



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ, ФИЛИАЛ ПЛОВДИВ

Факултет по машиностроене и уредостроене

Катедра „Танспортна и авиационна техника и технологии“

маг. инж. Ивайло Марков Георгиев

**ЕФЕКТИВНО И БЕЗОПАСНО ИЗПОЛЗВАНЕ НА ВЕРТОЛЕТИ ЗА
ГАСЕНЕ НА ГОРСКИ ПОЖАРИ**

АВТОРЕФЕРАТ

На дисертация за придобиване на образователна и научна степен

"ДОКТОР"

Научна специалност: "Навигация, управление и експлоатация на въздушния
транспорт"

Професионално направление "Транспорт, корабоплаване и авиация"

Научен ръководител: проф. д-р инж. Добрин Сейзински

гр. Пловдив, 2022г.

СЪДЪРЖАНИЕ

Увод

ГЛАВА I. АНАЛИЗ НА СЪСТОЯНИЕТО НА ВЪПРОСА

1.1. Общо състояние на проблема с гасенето на планинските и горски пожари

1.2. Особености на използването на авиационни средства за пожарогасене

1.3. Исторически аспекти на развитието и използването на вертолети за пожарогасене

1.4. Аналитичен преглед на изследванията, свързани с използването на вертолети за пожарогасене

Изводи по Глава I

ГЛАВА II. МЕТОДОЛОГИЯ ЗА ПОВИШАВАНЕ ЕФЕКТИВНОСТТА НА ГАСЕНЕ НА ПОЖАРИ ОТ ВЕРТОЛЕТИ С ОКАЧВАЕМА СИСТЕМА ЗА ПОЖАРОГАСЕНЕ

2.1. Общо описание на технологичния процес на гасене на пожари от вертолети с окачваема система за пожарогасене

2.2. Ефективност на гасенето на пожари от вертолети с окачваема система за пожарогасене

2.3. Методи за сигуряване безопасността на полетите при гасене на пожари от вертолети с окачваема система за пожарогасене

2.4. Методика за определяне на параметрите при използване на вертолети за гасене на горски пожари

Изводи по Глава II

ГЛАВА III. ИЗСЛЕДВАНИЯ ЗА ПОВИШАВАНЕ ЕФЕКТИВНОСТТА НА ГАСЕНЕ НА ПОЖАРИ С ВЕРТОЛЕТИ С ОКАЧВАЕМА СИСТЕМА ЗА ПОЖАРОГАСЕНЕ

3.1. Експериментални изследвания с вертолет Ми-17 с окачваема система за пожарогасене Vambi bucket

3.2. Повишаване на ефективността на пожарогасене при използване на различни типове вертолети

3.3. Изследвания за използване маневрените свойства на вертолета с окачваема система за пожарогасене с цел повишаване ефективността на гасене на пожари

3.4. Определяне на граничните параметри на полета при усложнени или извънредни ситуации

Изводи по Глава III

ГЛАВА IV. ПРЕПОРЪКИ ЗА ПОДОБРЯВАНЕ ЛЕТАТЕЛНАТА ЕКСПЛОАТАЦИЯ НА ВЕРТОЛЕТА, С ЦЕЛ ПОВИШАВАНЕ ЕФЕКТИВНОСТТА И БЕЗОПАСНОСТТА НА ПОЖАРОГАСЕНЕ

4.1. Препоръки по осигуряване безопасността на полетите на вертолет с окачваема система за пожарогасене при подготовка за полета, излитане, заход за запълване и полет до мястото на пожара

4.2. Препоръки при маневриране на вертолета при захода за гасене и в процеса на изливане на водата от окачваемата система за пожарогасене

4.3. Препоръки при пилотирането на вертолет с окачваема система за пожарогасене и начини на действие на екипажа след възникване на колебания на самата система

Изводи по Глава IV

Изводи по дисертационният труд

Заклучение

Литература

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на темата. Ежегодно на нашата планета Земя възникват около 400 хиляди горски пожара[107], като площта, засегната от тях, представлява 0,5% от общата горска площ и изхвърля в атмосферата милиони тонове продукти от горенето. Тези пожари са неконтролируеми стихийни бедствия, които горят в продължение на дни и седмици и могат да унищожат цяла гора и почти цялата органична материя в нея. Те нанасят сериозни щети на природата и на икономиката на съответната държава. Някои от възникналите пожари придобиват катастрофални размери.

Най-много горски пожари възникват в САЩ, Канада, Русия, Испания, Португалия, Франция, Гърция, Турция и Австралия. Горските пожари са обичайно явление и в страните от Южна Америка – Аржентина, Перу, Бразилия и Чили. В България пожарната ситуация през последните 30 години далеч не се различава от тази в страните от Средиземноморския район. Поради това в тези държави, както и у нас, една от най-актуалните задачи в съвременните условия е създаването на комплексна система за защита на населението и територията от тези пожари, насочена към повишаване на ефективността на мероприятията по ликвидация на последствията от пожарите чрез използване на съвременни технологии и технически средства.

В реализацията на тази задача важно място се отделя на авиацията като съставна част от единната транспортна система. Важна роля в борбата с горските пожари се отделя на вертолетната авиация, чийто основен проблем е осигуряването на високо ниво на ефективност и безопасност на летателната експлоатация на въздухоплавателните средства. Актуалността на проблема на безопасността на полетите при ликвидацията на пожарите е обусловена от спецификата на летателната експлоатация на вертолетите в тези екстремни

условия. Тя е свързана с използването на опасни режими на полета при малки скорости и на пределно малки височини, с транспортиране на специални устройства на външно окачване и с доставка на огнегасяща течност с нужната концентрация в огнището на пожара. Характеризира се с изключително висока срочност и непредвидимост, както и с екстремни организационно-технологични условия в зоната на пожара. Актуалността на ефективността на използване на вертолета с окачваема система за пожарогасене зависи от фактори като скоростта и ускорението на полета, турбулентността на атмосферния въздух и възходящия поток в огнището на пожара, индуктивния поток на носещото витло, пространственото положение на изходното отворстие на водосливното устройство, способа на подаване на течността към изходното отворстие и др.

Необходимостта от внедряване на комплексната сиситема за защита на населението и територията от горските пожари с използване на специално оборудвани вертолети и несъответствието на прилагените за тази цел традиционни авиационни работи, създават условия за преразглеждане и уточняване на съществуващите подходи за използване на вертолетите за гасене на горски пожари, имащи достатъчно ниво на безопасност и ефективност. Трябва да се отбележи, че цялостна концепция за решаване на тези проблеми още не е направена.

В дисертацията, в качеството на информационни източници, са използвани резултатите от летателните изпитвания и изследвания на оборудване и технологии за гасене на пожари, материали за теоретични и експериментални изследвания в областта на динамиката на движение и стабилизация на водосливни устройства, външно окачени на вертолета, статистически и периодични данни за състоянието на безопасността на

полетите, актове и материали по разследване на авиационни произшествия, а също така и резултати от собствени разчети и летателни експерименти.

Настоящата работа, по мнение на автора, трябва да допълни проведените по-рано изследвания в областта [6-14,20,24,37-57] на разгледаните проблеми и да разшири представата за използване на вертолетите с окачваема система за пожарогасене при гасене на горски пожари.

По този начин, в дисертацията се решава актуалният проблем за осигуряване на ефективност и безопасност при гасене на горски пожари, обусловен от особеностите на летателната експлоатация на вертолетите с окачваема система за пожарогасене, провеждана в сложни условия.

До извършването на това дисертационно изследване в дадената област на науката и практиката у нас няма друго аналогично.

Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване

Цел на дисертационния труд. Определяне най-съществените фактори, анализ на тяхното влияние върху ефективността и безопасността на гасене на пожари от вертолет с ОСП и разработване на препоръки за подобряване на летателната експлоатация на вертолети с окачваема система за пожарогасене.

Основни задачи:

1. Да се анализира състоянието на проблема, историческите аспекти на използването на въздухоплавателни средства за гасене на пожари и изследванията свързани с тази дейност
2. Да се анализира методологията за повишаване на ефективността и безопасността при гасене на пожари от вертолети с ОСП.
3. Да се изследва повишаването на ефективността на гасене на пожари от вертолети с ОСП.

4. Да се разработят препоръки за подобряване на летателната експлоатация на вертолета при пожарогасене.

Обект на изследването: процесът на летателна експлоатация на вертолети с окачваема система за пожарогасене, разглеждан в рамките на динамичната система „екипаж-вертолет-окачваема система за пожарогасене“ под въздействие на външните фактори в условията на гасене на горски пожари.

Предмет на изследването: технологии, методи и средства за повишаване на ефективността и безопасността на летателната експлоатация на вертолетите с окачваема система за пожарогасене при гасене на горски пожари.

Методи на изследване: За решаване на поставените в дисертационната работа задачи е приложен системният подход с използване на метода на летателните изпитвания и математическата обработка на резултатите и метода на системния анализ.

Апробация на резултатите и публикации

Основните резултати, получени при разработка на дисертационния труд са докладвани в четири публикации на специализирани конференции в следните публикации.

1. Методологически аспекти на безопасното и ефективно гасене на пожари с вертолет с окачваема система за пожарогасене. **Ивайло Георгиев, Добрин Сейзински.** Научна конференция Техсис 2017.Пловдив. ISSN CD-ROM: 2367-8577, 18 – 20 май 2017, стр. 310-314.
2. Ефективно използване на вертолет с окачваема система за пожарогасене Vambibucket. **Ивайло Георгиев, Добрин Сейзински, Христиан Панайотов.** Военнонаучна конференция „Съвременни

аспекти на сигурността – предизвикателства, подходи, решения“, Военна Академия Г.С.Раковски, София, ISSN 1312-2991, 20 и 21 юни 2018 г., стр.244- 249.

3. Особенности в осигуряване безопасността на полетите на вертолет с окачваема система за пожарогасене. Ивайло Георгиев, Добрин Сейзински. Военнонаучна конференция „Съвременни аспекти на сигурността – предизвикателства, подходи, решения“, Военна Академия Г.С.Раковски, ISSN 1312-2991, 20 и 21 юни 2018 г., стр.250-254.
4. **D. Seyzinski, I. Georgiev, H. Panayotov, S. Penchev**, Effective use of a helicopter with a Bambi bucket firefighting system in Bulgaria, 11th International Scientific Conference on Aeronautics, Automotive and Railway Engineering and Technologies ,BulTrans-2019, Sozopol, Bulgaria,10–12 September 2019, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 664, Issue 1, Article number 012005, doi:10.1088/1757-899X/664/1/012005, ISSN:1757-8981

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от 111 страници, като включва увод, 4 глави за решаване на формулираните основни задачи, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо 119 литературни източници. Работата включва общо 29 фигури и 13 таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА 1. Анализ на състоянието на проблема

В първа глава се разглежда проблема с горските пожари, както в световен план, така и в България. Представени са две таблици, показващи броя пожари и изгорялата горска площ в България през последните 25 години. Проследено е историческото развитие на въздухоплавателните средства и технологиите използвани за гасене на пожари. Направен е анализ на подходите в работата на научните екипи [7, 8, 12-14, 21-29, 33, 37-56, 83-93]

Изводи по глава 1:

1. Горските пожари стават един от световните проблеми, не само заради непрекъснато увеличаващите се на брой, но и заради тяхната мащабност.

2. Практиката за използване на въздухоплавателни средства в борбата срещу горските пожари показва, че те имат значителни предимства пред наземните средства. Пожарните самолети и вертолети могат бързо да достигнат до източника на пожар навсякъде, включително когато достъпът от земята е просто невъзможен, и да започне гасене преди пожарът да се разпространи на голяма площ.

3. Използването на ВС изисква участието на значително по-малко хора в наземните екипи, но и често струва по-малко. Това намалява риска от смърт и нараняване на персонала, участващ в борбата срещу пожарите.

4. Решаването на проблема с планинските и горски пожари е цел на редица световни научни екипи, усъвършенстващи настоящите и създавайки нови средства и технологии за пожарогасене.

ГЛАВА 2. Методология за повишаване ефективността на гасене на пожари с вертолети с окачваема система за пожарогасене

В глава 2 е разгледан общия технологичен процес за гасене на горски пожари (ТПГП) от вертолети с окачваема система за пожарогасене. Като под технологичен процес на гасене на пожари се разбира съвкупност от операции, насочени към гасенето на пожари. Най-важните свойства на това гасене са достигането на максимална ефективност на действията на пожарните средства и намаляване на загубите от горския пожар.

При разглеждане на технологичния процес на гасене на горски пожари (ТПГП) трябва да се отчитат следните техни особености:

- неопределеност на началото и края на ТПГП, които се определят от природните условия;
- стохастичност на параметрите на ТПГП, определяна от природните условия;
- многовариантност на технологичните операции, която се определя от природните и технологичните фактори;
- наличие на редица опасни ситуации, изискващи не само точна оценка на обстановката, но и възможните резервни действия в случай на изменение на ситуацията;
- големи материални разходи, свързани с използването на противопожарни средства и със загубите от пожара при неефективност на тези средства.

Разгледана е ефективността, като резултат от извършената работа. В теорията на ефективността на системите под ефективност се разбира най-общото, определящо свойство на всяка целенасочена дейност, което се

разкрива чрез категорията цел и обективно се изразява със степента на достигане на целта с отчитане на разходите на ресурси и време.

Под цел се разбира идеалното представяне на желаемия (изисквания) резултат в границите на някакъв интервал от време.

Ефективността на операцията е степента, до която действителният резултат съответства на необходимия, или степента, до която целта на операцията е постигната. Математически ефективността може да бъде представена по следния начин:

$$E = E_o \cdot P, \quad (2.1)$$

където E – общ показател на ефективността;

E_o – базова ефективност;

P – вероятност за постигане на базовата ефективност.

Показателят на ефективност при гасене на пожари е количествена характеристика на едно или няколко свойства на ефективността на ТППГ. Той е мярка за степента на съответствие на действителния резултат от операцията на необходимия резултат или мярката за степента на постигане на целта на операцията.

В повечето изследвания в областта на пожарогасенето под ефективност на пожарогасенето се разбира отношението на попадналата в огнището на пожара вода към общото количество излята вода. В настоящата работа това определение се приема и за ефективност на пожарогасенето с вертолет с ОСП. Върху ефективността на използване на вертолет с ОСП влияят редица фактори, най-съществените от които са:

- пожаро-техническите възможности на използваните системи за пожарогасене;
- тактико-технически характеристики на вертолета;
- природо-климатичните условия.

Разгледани са методологически аспекти за осигуряване на безопасност на полетите при гасене на пожари с вертолети с окачваема система за пожарогасене от гледна точка на риска при извършване на тази дейност. В документите на ИКАО (Doc 9858-AN/460) под понятието безопасност на полетите се разбира такова състояние на авиационната система, при което рискът да причинява вреда на имуществото или на персонала не е по-висок от определено приемливо ниво.

Използвайки формулата на Е. А. Куклев концепцията за риска съгласно ИКАО може да се зададе в математичен вид чрез понятието рисково събитие R [111]:

$$R = A_{kp}(\omega_{\zeta} / \mu_1, H_R, \Sigma_0), \quad (2.2)$$

За вертолетите с окачваема система за пожарогасене в процеса на гасене на пожар нивото на безопасността на полетите може да се определи чрез нивото на опасност, показващо значимостта на риска във вид на интегрална функция на прогнозируемото количество опасности в изследваната система:

$$\hat{R} = \hat{f}(\mu_1, \bar{H}_R / \Sigma_0) \quad (2.3)$$

Провеждане на анализ на особените условия на експлоатация на В – ОСП на различни етапи на полета в рамките на ограниченията е друг от методите за повишаване на безопасността на полетите. Целта на анализа е оценка пределните експлоатационни възможности на вертолета при въздействието на външни фактори.

Ефективността на излятата течност и безопасността на полетите при пожарогасене са основни елементи и са в тясна зависимост по между си. При ниска височина на полета горещият въздух е беден на кислород, поради което съществува опасност от помпаж на двигателите и възникване на катастрофална ситуация.

Предложена е методиката за пресмятане на технологичните параметри на пожарогасене, като това се отнася за детерминирано представяне на този процес. Това се обяснява с факта, че повечето от характеристиките на пожара не притежават статистическа устойчивост.

Изводи по глава 2:

1. Основната задача за осигуряване на ефективност на технологичният процес за гасене на пожари е разработването и реализацията на методи, осигуряващи тази ефективност.

2. Безопасността на полетите е основен приоритет при извършване на всяка една авиационна дейност. Полетите за гасене на пожари са особено трудни и деликатни задачи. Високата ефективност и безопасност на полетите са неразривно свързани една с друга и непосредствено зависят от експлоатационните възможности на системата В - ОСП и от качеството на пилотирането.

3. Разработената методика позволява при определяне на параметрите на пожара, да се избере необходимия брой въздухоплавателни средства за най – ефективно въздействие върху него.

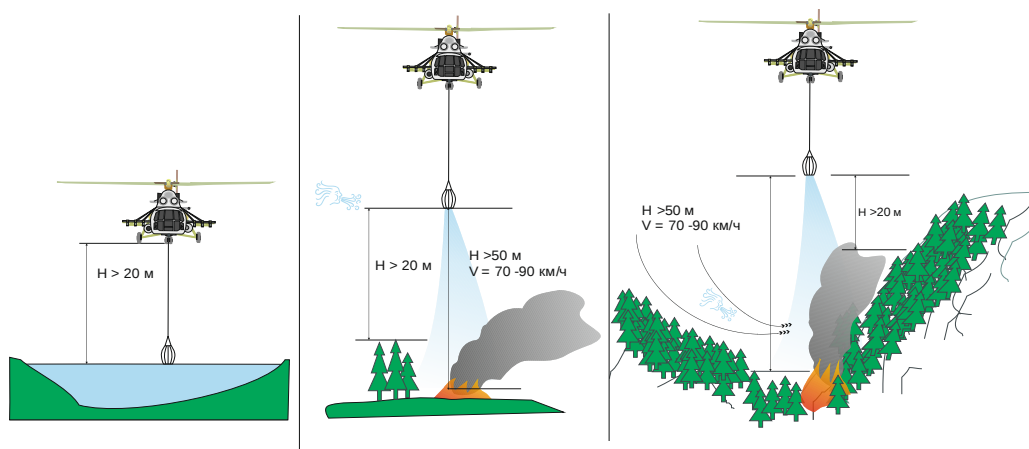
ГЛАВА 3. Изследвания за повишаване ефективността на гасене на пожари с вертолети с окачваема система за пожарогасене

В глава 3 е приведена основната изследователска част. Целта на проведените първоначални изследвания е определяне ширината на овлажнената полоса и да се измери ъгълът на отклонение на системата за пожарогасене в посока опасното витло, при което се получиха следните резултати приведени в Таблиза 3.1.

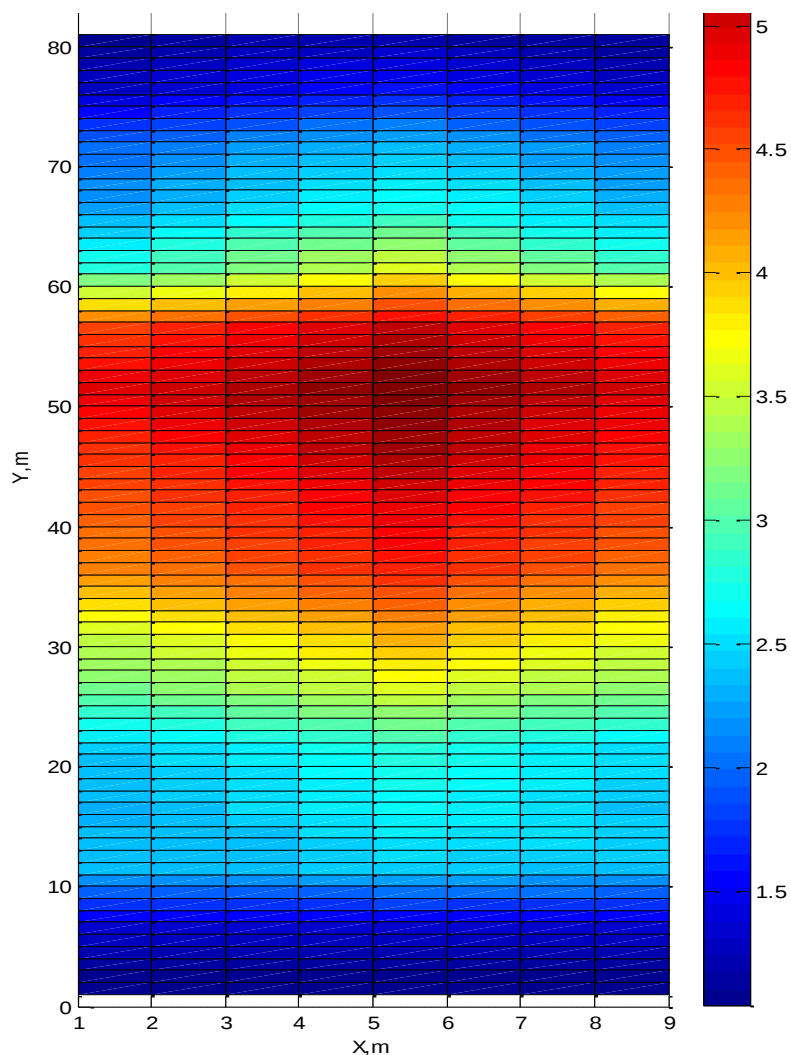
Таблица 3.1. Зависимост на ширината и дължината на овлажнената полоса от скоростта на полета и отклонението на Bambi bucket след изливането на водата

Скорост, km/h	Време за изливане на водата, s	Ширина на полосата, m	Дължина на полосата, m	Отклонение на въжето след изливане на водата, (°)
80	4,0	8,2	89	52
90	4,0	8,4	100	55
100	4,0	8,6	111	58
120	4,0	8,8	133	60

Целта на следващите изследвания е определяне минималната безопасна височина за пожарогасене и измерване на концентрацията на излята вода по земната повърхност. За постигане на тази цел предварително е подготвена полоса с разположени по нея на равни разстояния пластмасови съдове за измерване на количеството течност. Това изследване дава отговор на въпроса колко от излятата течност по земната повърхност е в състояние да спре процеса на пиролиза на твърдите горими материали.



Фигура 3.1. Минимална допустима височина за изливане на водата



**Фиг. 3.2. Разпределение на падналата вода в l/m^2 върху предварително
определената полоса при $V_{пол}=80km/h$ и $H_{пол}= 50m$**

Имайки предвид теорията на Абдурагимов [1-3] за прекратяване на пиролизата на твърди горими материали (сваляне на температурата под $200^{\circ}C$ за време $15\ min$) и за пълно загасяне на огнището (температурата на ТГМ под $20^{\circ}C$) е необходимо и задължително съвместна работата на наземни и въздушни екипи. Покритата площ, на която е възможно прекратяването на пиролизата, съгласно получените резултати е $240\ m^2$.

За пълното прекратяване на пожара, разпространен на такава площ, е необходимо последователно изливане на вода от няколко вертолета в рамките на 5-10 min. В зависимост от отдалечението на водоизточника от пожара може да се използват съответно три вертолета при отдалечение 10 km или четири вертолета при отдалечение 15-20 km.

На база изготвената методика е направена сравнителна оценка на използваните в авиобаза Крумово вертолети Ми-17 и AS532AL за пожарогасене на база километров и часов разход на гориво, приведени в **Таблица 3.10.**

Таблица 3.10. Максимален брой заходи за гасене на пожар в зависимост от S_1 (Разстояние „летище-водоем“) и S_2 (Разстояние „водоем-пожар“) на височина до 1000m

S_1 , Разстояние „летище-водоем“	S_2 , Разстояние „водоем-пожар“	Брой заходи Ми - 17	Брой заходи AS532AL
75	5	24	23
	10	13	13
	15	9	9
	20	7	7
100	5	20	20
	10	11	12
	15	8	8
	20	6	6
125	5	17	17
	10	9	10
	15	6	7
	20	5	5
150	5	13	14
	10	7	8
	15	5	6
	20	4	5

От направеното сравнение за двата типа вертолети можем да направим извода, че броят на изливанията е еднакъв. Разликата в количеството излята течност се явява и разлика в качеството на изпълнената задача, защото на използвания тип Bambi bucket от AS532AL количеството изливана вода е с 20% по малко и, съответно, ефективността на пожарогасене е по-ниска.

Основните маневри, използвани при гасене на пожари, в процеса на които се осъществява изливане на огнегасящата течност в огнището на горене, са:

- праволинеен хоризонтален полет;
- установен или форсиран завой – метода е подробно описан в [7];
- горка.

При повечето вертолети, имащи турбовални двигатели, максималното значение на температурата пред компресора е $50\div 60^{\circ}\text{C}$ при коефициент на устойчивост по помпаж $12\div 17\%$. Като се има предвид, че коефициентът на стабилност се определя от свързаните с температурата приведени стойности на оборотите на ротора на компресора и въздушния поток през двигателя, като ограничение за помпаж при извършване на полети за гасене на пожар максималната температурата на въздуха на входа на двигателя може да се определи около 70°C .

Превишението на температурата в зоната на пожара може да бъде определена чрез следната формула:

$$\Delta T_k = 230,6 - 151,37 \ln(h_{пл}/D) + 78,89 Fr, \quad (3.6)$$

Определени са граничните условия на полета при попадане в усложнени или извънредни ситуации в процеса на пожарогасене. Разгледани са вариантите за отказ на един двигател в процесите на вземане на вода и излитане.

Изводи по глава 3:

1. От направените изследвания можем да обобщим, че само около 1/3 от излятата вода по земната повърхност позволява спиране процеса на пиролиза. При увеличаване на скоростта и височината на полета концентрацията на излятата вода по земната повърхност на единица повърхност намалява, което води до намаляване възможността за спиране процеса на пиролизата, а от там и за гасене на пожара.

2. Използване на късо въже (2-5 m към ОСП) позволява зависване на вертолета за вземане на вода и излитане в зоната на влияние на въздушната възглавница. По този начин се повишава броя на заходите за пожарогасене (не се налага ограничаване на горивото за сметка на обема), както и безопасността на полета, тъй като вертолета не попада в опасната зона на съчетаване на минимална скорост и височина при отказ на един двигател.

3. Чрез използване на подходящите маневрени свойства на вертолета, съобразени с типа пожар, позволява повишаване ефективността на процеса на пожарогасене и повишаване безопасността на полетите.

4. Авиационните произшествия и инциденти с вертолети, извършващи полет с товар на външно окачване(каквато е ОСП Bambi bucket), се наблюдават по-често поради спецификата на тяхната работа.

5. Полетите на пределно малка височина, влиянието на външни фактори и честото пилотиране на преходни режими, са предпоставка за допускане на авиационни инциденти.

6. Необходимо е в бъдеще да бъдат разгледани проблемите за възникване и отстраняване на колебанията на товара на външно окачване и да се създаде методика за пилотиране на вертолет с ОСП. При

разработването на тази методика следва да се използва опита на пилотите, които имат висока специална подготовка и летателно майсторство.

ГЛАВА 4. Препоръки за подобряване летателна експлоатация на вертолета, с цел повишаване ефективността и безопасността на пожарогасене

В глава 4 са изготвени препоръки за:

- Препоръки по осигуряване БП на вертолет с ОСП при подготовка за полета, излитане и заход за напълване на ОСП и полет до мястото на пожара;
- Препоръки при маневриране на вертолета при захода за гасене и в процеса на изливане на водата от ОСП;
- Препоръки при пилотирането на вертолет с ОСП и начини на действие на екипажа след възникване на колебания на ОСП.

Изводи към дисертационния труд

1. Горските пожари стават един от световните проблеми, не само заради непрекъснато увеличаващите се на брой, но и заради тяхната мащабност.
2. Практиката за използване на въздухоплавателни средства в борбата срещу горските пожари показва, че те имат значителни предимства пред наземните средства. Пожарните самолети и вертолети могат бързо да достигнат до източника на пожар навсякъде, включително когато достъпът от земята е просто невъзможен, и да започне гасене преди пожарът да се разпространи на голяма площ.
3. Безопасността на полетите е основен приоритет при извършване на всяка една авиационна дейност. Полетите за гасене на пожари са особено трудни и деликатни задачи. Високата ефективност и безопасност на полетите са неразривно свързани една с друга и

непосредствено зависят от експлоатационните възможности на системата В - ОСП и от качеството на пилотирането.

4. От направените изследвания можем да обобщим, че само около 1/3 от излятата вода по земната повърхност позволява спиране процеса на пиролиза. При увеличаване на скоростта и височината на полета концентрацията на излятата вода по земната повърхност на единица повърхност намалява, което води до намаляване възможността за спиране процеса на пиролизата, а от там и за гасене на пожара.
5. На база проведените летателни изпитания беше установено:
 - a. Окачваемата система за пожарогасене Vambi bucket може да бъде използвана както за прокарване на опорни/заградителни полоси, така и за гасене на малки низови пожари;
 - b. Разпределението на излятата по земната повърхност вода зависи от скоростта и височината на полета на вертолета и от силата и посока на вятъра;
 - c. Максимална ефективност се постига при скорост от 80 km/h и височина 50 m, като количеството излята вода е в границите $1,2 \div 5,5 \text{ l/ m}^2$ при напълно спазване безопасните условия на експлоатация на авиационната техника.
6. Използване на късо въже (2-5 m към ОСП) позволява зависване на вертолета за вземане на вода и излитане в зоната на влияние на въздушната възглавница. По този начин се повишава броя на заходите за пожарогасене (не се налага ограничаване на горивото за сметка на обема), както и безопасността на полета, тъй като вертолета не попада в опасната зона на съчетаване на минимална скорост и височина при отказ на един двигател.

7. Определени са насоките за подобряване авиационните технологии за пожарогасене, заключаващи се в комплексно използване на наземните екипи, авиационните средства за мониторинг и пожарогасене в зависимост от типа пожар, площта и неговата интензивност.
8. Предложените методи за изливане на вода от „горка“ и „разворот на горка“ осигуряват достатъчно ниво на безопасна експлоатация на авиационната техника без загуба на ефективност чрез безопасно отдалечаване от конвективната зона.
9. На база проведените съпоставки между вертолетите Ми-17 и AS532AL и използваните от тях въжета за окачване на ОСП се достигна до извода, че броя изливания е еднакъв. Разликата в количеството излята вода се получава вследствие разликата в обемите на съответните системи Vambi bucket. С цел подобряване ефективността на използване на вертолет Ми- 17 при пожарогасене на височина над 2000 *m* е необходимо използване на въже с дължина 5 *m*.
10. Разработени са препоръки за отстраняване на колебанията на ОСП вследствие влиянието на външни фактори или грешки в техниката на пилотиране.

Заключение:

Проведените в дисертационната работа теоретични и практически изследвания по актуалните въпроси за повишаване на ефективността и безопасността в летателната експлоатация на вертолетите с ОСП при извършване на пожарогасене, позволяват да се достигнат поставените в работата цели. Процесът на летателна експлоатация на въздухоплавателните средства при пожарогасене на горски пожари изисква от екипажите много добро ниво на теоретична подготовка, високо майсторство в техниката на

пилотиране и психическа устойчивост за работа в негостоприемна среда. Необходимо е за бъдеще, да бъде разработена методика за пожарогасене, с цел подобряване съвместната работа между наземните сили и екипажите на въздухоплавателни средства.

Научноприложни приноси

1. Въз основа на направения литературен анализ са формулирани количествени и качествени показатели на ефективността и безопасността на използване на вертолети за гасене на горски пожари.
2. Разработена е методика за определяне на параметрите при използване на вертолети за гасене на горски пожари.
3. Проведени са експериментални изследвания за определяне на ефективността на пожарогасене по критерий отношение на попадналата в огнището вода към общото количество излята такава.
4. Установени са максималния брой заходи за гасене на пожара в зависимост от разстоянията „ летище – водоем“ и „ водоем – пожар“ при максимално зареждане с гориво.
5. Разработена е технология за гасене на горски пожари от вертолет с окачваема система за пожарогасене.

Приложни приноси

1. Експериментално е определено разпределението на количеството излята вода по земната повърхност в зависимост от скоростта и височината на полета.
2. Разработени са практически препоръки към повишаване на безопасността на полета при гасене на горски пожари от вертолет с окачваема система за пожарогасене.
3. Установена е скоростта и височината на полета за постигане на максимална ефективност.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдурагимов И. М., Говоров В. Ю., Макаров В. Е. Физико-химические основы развития и тушения пожаров. ВИПТШ МВД СССР, 1980.
2. Абдурагимов И.М. Новая стратегия и тактика тушения лесных пожаров, ISSN 0869-7493 Пожаровзрывобезопасность, Том 20, 2011.
3. Абдурагимов И.М. Проблема тушения лесных и торфяных пожаров, ISSN 0869-7493 Пожаровзрывобезопасность, Том 21, 2012.
4. Акимов А.И., Берестов Л.М., Михеев Р.А. Летные испытания вертолетов. – М.: Машиностроение, 1994.
5. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. – М.: Физматгиз, 1958.
6. Асовский В.П. Исследование динамики парусных грузов на внешней подвеске вертолета в условиях порыва ветра. // Научный Вестник МГТУ ГА, сер. Аэромеханика и прочность. 2007. № 111. С. 140 – 146.
7. Асовский В.П. Особенности тушения лесных пожаров вертолетами с использованием подвесных водосливных устройств. // Научный Вестник МГТУ ГА, сер. Аэромеханика и прочность. 2007. № 121. С.
8. Асовский В.П. Особенности тушения лесных пожаров вертолетами с использованием подвесных водосливных устройств. // Научный Вестник МГТУ ГА, сер. Аэромеханика и прочность. 2009. № 138. С.
9. Атмосфера: справочник. – Л.: Гидрометеиздат, 1991.
10. Бабенко Г.Н., Ефимов В.В., Ивчин В.А. Оценка адекватности математической модели динамики вертолета с грузом на внешней подвеске в части управляемости // Научный вест-ник МГТУ ГА. 2016. № 226. С. 175–182.
11. Бабенко Г.Н., Оценка влияния параметров груза и внешней подвески на управляемость вертолета// Научный вест-ник МГТУ ГА. Том 21, № 01, 2018
12. Борисов И.В., Ципенко А.В., Вычислительный эксперимент для анализа работы вертолета с водосливным устройством, Электронный журнал «Труды МАИ». Выпуск № 53, www.mai.ru/science/trudy/
13. Борисов И.В. Влияние потока от несущего винта вертолета на колебания массивного груза на внешней подвеске. // Научный Вестник МГТУ ГА, сер. Аэромеханика и прочность. 2010. № 154. С.
14. Борисов И.В., Ципенко А.В., Паршенцев С.А Учет потока несущего винта при моделировании полета вертолета с грузом на внешней подвеске // Журнал Известия Южного федерального университета.. Технические науки. 2009.
15. Валендик Э.А. Ветер и лесной пожар. – М.: Наука, 1968.

- 16.Валендик Э.А., Матвеев П.М., Софронов М.А. Крупные лесные пожары. – М.: Наука, 1970.
- 17.Валендик Э.Н., Матвеев П.М. Зависимость конвекционных потоков от пожара и состояния пограничного слоя атмосферы // Вопросы лесной пирологии. – Красноярск, 1974.
- 18.Валендик Э.Н., Матвеев П.М., Софронов М.А. Крупные лесные пожары. – М.: Наука, 1979.
- 19.Вибрации в технике: справочник в 6 т. // Колебания нелинейных механических систем / под ред. И.И. Блехмана.- М.: Машиностроение, 1979. - Т. 2.
- 20.Волобуев. Р.В., Ефимов В.В. К вопросу обеспечения безопасности эксплуатации вертолет при сбросе грузов с внешней подвески// Научный Вестник МГТУ ГА, серия Аэромеханика и прочность. Том 21, № 01, 2018.
- 21.Володко А.М. Основы летной эксплуатации вертолетов. Аэродинамика. - М.: Транспорт, 1984.
- 22.Володко А.М. Основы аэродинамики и динамики полета вертолетов: учеб. пособие для вузов. М.: Транспорт, 1988.
- 23.Володко А.М. Аэродинамика и динамика полета вертолета. – М.: Транспорт, 1988.
- 24.Володко А.М., Серов А.Я. Нелинейная математическая модель пространственного движения вертолета с грузом на внешней подвеске // Теоретические основы вертолетостроения. Труды третьих научных чтений памяти академика Б.Н. Юрьева. – М., 1989.
- 25.Володко А.М. Вертолет в особой ситуации. - М.: Транспорт, 1992.
- 26.Володко А.М. Безопасность полетов вертолетов гражданской авиации: справочно-методическое пособие. - М.: Афес, 1997.
- 27.Володко А.М. Вертолет в усложненных условиях эксплуатации: учебно-методическое пособие. – М.: КДУ, 2007. – 232 с.
- 28.Володко А.М. Методическое пособие для лётных экипажей вертолётов типа Ми-8 по выполнению спасательных операций при ДТП. - М.: ЗАО ЦНТУ "Динамика", 2007.
- 29.Володко А.М., Свириденко А.Н. Влияние транспортируемого груза на эффективность управления вертолетом // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Аэромеханика и прочность. № 125. С. 191-196. 2008.
- 30.Головкин М.А., Ефимов В.В. Учет касания тросом окантовки люка грузовой кабины вертолета при математическом моделировании динамики груза на его внешней подвеске/ Научный Вестник МГТУ ГА. 2013. № 188.

31. Гришин А.М., Алексеев Н.А., Брабандер О.П., Зальмеж В.Ф. Распространение в приземном слое атмосферы термиков, возникающих при лесных пожарах // Теплофизика лесных пожаров. – Новосибирск, ИТФСО АН СССР, 1984.
32. Гришин А.М. Общие математические модели лесных и торфяных пожаров и их приложения // Успехи механики. 2002. № 4.
33. Гусев В.Г. Лесопирологические основы, методы и средства создания противопожарных барьеров в сосновых лесах и космический мониторинг их эффективности: Автореферат дисс. на соискание уч. степ. докт. сельскохозяйств. наук. – С. Петербург, 2006.
34. Гусев В.Г., Давыденко Э.П. Пути повышения эффективности вертолетного сливного устройства // Лесное хозяйство. 2002. № 3. С. 11-14.
35. Джашинов В.Э., Панкратов В.М., Чеботаревский Ю.В., Голиков А.В. Нелинейная динамика периодически возмущаемых многостепенных математических маятников: Учебное пособие. – Изд-во Саратовского гос. Университета, 2006.
36. Дмитриев И.С., Есаулов С.Ю. Системы управления одновинтовых вертолетов. М.: Машиностроение, 1969. 219 с.
37. Ерицов А. М., Гусев В. Г. Совершенствование технологий создания загради-тельных и опорных полос при тушении лесных пожаров в зонах лесоавиационных работ // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2016. № 1 (29). С. 42-56.
38. Ерицов А. М., Гусев В.Г., Гольдаммер Й.Г. Развитие авиационных технологий тушения пожаров в России // VIII Международная научно-практическая конференция «Современная биология: актуальные вопросы». СПб, 2015. С. 50-56.
39. Ерицов А. М., Давыденко Э. П., Гусев В. Г., Арцыбашев Е. С. Вертолётная система дозированной подачи пенообразователя в водосливное устройство ВСУ-5А // Лесное хозяйство. 2005. № 4. С. 13-15.
40. Ефимов В.В., Кубланов М.С., Ципенко В.Г. К вопросу о создании математической модели движения вертолета и груза на его внешней подвеске. // Материалы XVIII школы-семинара "Аэродинамика летательных аппаратов". П. Володарского 1 – 2 марта 2007 г. / ЦАГИ. 2007. С. 56.
41. Ефимов В.В. Математическое описание движения груза на внешней подвеске вертолета // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Аэромеханика и прочность. № 111. С. 121 - 128. 2007.

- 42.Ефимов В.В., Паршенцев С.А. О результатах вычислительных экспериментов по исследованию динамики некоторых типов грузов на внешней тросовой подвеске вертолета // Материалы XIX школы-семинара "Аэродинамика летательных аппаратов". ЦАГИ. 2008.
- 43.Ефимов В.В., Паршенцев С.А. Результаты вычислительных экспериментов по исследованию динамики вертолета и груза на его внешней тросовой подвеске при полете в неспокойном воздухе // Научный Вестник МГТУ ГА. серия Аэромеханика и прочность № 125. С. 151-158, 2008.
- 44.Ефимов В.В. Особенности интегрирования дифференциальных уравнений движения груза на внешней подвеске вертолета // Научный Вестник МГТУ ГА. 2009. № 138 (1). С. 134 - 141.
- 45.Ефимов В.В. Исследование влияния параметров груза на условия его равновесия на внешней подвеске вертолета // Научный Вестник МГТУ ГА. 2010. -№ 151 (1). С. 130 - 137.
- 46.Ефимов В.В. Исследование влияния параметров груза на условия его равновесия на внешней подвеске вертолета // Научный Вестник МГТУ ГА, № 151, 2010. С. 134 - 141.
47. Ефимов В.В. О влиянии груза на внешней подвеске вертолета на его равновесие // Научный Вестник МГТУ ГА. 2010. № 154. С. 79–85.
- 48.Ефимов В.В. К вопросу о динамической устойчивости груза при его транспортировке на внешней тросовой подвеске вертолета / Материалы XXII научно-технической конференции по аэродинамике, п. Володарского 3 - 4 марта 2011 г. - М.: ЦАГИ, 2011. С. 64 - 65.
- 49.Ефимов В.В. Динамическая устойчивость груза на тросовой внешней подвеске верто-лета // Общероссийский научно-технический журнал «Полет». 2011. № 3. С. 26–32.
- 50.Ефимов В.В. Автоколебания грузов на тросовой внешней подвеске вертолета // Об- щероссийский научно-технический журнал "Полет". 2011. № 12. С. 23 - 28.
- 51.Ефимов В.В. Вывод приближенных аналитических зависимостей характеристик колебательного процесса груза на внешней тросовой подвеске вертолета// Научный Вестник МГТУ ГА. - 2011. - № 163.
- 52.Ефимов В.В., Чернигин К.О., Быков Ю.А. Оценка адекватности математической модели динамики груза на внешней подвеске вертолетаа// Научный Вестник МГТУ ГА. - 2011. - № 172.
- 53.Ефимов В.В. Исследование условий возникновения особых ситуаций при транспортировке груза на внешней тросовой подвеске вертолета// Научный Вестник МГТУ ГА. - 2011. - № 175.

- 54.Ефимов В.В. Исследование автоколебаний вертолета с грузом на внешней тросовой подвеске // Научный Вестник МГТУ ГА. 2012. № 177. С. 65–71.
- 55.Ефимов В.В., Ивчин В.А. Результаты математического моделирования динамики вертолета после сброса груза с его внешней подвески// Научный Вестник МГТУ ГА. 2016. № 223.
- 56.Ефимов В.В., Эльсеидабдо А. Схема расчетных случаев для математического моделирования динамики вертолета с грузом на внешней подвеске на этапах взлета и посадки// Научный Вестник МГТУ ГА. 2016, Том 19, № 06.
- 57.Ивчин В.А. Современная математическая модель для исследования динамики вертолета на пилотажных стендах // Научный вестник МГТУ ГА. 2008. № 125. С. 54 – 62.
- 58.Ивчин В.А., Черток О.Л. Новая математическая модель динамики вертолета для тренажеров и пилотажных стендов // Вертолеты: Труды опытно-конструкторского бюро Московского вертолетного завода имени М.Л. Миля. М.: Машиностроение: Машиностроение – Полет, 2010. С. 280–297.
- 59.Ивчин В.А., Самсонов К.Ю. Методика определения углов наклона тарелки автомата перекоса в продольном, поперечном направлении, а также угла общего шага несущего винта для вертолета Ми-38 // Труды девятого форума Российского Вертолетного общества, Москва, 2010 [Электронный ресурс]. URL: http://rhs.mai.ru/Str_4_09.htm (дата обращения 27.12.2017).
- 60.Ивчин В.А., Самсонов К.Ю. Экспериментальные исследования модели Х-образного рулевого винта с целью улучшения его аэродинамических характеристик // Научный Вестник МГТУ ГА. 2010. № 151 (1). С. 71–78.
- 61.Ивчин В.А., Самсонов К.Ю. Экспериментальные исследования модели Х-образного рулевого винта с целью улучшения его аэродинамических характеристик // Вертолеты: Труды ОКБ МВЗ им. М.Л. Миля / кол. авторов под. ред. А.Г. Самусенко. М.: Машиностроение: Машиностроение – Полет, 2010. С. 262–279.
- 62.Ивчин В.А., Самсонов К.Ю. Результаты первого этапа летных испытаний вертолеталетающей лаборатории Ми-171А2 // Научный Вестник МГТУ ГА. 2014. № 200 (2). С. 63–69.
- 63.Игнаткин Ю.М. Аэродинамика элементов вертолета. – М.: МАИ, 1987.
- 64.Инструкция по применению водосливного устройства ВСУ-5А с системой дозированной подачи пенообразователя СДП-1 при тушении

- пожаров вертолетами типа Ми-8 (Т, МТВ, АМТ). – Краснодар: ОАО НПК "ПАНХ", 2005.
65. Капица П.Л. Динамическая устойчивость маятника при колеблющейся точке подвеса // ЖЭТФ. 1951. Т. 21.
66. Капица П.Л. Маятник с вибрирующим подвесом // УФН. 1951. Т. 44.
67. Калугин В.Т., Киндяков Е.Б., Чернуха П.А. Особенности обтекания перфорированных устройств системы стабилизации грузов на внешней подвеске летательных аппаратов. // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Аэромеханика и прочность. № 151. С. 23-27. 2010.
68. Козловский В.Б. Теоретические и методологические основы эксплуатации летательных аппаратов при выполнении строительно-монтажных работ и транспортировке грузов на внешней подвеске: Дисс. на соискание уч. степ. д-р техн. наук. – Краснодар, 2004.
69. Козловский В.Б., Кубланов М.С. Математическая модель полета вертолета с грузом на внешней подвеске // Научный Вестник МГТУ ГА. Сер. Аэромеханика и прочность. 2004. № 72. С. 6 – 10.
70. Козловский В.Б. и др. Вертолет с грузом на внешней подвеске / В.Б. Козловский, С.А. Паршенцев, В.В. Ефимов / под ред. В.Б. Козловского. - М.: Машиностроение / Машиностроение-Полет, 2008.
71. Кубланов М.С. Математическое моделирование. Методология и методы разработки математических моделей механических систем и процессов. Моделирование систем и процессов. - 3-е изд. перераб. и доп.: учеб. пособие. - М.: МГТУ ГА, 2004. - Ч. I.
72. Куклев Е.А., Павлов С.С. Оценка возможности заброса троса с пустой емкостью на большие углы при ее транспортировке вертолетом. // Научный Вестник МГТУ ГА, сер. Аэромеханика и прочность. 2007. № 119. С. 128 – 133
73. Лебедев А.А. Рекомендации по пилотированию вертолета и борьбе с раскачкой груза при выполнении экстренных авиационных работ с применением внешней подвески/ Научный Вестник МГТУ ГА. 2013. № 188.
74. Лебедев А.А. Рекомендации по пилотированию вертолета и борьбе с раскачкой груза при выполнении экстренных авиационных работ с применением внешней подвески/ Научный Вестник МГТУ ГА. 2014. № 199.
75. Мандельштам Л. И. Лекции по теории колебаний. – М.: Наука, 1972.
76. Миль М.Л. Как создать вертолет, нужный людям. – М.: Машиностроение.

- 77.Модин В.И. Методика расчета основных параметров противопожарных полосов создаваемых антипиренами.//Лесные пожары и борьба с ними. Сб. науч. тр. ЛенНИИЛХ,1989 - С 93-99
- 78.Наталин В.М., Матвеев Ю.И. Аэродинамические особенности возникновения автоколебаний на вертолете Ми-8 и методы их устранения. / Сб. научных трудов аспирантов и молодых ученых. – Санкт-Петербург, АГА, 1998. – т. 1.
- 79.Наталин В.М., Оценка безопасности полета вертолета Ми-8АМТ при отказе одного двигателя на режиме висения по результатам летных испытаний. // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Аэромеханика и прочность, № 151, 2010.
- 80.Павлов С.С. Колебания груза при его транспортировке на внешней подвеске вертолета: учеб. пособие / под ред. В.И. Арбузова. – СПб.: ГУ ГА, 2008.
- 81.Павлов С.С. Оценка возможности уменьшения колебаний груза в динамической системе "вертолет – груз" // Научный Вестник МГТУ ГА. Сер. Аэромеханика и прочность. – 2009. № 138.
- 82.Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний. – М.: Наука, 1971.
- 83.Паршенцев С.А. Анализ причин катастрофы вертолета Ми-26Т в Читинской области 03.05.2003 г. При выполнении работ по тушению лесных пожаров с воздуха // Научный Вестник МГТУ ГА. Сер. Аэромеханика и прочность. – 2004. № 72 (1). С. 91 – 96.
- 84.Паршенцев С.А., Козловский В.Б. Исследование поведения груза на внешней подвеске вертолета и способы его стабилизации в полете // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Аэромеханика и прочность. - 2004. - № 72. С. 97-101.
- 85.Паршенцев С.А., Асовский В.П., Худоленко О.В. Исследование возможности безопасного завершения полета вертолета с грузом на внешней подвеске при отказе одного двигателя // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Аэромеханика и прочность, № 72, 2004.
- 86.Паршенцев С.А., Козловский В.Б., Солуянов Ю.М. Система стабилизации и азимутальной ориентации груза на внешней подвеске вертолета Ми-26 // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Аэромеханика и прочность. - 2004. - № 72. С. 102-107.
- 87.Паршенцев С.А. Надежность функционирования системы "экипаж – вертолет – груз на внешней подвеске" в условиях развития неблагоприятного фактора // Общероссийский научно-технический журнал "Полет".– М., 2005. – № 4.

88. Паршенцев С.А. Новые авиационные технологии строительства высотных сооружений // Монтажные и специальные работы в строительстве. 2005. № 8.
89. Паршенцев С.А. Об одном способе оценки безопасности полета вертолета с грузом на внешней подвеске при воздействии неблагоприятного фактора // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Аэромеханика и прочность, № 97, 2006.
90. Паршенцев С.А., Ципенко А.В. Моделирование разброса крупных гранул с летательного аппарата // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Аэромеханика и прочность, № 111, 2007. С. 187 – 189.
91. Паршенцев С.А. Моделирование процесса распределения абсорбирующих элементов с устройства ВОП-3 на внешней подвеске вертолета // Фундаментальные проблемы системной безопасности: сб. статей / Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН. – М.: Вузовская книга, 2008. С. 441 – 449.
92. Паршенцев С.А., Прусов Н.А. Оценка поля концентрации жидких и твердых частиц при их распределении с устройства на внешней подвеске вертолета // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Аэромеханика и прочность, № 154, 2010.
93. Паршенцев С.А. Моделирование индуктивного потока несущего винта вертолета // Научный Вестник МГТУ ГА, сер. Аэромеханика и прочность. № 151, 2010.
94. Петров К.П. Аэродинамика тел простейших форм. – М.: Факториал, 1998.
95. Рыбкин П.Н. Комплексный летный тренажер с неподвижной кабиной в процессе тренажерной подготовки пилотов гражданских вертолетов // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2011. - № 172.
96. Руководство по летной эксплуатации вертолета Ми-8МТВ. - М., 1994.
97. Свириденко А.Н., Володко А.М. Статическая устойчивость и управляемость вертолета с грузом на внешней подвеске: материалы 33-го Европейского вертолетного форума. - Казань, 2007.
98. Свириденко А.Н., Свириденко Ю.Н. Математическая модель движения водосливного устройства на внешней подвеске вертолета Научный Вестник МГТУ ГА. Сер. Аэромеханика и прочность. № 154, 2010.
99. Свириденко А.Н., Курулюк Д.В., Незь Н.Н. Моделирование операций по тушению лесных пожаров на комплексном тренажере экипажа вертолета (Modeling operations on suppression of forest fires on a helicopter training simulator) // Европейский вертолетный форум. - Милан, 2011.

100. Свириденко А.Н. Математическая модель системы "вертолет – груз на внешней подвеске" // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Аэромеханика и прочность. - 2007. - № 111.
101. Свириденко А.Н. Моделирование на тренажере особых ситуаций, связанных с аварийным сбросом груза с внешней подвески вертолета Ми-8МТВ // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Аэромеханика и прочность. № 188, 2013.
102. Смирнов А.П., Арцыбашев Е.С. Сбережём леса от пожаров, Учебно-методическое пособие для учителей начальных и средних школ, СПб – 2016.
103. Стрелков С.П. Введение в теорию колебаний. – С.-Пб., М.: Краснодар. Лань, 2005.
104. Техника пилотирования и вертолотовождение вертолета Ми-8МТ(Т): Методическое пособие. / МО СССР. – М.: Военное издательство, 1987.
105. Ходаков В.Е., Жарикова М.В. Лесные пожары: Методы исследования, Монография, Херсон, 2011.
106. Шрайбер А.А., Гавин Л.Б. и др. Турбулентные течения газовзвеси. – Киев: Наукова думка, 1987.
107. Ю. Л.Воробев, Акимов В.А., Соколов Ю.А., Лесные пожары на территории России: состояние и проблемы, Москва, 2004.
108. Bisgaard M., Bendtsen J.D., La Cour-Harbo A. Modelling of Generic Slung Load Sys-tem. Journal of Guidance, Control, and Dynamics, 2009, March, vol. 32, no. 2, PP. 573 - 585.
109. Cicolani L.S. and Kanning G. Equations of Motion of Slung-Load Systems, Including Multilift Systems, NASA, 1992, NASA-TP-3280, 132 p.
110. Flight manual Airbus helicopters AS532AL
111. Ivchin V.A., Samsonov K.Yu. Experimental investigation of scissors-type tail rotor model aimed at perfection of its aerodynamic performance // 33rd European Rotorcraft Forum 2007. Proceedings.Kazan, 2007. pp. 2646–2678[Электронныйресурс]. URL: <http://www.proceedings.com/08121.html> (дата обращения 27.12.2017).
112. Kooklev E.A., Shapkin V.S., Aviation systems safety and risks, 2017, The monograph
113. Stuckey R.A. Mathematical Modelling of Helicopter Slung-Load Systems, Air Operations Division Aeronautical and Maritime Research Laboratory, DSTO-TR-1257, 2001, 95 p.
114. <https://www.blazetamer.com>
115. <http://fireaviation.com>
116. <https://www.fs.fed.us/rm/fire/wfcs/index.htm>

- 117. <https://www.iii.org/fact-statistic/facts-statistics-wildfires>
- 118. <https://www.mvr.bg/gdpbzn/info-center>
- 119. <http://www.sei-ind.com>.

The effectiveness and safety of the use of the Mi-17 and AS532AL helicopters with a “Bambi bucket” firefighting system operations against forest fires in the Republic of Bulgaria is considered. An analysis of the conditions under which this use is being made, based on numerous publications, about theoretical and experimental studies, including those aimed at the increase of the efficiency and safety of the use of helicopters although with other external hanging firefighting systems.

The preparation and conduct of flying experiments with Bambi bucket system, which take into account the specifics of this system, the characteristics of the firefighting methods used in the Republic of Bulgaria, and the influence of country specific external factors, have been made. Based on the results of these studies and taking in consideration the flight safety requirements, recommendations have been developed to improve the effectiveness of using Bambi bucket firefighting system in Bulgaria.

The main reasons for the occurrence of aviation accidents and incidents in this use are explained, due to its specificity - very low altitude flights, influence of external factors and frequent piloting of transition modes. The unfavorable factors leading to the occurrence of particular situations as well as the characteristic errors in the piloting leading to the occurrence of these situations are analyzed.

Based on this, the limitations and requirements for piloting the helicopter with the hanging up system in the conditions of mountain and forest fires are formulated. It was highlighted the need to establish a methodological guide for piloting in the examined conditions, taking into account the results of the flight safety obtained in the present work.