела покрытие-основа также наблюдаются несплошности в виде дырок. На стали в приграничной зоне

присутствует сплошной измененный слой глубиной 40-90 мкм. Микротвердость хромового покрытия 4000-4400 МПа, в приграничной зоне со стороны стали на участке обработки 2600- 3500 МПа, в сердцевине - 1600 МПа.

**Анализ результатов.** Обычная пористость хромового покрытия, нанесенного гальваническим способом, с последующей обработкой алмазным выравниванием или БУФО составляет 5%. После МИО получена пористость 1-2%.

Трещины на покрытии, возможно, образовались из-за большой величины энергии МИО, воздействующей на образец.

Это подтверждается наличием упрочненного слоя глубиной 40-90 мкм под хромовым покрытием.

Упрочненный слой по микротвердости примерно в 2 раза выше микротвердости основного металла, в пересчете на  $\sigma=105 \text{ кгс/мм}^2$ , при том, что основной металл имеет  $\sigma=55 \text{ кгс/мм}^2$ . HV поверхностного слоя –  $350 \text{ кгс/мм}^2$ , что соответствует твердости закаленной стали 30ХГСА.

Микротвердость хромового покрытия соответствует микротвердости молочного хрома.

#### Выводы

Возможно применение МИО для упрочнения (нагартовки) поверхностного слоя для деталей из сталей типа 12Х18Н10Т.

При корректировке режимов возможно применение МИО для обеспечения герметичного хромового покрытия.

#### **Применение магнито-импульсной обработки для улучшения шероховатости поверхности деталей из титановых и алюминиевых сплавов**

Рассмотрим возможности МИОМ по получению необходимых свойств поверхностей деталей из титановых и алюминиевых сплавов для получения необходимой шероховатости поверхности.



*Рис. 10 - Образец (11Э)*

При различных режимах была проведена магнито-импульсная обработка образцов из титановых и алюминиевых сплавов, сталей.

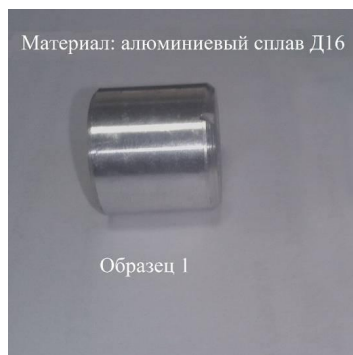


Рис. 11 - Образцы из сплавов Д16Т, Д16

Режимы и материал образцов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Режимы магнито-импульсной обработки образцов.

№ п/п	Материал	Маркировка	Режим обработки	Балл макроструктуры (в месте контроля)
1	ВТ6С	Контрольный (11Э)	Без обработки	6 с элементами 7-го
	ВТ6С	Контрольный (11Э) после МИО	Энергия – 6,1 кДж; на- пряжение – 5,2 кВ; число импульсов – 7.	4
2	Д16Т	1	Энергия – 6,1 кДж; на- пряжение – 5,2 кВ; число импульсов – 5.	
3	Д16	2	число импульсов – 9.	
4	30ХГСА	3	Энергия – 6,1 кДж; на- пряжение – 5,2 кВ; число импульсов – 5.	
5	12Х18Н10Т		Энергия – 6,1 кДж; на- пряжение – 5,2 кВ; число импульсов – 9.	

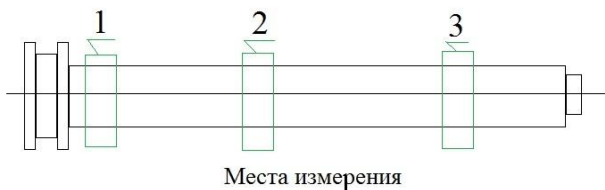


Рис. 12. - Схема измерения шероховатости

Таблица 2. Изменение шероховатости на обработанных образцах Ra (мкм):

Номер образца	Измерение в зоне 1	Измерение в зоне 2	Измерение в зоне 3
Материал – титановый сплав ВТ6С			
11Э до МИО	1,2	1,1	1,6
11Э после МИО 7 имп.	0,8-0,9	0,9	0,8-0,9
Материал – сталь 30ХГСА (исходная шероховатость 6,3)			
Образец 3 (1 риска) 5 имп.	3,0	2,0	-
Материал – алюминиевый сплав Д16Т и Д16 (исходная шероховатость 3,2)			
Образец 1 (1 риска) 5 имп.	1,1	0,86	-
Образец 2, 9 имп.	1,4	0,9	0,9

**Анализ полученных результатов.** После обработки МИО по титановым сплавам получено уменьшение шероховатости с Ra1,6 до Ra0,8, по алюминиевым сплавам уменьшение шероховатости с Ra3,2 до Ra0,9- Ra1,4, по стали уменьшение шероховатости с Ra6,3 до Ra2,0-Ra3,0. Независимо от марки материала с удалением от края индуктора улучшается шероховатость. Вероятно, это связано с распределением напряженности магнитного поля в индукторе.

Получение шероховатости Ra0,8 и Ra0,9 на титановых и алюминиевых сплавах после МИО показывает возможность использования МИО на этих сплавах вместо шлифования. На титановых сплавах это дает возможность исключить прижоги и улучшить макроструктуру, на алюминиевых сплавах – избежать засаливания шлифовальных кругов.

Улучшение шероховатости связано с уплотнением поверхностного слоя металлов при воздействии магнитного импульса.

### Выводы.

1. Применение МИО значительно улучшает шероховатость поверхности обрабатываемой детали.
2. Возможно применение МИО при обработке деталей из титановых и алюминиевых сплавов вместо операции шлифования.
3. Возможно применение МИО для увеличения коррозионной стойкости деталей.

Улучшение коррозионной стойкости.

Уплотнение поверхностного слоя приводит к увеличению коррозионной стойкости металлов.

Внешний вид образцов из стали 30ХГСА после годовой выдержки на воздухе, при  $T=23-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 13):

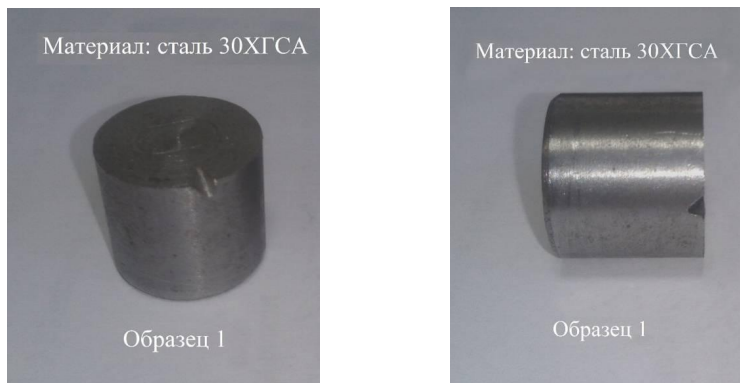


Рис. 13 – образцы из стали 30ХГСА.

Обычно коррозионные поражения гораздо сильнее.

#### **Общие выводы**

Магнито-импульсная обработка позволяет:

1. Модифицировать поверхности деталей из титановых сплавов путем изменения МИО макробалльности поверхностного слоя, что позволит наносить качественные покрытия на детали со структурой, имеющей макробалльность от 5 и более баллов. Использовать МИО для изменения балльности поверхностного слоя.
2. Использовать МИО для упрочнения приповерхностного слоя деталей из алюминиевых и титановых сплавов, что увеличит их износостойкость и ресурс.
3. Упрочнять отдельные поверхности деталей.
4. Значительно улучшать шероховатость поверхности обрабатываемой детали.
5. Применять МИО при обработке деталей из титановых и алюминиевых сплавов вместо операции шлифования.
6. При корректировке режимов обеспечивать герметичность хромового покрытия.
7. Применять МИО для увеличения коррозионной стойкости деталей.
8. Значительно, до нескольких минут, сократить время упрочнения поверхностных слоев деталей.
9. Упрочнять поверхностный слой для деталей из сталей типа 12Х18Н10Т до уровня твердости закаленных сталей типа 30ХГСА.

#### **Научно технический уровень и инновационность.**

Впервые в СНГ исследовано использование МИО для модификации поверхности и упрочнения деталей авиатехники из сплавов цветных металлов и улучшения их технологических, эксплуатационных и функциональных свойств.

МИО открывает пути упрочнения поверхностных слоев деталей без использования ХТО или нагартовки механическим инструментом. Значительно



сокращает время упрочнения. Нет необходимости в печах, станках и инструменте для упрочнения. Возможно применение в области ремонта авиационной техники, в области ремонта и восстановления механизмов транспорта и машиностроения, при изготовлении деталей.

### **Список литературы:**

1. Инструкция ВИАМ ПИ 1.2.089-78 «Хромирование деталей из титановых сплавов»
2. Технологическое указание ТУК 100-75 «Хромирование деталей из титановых сплавов»
3. Инструкция ВИАМ ПИ 1.2.023-77 «Химическое никелирование деталей из титановых сплавов»

*Научное издание*

7-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
ПО ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИМ ПРОБЛЕМАМ, ПРОБЛЕМАМ ОБОРОНЫ  
И БЕЗОПАСНОСТИ, ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИЙ ДВОЙНОГО  
ПРИМЕНЕНИЯ

(Минск, 20–22 мая 2017 г.)

Сборник научных статей

В трех частях

Часть 1

*Статьи публикуются в авторской редакции*

Ответственный за выпуск: *В.В. Казбанов*  
Редакторы: *О.Г. Тиханович, Ю.М. Сафонова*  
Компьютерная верстка: *Ю.М. Сафонова*  
Дизайн обложки: *Ю.М. Сафонова*

Подписано в печать 18.05.2017.  
Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 23,48. Уч.-изд. л. 18,82.  
Тираж 79 экз. Заказ 461.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
ОДО «Издательство “Четыре четверти”».  
Свидетельство о государственной регистрации  
издателя, изготовителя и распространителя печатных изданий  
№ 1/139 от 08.01.2014, № 3/219 от 21.12.2013.  
Ул. Б. Хмельницкого, 8-215, 220013, г. Минск.  
Тел./факс: (+375 17) 331 25 42. E-mail: info@4-4.by

