

Анаев Магомет Азретович

Главное управление МЧС России по Кабардино-Балкарской Республике.

E-mail: 93538@mail.ru.

360000, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 19.

Тел.: 88662743865.

Начальник отдела предупреждения ЧС.

Шагин Сергей Иванович

Начальник Главного управления МЧС России по КБР.

Соловьев Владимир Викетьевич

ООО НПЦ «Антиград-Авиа».

E-mail: sov@dubna.ru.

г. Дубна, ул. Тверская, 15/21.

Тел./факс. 4962151514.

Директор.

Abshaev Magomet Taxirovich

High Mountain Geophysical Institute of Roshydromet.

E-mail: abshaev@mail.ru.

2, Lenina Prospectus, Nalchik, 360000, Russia.

Phone/fax: +78662471757.

Vice-director; Dr. of Phis.-Math. Sc.; Professor.

Abshaev Ali Magometovich

E-mail: abshaev@yahoo.com.

Phone: +78662470217.

Cand. of Phis.-Math. Sc.; Senior Scientist.

Anaev Magomet Azretovich

Main Department in Kabardino-Balkaria of Russian Emergency Ministry.

E-mail: 93538@mail.ru.

19, Cherny'shevskogo Street, Nalchik, 360000, Russia.

Phone: +78662743865.

Chief of Warning Department.

Shagin Sergey Ivanovich

Chief of Main Department.

Solov'yov Vladimir Vikent'evich

NPC «Antigrad-Avia» Ltd.

E-mail: sov@dubna.ru.

15/21, Tverskaya Street, Dubna, Russia.

Phone/fax: +74962151514.

Director.

УДК 551. 509. 61, 551. 576. 1

**М.Ю. Пашкевич, Н.А. Березинский, И.Н. Березинский, В.О. Тапасханов,
А.Х. Аджиев, А.В. Шаповалов**

**ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО СОЗДАНИЮ ЗОН ПРОСВЕТЛЕНИЯ
В СЛОИСТООБРАЗНОЙ ОБЛАЧНОСТИ ДЛЯ РАСШИРЕНИЯ
ВОЗМОЖНОСТЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
АВИАЦИОННО-КОСМИЧЕСКИХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Представлены результаты экспериментальных исследований по расширению возможностей функционирования авиационно-космических оптических систем при наличии слоистообразной облачности путем создания в облаках зон просветления методами и

средствами активных воздействий. В качестве объектов воздействия выбраны облака слоистых форм, так как: 1) они наиболее часто встречаются в северном полушарии, 2) занимают значительные по площади поля и 3) существуют над одним регионом длительное время. В докладе описана методика проведения активных воздействий, состав наземной и бортовой аппаратуры. Приведены результаты воздействия и характеристики зон просветления для двух типов облаков.

Слоистообразная облачность; активные воздействия; реагенты; зона просветления; прозрачность.

**M.Ju. Pashkevich, N.A. Berezinsky, I.N. Berezinsky, V.O. Tapashanov,
A.H. Adzhiev, A.V. Shapovalov**

**EXPERIMENTS ON CREATION OF VISIBILITY RANGES IN LAYERED
CLOUDS FOR EXPANSION OF OPPORTUNITIES OF FUNCTIONING
OF AEROSPACE OPTICAL SYSTEMS**

This report presents the results of experimental researches on enhancement of functionality for aerospace optical systems by creation transparent ranges in stratiform clouds with using methods and means of active influences. The reasons to choose stratified clouds as objects of influences based on the facts that 1) this type of clouds more frequently occurs in northern hemisphere, 2) occupies significant areas and 3) exists above one region long time. In the report the technique of carrying out of active influences, structure of the ground and onboard equipment is described. Results of influence and the characteristic of zones of enlightenment for two types of clouds are resulted.

Layered overcast; active influences; reagents; windows of visibility; a transparency.

Введение. Слоистообразная облачность и связанные с нею опасные явления погоды (низкая облачность, ухудшенная видимость, осадки, обледенение и т.д.) оказывают существенное влияние на нормальное функционирование оптических систем связи, систем ближней навигации, авиационных разведывательно-ударных комплексов, космических комплексов наблюдения за земной поверхностью и т.д.. Облака этих форм характеризуются значительными горизонтальными размерами (сотни километров), большой длительностью существования над отдельным пунктом (от 7 часов до нескольких суток), и частой повторяемостью в различных физико-географических районах. Выпадающие из слоисто-дождевых и высоко-слоистых облаков осадки также усложняют условия функционирования вышеупомянутых систем.

В [1] проведен подробный анализ характеристик слоистообразной облачности, ее повторяемости в различных регионах и негативное влияние на различные отрасли экономики. Отметим некоторые из них.

Авиационное высокоточное оружие так и не стало всепогодным. Сложные метеоусловия ограничивают его эффективность всего до нескольких процентов.

Оборудование наших военных и гражданских вертолетов имеет большие ограничения в их применении по времени суток и метеоусловиям. Сложные метеоусловия, связанные с низкой облачностью и плохой видимостью, являлись в ряде случаев причиной катастроф при проведении спасательных и эвакуационных работ. Выход вертолетов в район объекта удара, с применением управляемых ракет, возможен при минимальной видимости не менее 3 км при поражении наступающего противника и не менее 5–6 км при действиях по целям в опорных пунктах. В условиях худшей видимости выход вертолетов в атаку значительно усложняется, а при видимости менее 2–2,5 км становится невозможным.

Облачность может оказывать существенное влияние и на применение лазерного оружия. Так, например, запланированные на 6 октября 1997 г. испытания по поражению американского спутника MSTI наземной лазерной установкой были

отменены из-за сложных метеоусловий. Регион над полигоном Уайт-Сэндс был затянут облаками, которые могли стать помехой для лазера.

Ограничения для взлёта и посадки самолётов по высоте нижней границы облаков и метеорологической дальности видимости могут быть существенно сокращены при применении активных воздействий на атмосферные процессы.

Применение активных воздействий на слоистообразную облачность позволяет решать широкий перечень прикладных задач (военных, хозяйственных, экологических).

Цель и задачи экспериментальных исследований. Целью экспериментальных исследований является:

- ◆ оценка пригодности методов активных воздействий (АВ) на различные типы слоистообразной облачности для расширения возможностей функционирования оптических систем путем создания в облаках зон просветления (ЗП).
- ◆ оценка адекватности и сходимости результатов математического моделирования активного воздействия на облака, с результатами натурных экспериментов.

Задачи экспериментальных исследований:

- ◆ разработка оперативных методов и средств АВ для создания в слоистообразных облаках ЗП с заданными размерами над определенной точкой наблюдения;
- ◆ оценка пространственно-временной трансформации образуемых зон просветления при различных синоптических условиях атмосферы.

Объект исследований. Объектом экспериментальных исследований является технология авиационного воздействия на слоистообразные облака, с целью создания в них зон просветления при различных термодинамических характеристиках атмосферы.

Исследованиям подвергаются слоистообразные облака различных форм развития, расположенные в диапазоне высот от минимально безопасного уровня полета до верхней кромки в условиях температуры атмосферы от + 2°С до –17 °С. Особое внимание уделено решению задачи рассеяния облачности при температурах вблизи нуля градусов – наиболее часто отмечаемой в таких облаках.

Подготовка экспериментов. В период подготовки к проведению экспериментов:

- ◆ проведен анализ статистических данных метеоусловий в районе работ и даны рекомендации по месту и срокам проведения испытаний;
- ◆ проведен анализ отечественного и зарубежного опыта в части разработки методов и средств активного воздействия на облака с целью создания ЗП, необходимых для проведения оптических исследований атмосферы (ОИА);
- ◆ разработана численная модель процесса искусственной кристаллизации облачной среды для выработки конкретных рекомендаций по проведению АВ в ходе натурального эксперимента;
- ◆ определен состав бортового аппаратурно-программного комплекса для проведения АВ;
- ◆ определен состав наземной аппаратуры контроля прозрачности атмосферы в заданном частотном диапазоне (ВНИИЭФ г.Саров);
- ◆ определен состав наземной аппаратуры по корректировке координат воздействия и визуального контроля результата АВ;
- ◆ разработаны предложения по методам и способам создания зон просветления в атмосфере;

- ◆ разработана методика АВ засевом различных реагентов (углекислота, жидкий азот, грубодисперсный реагент) с самолета для создания ЗП в облаках с требуемыми для ОИА основными параметрами;
- ◆ оборудован самолет-лаборатория аппаратурой для проведения натурных испытаний;
- ◆ проведена подготовка к испытаниям на полигоне.

Основные результаты подготовительного периода:

1. Проведено численное моделирование искусственной кристаллизации и рассеяния переохлажденной и теплой слоистообразной облачности.
2. Предложен проект методики создания зон просветления в переохлажденной и теплой слоистообразной облачности внесением хладореагентов и грубодисперсных порошков.
3. Разработана методика и программа испытаний с использованием средств активного воздействия на облака с помощью самолета АН-12.
4. Проведены предварительные натурные испытания на полигоне.

Используемое оборудование. В работе использовалась наземно-бортовая авиационная автоматизированная система для воздействия на метеорологические процессы [2], включающая на борту:

- ◆ блок датчиков для измерения параметров облаков, атмосферы и положения самолета в пространстве;
- ◆ средства автоматической и голосовой связи с наземным пунктом контроля;
- ◆ компьютер для регистрации параметров атмосферы и условий работы самолета-лаборатории;
- ◆ автономный бортовой блок питания с преобразователем напряжения;
- ◆ аппаратура модемной УКВ связи с наземным командным пунктом (КП);
- ◆ система жизнеобеспечения бортоператоров для работы в негерметичном салоне самолета;
- ◆ аппаратура и средства воздействия на облака.
- ◆ на земле:
- ◆ оптическая система для измерения параметров формируемых ЗП (ВНИИЭФ г. Саров);
- ◆ средства автоматической и голосовой связи с самолетом-лабораторией;
- ◆ компьютер для обработки данных, принятых с борта самолета и параметров зон просветления облаков;
- ◆ система записи видеоинформации о зонах просветления;
- ◆ метеорадиолокатор МРЛ-5 с автоматизированной системой регистрации параметров облачности.

Используемые реагенты

- 1) сухой лед (твердая углекислота);
- 2) жидкий азот;
- 3) дозированные упаковки с грубодисперсным порошком (ГДП).

Проведение исследований

По программе испытаний проведено пять вылетов самолета-метеолаборатории. Воздействие проводилось в двух экспериментах, когда метеоусловия соответствовали требованиям поставленной цели и задачам исследований.

Ход выполнения работ, проведение полетов и активных воздействий протоколировались и подтверждены материалами видеосъемки и оптической системы измерения параметров ЗП.

После анализа прогностических данных о состоянии атмосферы, спутниковых, радиолокационных, самолетных и визуальных наблюдений с поверхности

земли в районе полигона принималось коллегиальное решение о проведении работ. В день вылета запускался радиозонд, по численной модели выполнялся предварительный расчет процесса АВ, результаты которого учитывались при проведении воздействия.

За 2 часа до вылета к самолету доставлялись необходимые для воздействия реагенты. Уточнялся район работ и эшелоны полетов. Проводилась подготовка полетных документов и приборов к вылету. Производилось развертывание наземных регистрирующих приборов.

После вылета при подъеме самолета производилось вертикально-горизонтальное зондирование атмосферы по приборам, установленным на борту с определением температуры, направления и скорости ветра, типа, балльности, ярусности и мощности облаков по высотам. Зондирование производилось до верхней кромки облаков верхнего яруса или до высоты 6000 м при многослойной облачности. Данные зондирования заносились в компьютер и передавались по радиосвязи на наземный пункт наблюдения. Производилось уточнение расчетов по теоретической модели. Уточненный алгоритм воздействия по радиосвязи сообщался на борт самолета.

Основные результаты испытаний

Первый эксперимент – 03.05.07 г. – облака слоисто-кучевые: основание 1800 м, верхняя граница 2300 м. Ветер на уровне облаков перед воздействием с азимутом 270–290° и скоростью 55–70 км/час, во время работы сменился на азимут 210° и скорость 30 км/час. Температура верхней кромки облаков –2–3 °С, что близко к порогу действия хладореагентов. Скорость полета самолета 350 км/ч.

По математической модели проведения работ воздействие необходимо было проводить на верхнюю кромку облаков, за 35–40 км к юго-западу от полигона над горами, с учетом сноса зоны кристаллизации. Это оказалось невыполнимым – самолет по требованиям безопасности производства полетов в горах не мог опуститься ниже 4,5 км. Поэтому работы проводили в безопасной зоне – в районе полигона. После смены ветра в 19 ч 32 мин работа проводилась непосредственно над полигоном, ввиду опасности полета над горами с юго-западной стороны полигона. Рассеивание облачности происходило с северной стороны полигона.

Полет самолета проходил в 50–100 м над облаком. Сброс реагента непрерывный. Нормы расхода: 1 кг сухого льда на 1 км траектории полета самолета. Для ускорения образования зоны просветления в 19 ч 15 мин расход сухого льда был увеличен до 2 кг/км. А с 19 ч 45 мин внесение реагента проводили непосредственно в облако. Воздействие проводилось сухим льдом, израсходовано 504 кг реагента. Место внесения реагента – по всей траектории полета самолета с 18 ч 26 мин до 19 ч 58 мин. Траектория полета самолета-метеолаборатории отображалась на фоне карты местности.

Второй эксперимент – 11.05. 2007 г. К началу проведения эксперимента, слоистая облачность с областью покрытия 7–8 баллов, трансформировалась в слоисто-кучевую: основание 1800 м, вершины до 2500 м (рис. 1) и продолжала уплотняться.

Интервал времени воздействия на облака с 15:09 до 16:02 ч.

Температура облачной среды от 0 до +2 °С – выше пороговой для хладореагентов. Поэтому было решено применить другой способ воздействия – создание нисходящих струй в облаке путем сброса с самолета порции грубодисперсных порошков. Этот способ носит динамический характер – происходит развитие нисходящей струи путем вовлечения прилегающего воздуха облаком сброшенных частиц грубодисперсного аэрозоля, оседающего под действием силы тяжести. Скорость движения системы компактно сброшенных частиц больше скорости отдельной изолированной частицы из этой системы в 1,5–4 раза.



Рис. 1. Фотография облаков до воздействия в 14 ч 46 мин с камеры вертикального обзора

В начальный момент после сброса порошка (цемента) расширение системы частиц (убывание счетной концентрации) происходит быстро, затем оно замедляется. Угол раствора (расширения) падающих частиц в спокойном воздухе составляет 15° [3]. «Коллективный эффект» падения и существенное вовлечение среды наблюдается при среднем расстоянии между частицами до 35–40 их диаметров.

Система сброшенных частиц при концентрации $n > 10^3 \text{ см}^{-3}$ полностью увлекает окружающую среду (воздух) и скорость нисходящего потока, вызванного ею, практически равняется скорости падения системы частиц. При $n \approx 10^2 \div 10^3 \text{ см}^{-3}$ отмечается лишь частичное вовлечение среды. Этим параметрам соответствуют массовые концентрации частиц $6 \div 60 \text{ г/м}^3$, которые удовлетворяются сбросом упаковок цемента по $10 \div 60 \text{ кг}$ каждая [4]. Падение массы порошка, как цельной системы $n > 10^3 \text{ см}^{-3}$ и полное вовлечение окружающего воздуха, происходит на расстоянии 30–50 м. При этом скорость нисходящего потока достигает $3\text{--}12 \text{ мс}^{-1}$.

При таком воздействии восходящие потоки менее 3 м/с могут быть подавлены, что приведет к обрушению облака. Слабые облака с меньшими значениями скорости восходящего потока будут разрушаться с большей вероятностью.

В этих расчетах не учтен эффект укрупнения сбрасываемых частиц за счет их коагуляции с облачными каплями, а также их насыщение облачной влагой за счет гигроскопичности цемента. Эти два эффекта, по-видимому, будут способствовать эффективности воздействия.

В [5] указывается, что для формирования аэрозольного облака радиусом 15–50 м, оседающего со скоростью $\geq 1,5 \text{ м/с}$, необходимо взять порошок с размером частиц $10^{-3} \div 10^{-5} \text{ см}$, удельным весом $4 \div 4,5 \text{ г/см}^3$ и удельной поверхностью $2000 \div 4000 \text{ см}^2/\text{г}$. Таким параметрам удовлетворяют частицы цемента. Аэрозольное облако необходимо формировать в диапазоне высот $\pm 200 \text{ м}$ от уровня вершины облака.

Таким образом, в данном эксперименте мы использовали упаковки с цементом, учитывая его гигроскопичность и способность формировать нисходящий поток, разрушающий облако. При воздействии израсходовано 20 упаковок с ГДП по 25–30 кг каждая. Успех воздействия был очевиден.

Наибольших размеров окно прозрачности достигло в 15.50–16.00 ч. В растворе угла 120–140° небесной сферы небо очистилось от облаков. Слабая кучевая облачность осталась лишь вблизи линии горизонта до угла возвышения 20–30° во всех азимутальных направлениях. Прозрачность атмосферы на линии визирования достигла ~ 100 %. Динамика изменения прозрачности атмосферы во время воздействия отображена на рис. 2. В качестве опорного источника света использовалось Солнце.

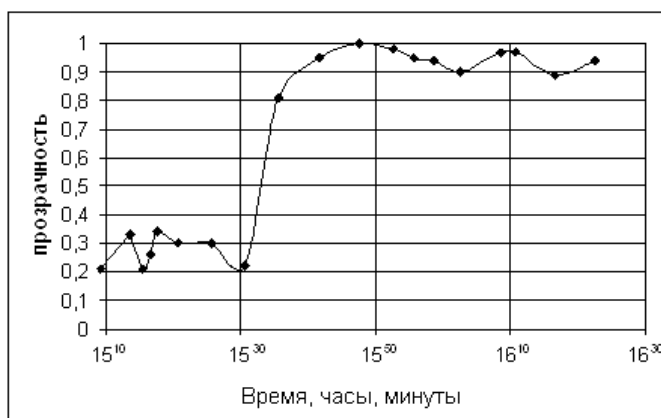


Рис. 2. Изменение прозрачности атмосферы в ходе проведения активного воздействия (окончание воздействия – 53-я мин от начала воздействия, т.е. 16 ч 02 мин по московскому времени)

На рис. 3 показан вид полигона, четко просматривавшегося с самолета-лаборатории.



Рис. 3. Зона просветления над полигоном в 15 ч 52 мин

После окончания воздействия окно прозрачности постепенно стало уменьшаться и перемещаться на восток. В 16 ч 20 мин появились облака в зените. Окно прозрачности еще оставалось в северном направлении (по направлению ветра), по азимуту с угловыми размерами $\sim 80^\circ$, по углу места $\sim 60^\circ$. Облачность по всему небу продолжала возрастать и в 16ч.56мин. достигла $\sim 90\%$. Осталось совсем малое окно в северном направлении от места воздействия. Время существования 100% прозрачности атмосферы в зенитном направлении составило ~ 20 мин. Однако на линии визирования хорошая прозрачность атмосферы (не менее $\sim 50\%$) сохранялась в течение ~ 50 мин.

Оценка результатов воздействия. В докладе приводятся снимки, полученные видеокамерой переднего обзора самолета, облаков до воздействия и после начала воздействия, зоны просветления севернее полигона в конце эксперимента, а также измерение спектральной прозрачности атмосферы в заданном диапазоне частот с использованием специальной аппаратуры. В качестве опорного источника излучения использовалось Солнце.

Результат первого эксперимента неопределенный: положительные эффекты воздействия имелись, но устойчивого результата достигнуть не удалось, так как зона просветления сформировалась в стороне от заданной точки местности.

Успех воздействия во втором эксперименте был очевиден. Полученное в ходе испытания окно просветления по своим размерам, степени прозрачности и времени существования полностью удовлетворяло исходным требованиям. Цель была достигнута. Изменение прозрачности атмосферы от 20% до 80% за ~ 5 минут, дальнейший ее рост до 100% и сохранение в пределах $90\text{--}100\%$ в течение часа свидетельствуют об успехе воздействия и возможности проведения оптических исследований атмосферы и космического пространства при поддержании зоны просветления авиационным методом АВ.

Необходимо проверить эту возможность на облаках других типов.

Теоретическая оценка результатов воздействия. Результаты математического моделирования изложены отдельной статьей тех же авторов [6]: «Результаты численного моделирования и натурных экспериментов по созданию зон просветления в слоистообразной облачности», представленной на этой конференции отдельным докладом.

Разработана модель сублимационного и коагуляционного роста ледяных кристаллов в облачной среде.

Выполнены численные эксперименты по активному воздействию на слоистые облака при различных характеристиках атмосферы, облачности и источников искусственных ледяных частиц.

Время испарения переохлажденных капель существенным образом зависит от концентрации вносимых искусственных кристаллов и может составлять от единиц до десятков минут. При концентрациях кристаллов более $3 \cdot 10^5 \text{ м}^{-3}$ время их диффузионного роста составляет $5\text{--}7$ минут.

Для создания зон просветления в слоях мощностью $2000\text{--}3000$ м, исходя из результатов расчетов, необходимо вносить реагент в концентрации 10^5 м^{-3} . При этом оценочное время диффузионного роста кристаллов составляет $20\text{--}25$ мин в зависимости от влажности облака и его дисперсности, размер кристаллов достигает $90\text{--}100$ мкм, что достаточно для дальнейшего коагуляционного роста.

Результаты расчетов применимы для оценки мощности источников ледяных кристаллов при АВ на слоистые облака с различными характеристиками.

При проведении эксперимента наблюдался тонкий слой (около 500 м) слоистообразной облачности с низкой влажностью ($\leq 0,3 \text{ г/м}^3$) при температуре $-2\text{--}3$ °С. Степень переохлаждения капель была невысокая, и АВ проводилось вблизи

температурного порога срабатывания кристаллизующего реагента. Реагент в таких условиях плохо работал (не обеспечивал требуемого выхода кристаллов на единицу массы).

Повышенный расход реагента связан с желанием руководителя АВ добиться положительного результата по созданию ЗП.

По-видимому, в области температурного порога реагент действует по медленному механизму «конденсационного укрупнения капель», а не «сублимации» или «конденсации-замерзания». Близкое расположение гор не позволило сместиться к юго-западу для увеличения упреждения по времени.

Создание зон просветления в горной и предгорной местности с ее сложной горно-долинной циркуляцией и непредсказуемыми воздушными течениями из различных ущелий требует разработки своей методики и тщательной ее отработки. Небольшая высота облачности ограничивает необходимую зону воздействия самолета в предгорной местности по условиям безопасности полета.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Шереметьев Р.В.* Разработка методического подхода и рекомендаций по применению методов и средств модификации слоистообразной облачности для решения народно-хозяйственных и прикладных задач: Дис. ... к.ф.-м.н. – Нальчик, 2010.
2. *Пашкевич М.Ю., Березинский Н.А., Инюхин В.С., Шаповалов А.В., Капитанников А.В., Солодовников С.В., Болгов Ю.В., Тапасханов А.В., Попиневский С.Л., Аксенов С.А., Пашкевич А.М., Никулин П.Н.* Наземно-бортовая авиационная автоматизированная система для воздействия на метеорологические процессы // Доклады Всероссийской конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы. Нальчик, 28-30 сентября 2005 г. – М., 2008. – С. 70-79.
3. *Калов Х.М.* Физическое обоснование, создание и экспериментальные исследования эффективности нового комплекса технических средств и методов активных воздействий на облака и туманы: Дис. ... д.ф.-м.н. – Нальчик, 2002. – 273 с.
4. *Гайворонский И.И., Зацепина Л.П., Серегин Ю.А.* Результаты опытов воздействия на конвективные облака // Изв. АН СССР, Физика атмосферы и океана. – 1970. – Т.6, № 3. – С. 252-258.
5. *Берюлев Г.П.; Корнеев В.П.; Федоров О.К.; Черников А.А.* АКВА. Способ активного воздействия на конвективные облака // Патент РФ №2138945, А01G15/00. приоритет 26.08.1998 г.
6. *Шаповалов А.В., Тапасханов В.О., Аджиев А.Х., Пашкевич М.Ю., Березинский Н.А., Березинский И.Н.* Результаты численного моделирования натуральных экспериментов по созданию зон просветления в слоистообразной облачности.
7. Материалы настоящей конференции.

Статью рекомендовал к опубликованию д.ф.-м.н., профессор Г.В. Куповых.

Пашкевич Михаил Юрьевич

ГУП «Высокогорный научно-исследовательский испытательный центр авиационной техники и вооружения».

E-mail: vniic@rambler.ru.

360000, г. Нальчик, пр. Ленина, 2.

Тел.: 88662471364.

К.т.н.; старший научный сотрудник.

Березинский Николай Александрович

К.ф.-м.н.; старший научный сотрудник.

Березинский Игорь Николаевич

Ведущий научный сотрудник.

Тапасханов Валерий Оюсович

ГУ «Высокогорный геофизический институт».

E-mail: vgikbr@rambler.ru.

360000, г. Нальчик, пр. Ленина, 2.

Тел.: 88662401316.

К.т.н.; старший научный сотрудник.

Аджиев Анатолий Хабасович

Тел.: 88662471014.

Отдел склоновых явлений; д.ф.-м.н.; профессор.

Шаповалов Александр Васильевич

Тел.: 88662407368.

Отдел физики облаков. Лаборатория математического моделирования; д.ф.-м.н., профессор.

Pashkevich Mikhail Yurievich

GUP "High Mountain Research and Development Test Center Aircraft and Weapons".

E-mail: vniic@rambler.ru.

2, Lenina Prospectus, Nalchik, 360000, Russia.

Phone: +78662471364.

Cand. of Eng. Sc.; Senior Scientist.

Berezinsky Nikolai Alexandrovich

Cand. of Eng. Sc.; Senior Scientist.

Berezinsky Igor Nikolaievich

Leading Scientist.

Tapashanov Valery Oyusovich

GU "Mountain Geophysical Institute".

E-mail: vgikbr@rambler.ru.

2, Lenina Prospectus, Nalchik, 360000, Russia.

Phone: +78662401316.

Cand. of Eng. Sc.; Senior Scientist.

Adzhiev Anatoliy Habasovich

Phone: 88662471014.

Front Slope Phenomena; Dr. of Phis.-Math. Sc.; Professor.

Shapovalov Alexander Vasilievich

Тел.: 88662407368.

The Department of cloud physics. Laboratory for mathematical modeling; Dr. of Phis.-Math. Sc.; Professor.

УДК 629.733.5

А.Н. Кирилин, А.А. Новиков

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ДВИЖЕНИЯ ДИРИЖАБЛЯ
И ДЕЙСТВУЮЩИХ НА НЕГО НАГРУЗОК ПРИ ШВАРТОВКЕ
К РАЗЛИЧНЫМ ПРИЧАЛЬНО-ШВАРТОВОЧНЫМ УСТРОЙСТВАМ**

На основании численного интегрирования системы нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих пространственное движение дирижабля, анализируются результаты моделирования основных параметров швартовки ЛА к различным причальным устройствам (высокой и низкой причальным мачтам, анкерному устройству) в широком диапазоне ветровых воздействий. Делается вывод о возможности и перспективности посадки и стоянки дирижабля, при определенных ограничениях по ветру, на площадках малого размера.

Дирижабль; моделирование пространственного движения дирижабля; швартовка; причально-швартовочные устройства.