

На правах рукописи



Болгов Юрий Владиславович

**АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ АКТИВНЫХ
ВОЗДЕЙСТВИЙ
НА ГРАДОВЫЕ ПРОЦЕССЫ**

Специальность 25 00 30 – Метеорология, климатология,
агрометеорология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук



Нальчик – 2007.

Работа выполнена в ГУ «Высокогорный геофизический институт»
Росгидромета

Научный руководитель: доктор физико-математических наук
Х. М. Калов

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
профессор Б. А. Ашабоков

доктор физико-математических наук,
профессор Х. М. Сенов

Ведущая организация: Научно-исследовательский институт
прикладной химии (г. Сергиев Посад)

Защита состоится 30 октября 2007 г в 14⁰⁰ на заседании
диссертационного совета Д 327 001 01 при Высокогорном геофизическом
институте по адресу 360030 КБР г Нальчик проспект Ленина 2

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Высокогорного
геофизического института

Автореферат разослан 27 сентября 2007 года

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор физико-математических наук,
профессор



А.В. Шаповалов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы Оперативные программы подавления града осуществляются более чем в 25 странах. При реализации данных проектов большое значение придается вопросам оценки эффективности, затрат на проведение работ, экономической выгоды и окупаемости.

Успех и себестоимость работ по защите сельскохозяйственных культур от градобития во многом определяются эффективностью применяемых технических средств засева градовых облаков. Научные основы технологии подавления града в настоящее время остаются на уровне концептуальных моделей градовых процессов и физических гипотез их модификации, требующих строгого научного обоснования. Единственным способом подтверждения работоспособности принятых гипотез является проведение натурального эксперимента по воздействию на градовые процессы. Основным инструментом воздействия при этом являются средства доставки реагента. В случае их низкой эффективности есть опасность поставить под сомнение вполне работоспособную модель модификации градовых процессов.

В связи с этим проблема оценки эффективности технических средств воздействия на градовые процессы является актуальной как в экономическом аспекте – рассмотрение вопроса снижения себестоимости проведения противоградовых работ, так и в научном плане.

В данной работе рассматриваются ракетный и артиллерийский способы засева, так как они нашли широкое применение в большинстве стран, осуществляющих проекты защиты от града. Практика применения ракетного способа доставки реагента вынуждает непрерывно совершенствовать противоградовые комплексы с целью повышения их эффективности и снижения себестоимости проведения противоградовых работ. Однако вопрос оценки эффективности средств активных воздействий в литературе освещен мало. Кроме того, используемые в настоящее время подходы к анализу эффективности основываются на сравнении основных тактико-технических характеристик изделий. Это не всегда дает однозначные результаты и затрудняет сравнение различных противоградовых комплексов с целью принятия решения о разработке новых комплексов и определения дальнейшего направления совершенствования существующих.

Цель работы

Разработка метода объективной оценки эффективности средств активных воздействий на градовые процессы. Исследование влияния показателей эффективности средств засева на успех проведения работ по борьбе с градом.

В рамках достижения этой цели были поставлены и решены следующие задачи:

- Выработать метод объективной оценки эффективности средств активных воздействий, учитывающий спектр тактико-технических характеристик противоградовых изделий, особенности конструкции и условий применения противоградовых комплексов.
- Провести анализ эффективности современных средств активных воздействий с целью выявления их преимуществ и недостатков. По результатам анализа выработать рекомендации по их совершенствованию и наметить перспективные направления дальнейшего развития техники в этой области.

Научная новизна полученных результатов

Предложен принципиально новый подход к оценке эффективности средств активных воздействий на градовые процессы, основанный на расчете вероятности прохождения противоградового изделия (ПГИ) как носителя реагента в слое засева.

- Впервые выработаны объективные критерии оценки эффективности ПГИ, отражающие особенности их конструкции, тактико-технические характеристики и условия применения. На основе полученных критериев проведен анализ современных ПГИ,

различных как по конструктивному исполнению, так и по способу внесения реагента, определены наиболее совершенные из них. Выявлены особенности применения ПГИ различных типов с целью достижения максимального эффекта при засеве

– Впервые используя полученные критерии, проведен расчет норм расхода ПГИ различного типа из условия соблюдения требований технологии воздействия. При этом норма расхода изделий рассматривалась в качестве основного показателя эффективности противорадовых комплексов, который отражает не только степень совершенства техники, но и позволяет судить об экономической целесообразности использования того или иного комплекса в системе противорадовой защиты.

– Впервые при анализе результатов активных воздействий на мощные градовые процессы проведено сопоставление временного хода параметров конвективных ячеек с моментами проведения засевов. При этом эффективность засевов оценивалась по критерию - вероятности успешного засева.

– Впервые рассмотрена задача оптимизации баллистических параметров противорадовых изделий, использующих линейно-трассовый способ внесения реагента. С использованием аппарата вариационного исчисления получены аналитические зависимости, определяющие режим работы двигателя ракеты из условия формирования оптимальной траектории полета.

Практическая значимость полученных результатов

Изложенный в работе подход к оценке эффективности средств активных воздействий позволяет учитывать фактор технического совершенства противорадовых изделий, как основного инструмента воздействия при реализации физических гипотез модификации градовых процессов с целью их дальнейшего совершенствования и строгого научного обоснования.

На основе выработанных критериев оценки эффективности ПГИ проведено сравнение изделий различных по конструктивному исполнению, тактико-техническим характеристикам и реализуемому способу внесения реагента. Определены преимущества и недостатки различных типов изделий и выработаны рекомендации по повышению их эффективности. Выявлены особенности применения ПГИ с реализацией различных способов внесения реагента и намечены наиболее перспективные направления дальнейшего развития данного вида техники. По результатам расчетов определены оптимальные условия запуска ПГИ различного типа из условия обеспечения их максимальной эффективности при воздействии.

Проведен расчет норм расхода ПГИ различных типов с учетом их тактико-технических характеристик и условий применения и выработаны рекомендации по их использованию в системе противорадовой защиты.

Выработан критерий эффективности проведения засева - вероятность успешного засева. Показано, что данный критерий адекватно определяет успех проведения воздействия.

Следует отметить, что изложенный в работе подход к оценке эффективности средств активных воздействий пригоден для анализа, как существующих типов изделий, так и находящихся в стадии разработки.

Таким образом, результаты, изложенные в работе, представляют интерес и для научных разработок и для оперативной работы по борьбе с градом.

Основные положения, выносимые на защиту

– Выработанные критерии оценки эффективности средств активных воздействий и результаты расчета эффективности современных противорадовых изделий.

– Результаты расчета норм расхода противорадовых изделий различного типа на проведение засева объектов воздействия различной категории.

- Рекомендации по повышению эффективности противоградовых комплексов и направления их совершенствования
- Результаты оптимизации баллистических параметров противоградовых изделий, использующих линейно-трассовый способ внесения реагента

Личный вклад автора

Постановка задачи выполнена автором совместно с научным руководителем

Критерии оценки эффективности противоградовых изделий и подход к расчету норм их расхода выработаны совместно с доктором физ-мат наук Абшаевым М Т

Анализ эффективности современных средств доставки реагента выработка рекомендаций по их совершенствованию и определение перспективных направлений развития выполнены автором

Постановка и решение задачи оптимизации баллистических параметров противоградовых ракет выполнена также автором

Апробация работы

Основные результаты работы докладывались на Всероссийской конференции по физике облаков и активным воздействиям (АВ) на гидрометеорологические процессы (г Нальчик, 2005 г), на второй международной конференции по моделированию устойчивого регионального развития (г Нальчик, 2007 г), обсуждались на общегеофизическом семинаре Государственного учреждения «Высокогорный геофизический институт»

По результатам исследований опубликовано 13 работ в том числе одно авторское свидетельство и один патент на изобретение

Структура и объем диссертации Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав заключения списка литературы, приложений и содержит 173 страницы машинописного текста, включающего 52 рисунка и 5 таблиц Список цитированной литературы содержит 112 наименований работ

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обуславливается актуальность темы сформулированы цели и задачи работы приводится научная и практическая значимость, новизна полученных результатов

В первой главе приведен краткий обзор научных концепций предотвращения града, способов и техники засева градовых облаков, реагентов используемых для проведения засева и способов их введения Изложены требования технологии воздействия к техническим средствам засева и приведен обзор современных ракетных и артиллерийских средств доставки реагента Поставлена задача по разработке методики оценки эффективности средств активных воздействий с учетом технических характеристик изделий и реализуемых способов внесения реагента

Во второй главе рассмотрено понятие эффективности противоградового комплекса и выработаны критерии оценки Проведены расчеты численных значений критериев эффективности применительно к современным средствам доставки реагента и определены наиболее совершенные из них

В настоящее время для оценки эффективности ПГИ используются эмпирические зависимости включающие основные технические характеристики изделий Данный подход обладает существенными недостатками, которые заключаются в следующем

- Сравнение по основным характеристикам - дальности доставки реагента, выходу активных частиц и т д затрудняет решение поставленной задачи так как по данным параметрам современные средства доставки реагента имеют незначительные отличия, при этом преимущества одного типа ПГИ перед другим могут компенсироваться разницей в их стоимости

– Не учитывается точность доставки реагента в слой засева В то же время, одним из основных недостатков противорадовых ракет (ПГР) (по сравнению с артиллерийскими снарядами) является меньшая точность доставки реагента в область засева, однако исследование влияния этого фактора на эффективность проведения противорадовых работ в литературе отсутствует

– Не учитываются преимущества плоскостного способа введения реагента перед линейно-трассовым способом При этом использование плоскостного способа рассматривается как один из путей повышения эффективности противорадовых комплексов, так как засев вертикальной плоскости устраняет влияние эффекта крутизны траектории То же относится к случаю сравнения ПГР с крутыми и пологими траекториями полета (при линейно-трассовом способе внесения реагента)

Под эффективностью ракетного (артиллерийского) комплекса принято понимать степень его пригодности для использования по назначению Величина эффективности определяется с одной стороны качеством комплекса с другой стороны условиями его применения Применение ПГР сопровождается большим числом случайных факторов, которые приводят к отклонению траектории полета ПГИ от номинальной траектории Поэтому результаты действия противорадовых комплексов (ПГК) целесообразно рассматривать как функцию случайной величины а критерий эффективности представить в виде вероятностной характеристики

Используя характеристики кучности боя ПГИ и графики траекторий их полета, рассчитаем вероятность прохождения носителя реагента через вертикальное сечение слоя засева В предположении что траектория ПГИ лежит в одной плоскости (без учета бокового отклонения) вероятность прохождения ракеты в километровом слое засева в любой точке траектории определяется по формуле

$$P(x) = \frac{1}{\sigma_y(x)\sqrt{2\pi}} \int_{H_{засева}-500}^{H_{засева}+500} e^{-\frac{(y-m(x))^2}{2\sigma_y(x)^2}} dy, \quad (1)$$

где $H_{засева}$ - высота средней линии слоя засева. м $H_{засева}+500$ м - высота верхней границы слоя засева, $H_{засева}-500$ м - высота нижней границы слоя засева, $m(x)$ - математическое ожидание высоты траектории ПГИ при дальности x $\sigma_y(x)$ - среднеквадратичное отклонение ракеты по высоте для дальности x

Значение $\sigma_y(x)$ определяется из выражения

$$\sigma_y(x) = \frac{E(x)}{0.6745} \quad (2)$$

где $E(x)$ - вероятное отклонение траектории по высоте для заданной горизонтальной дальности полета x

Вероятное отклонение $E(x)$ определяется из технической характеристики кучности боя ПГИ – $E(x)/x$ На рисунке 1 приведена зависимость максимального отклонения ПГИ от центра рассеивания в зависимости от дальности полета при различных значениях кучности боя (1/40 – 1/55 для ракет и 1/150 – для артиллерийского снаряда) Как следует из рисунка для артиллерийского снаряда (с кучностью боя 1/150) при максимальной дальности полета максимальное отклонение не превосходит 500 м (половины интервала слоя засева) Следовательно, вероятность внесения реагента равна единице (считаем, что при точечном внесении реагента математическое ожидание точки ликвидации снаряда совпадает со средней линией слоя засева) Для противорадовых ракетами в которых используются линейно-трассовый и плоскостной способы внесения реагента вероятность прохождения в слое засева определяется не только характеристикой рассеивания но и смещением математического ожидания относительно средней линии слоя засева

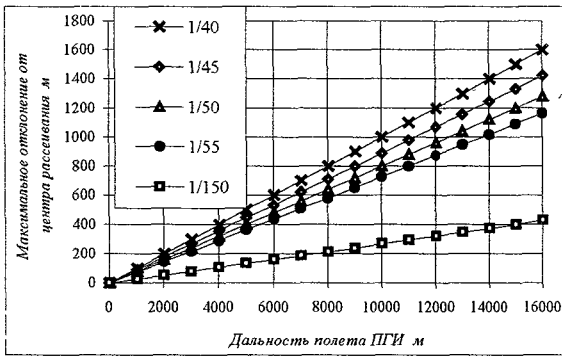


Рисунок 1 - Зависимость максимального отклонения от центра рассеивания (интервал равный четырем вероятным отклонениям) от горизонтальной дальности полета ПГУ при различных значениях кучности боя

В качестве примера на рисунке 2 представлена зависимость $P(x)$ для ПГР «Алазань-5». Как видно из количественной характеристики примем ее интегральное значение по всей дальности внесения реагента

$$L_{\Sigma} = \int_{X_n}^{X_k} P(x) dx \quad (3)$$

где X_n - координата точки начала выделения реагента, X_k - координата точки окончания выделения реагента. $P(x)$ - зависимость вероятности прохождения ракеты вертикального сечения слоя засева от дальности полета

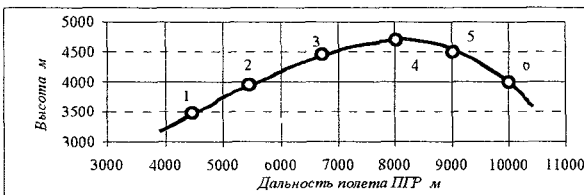
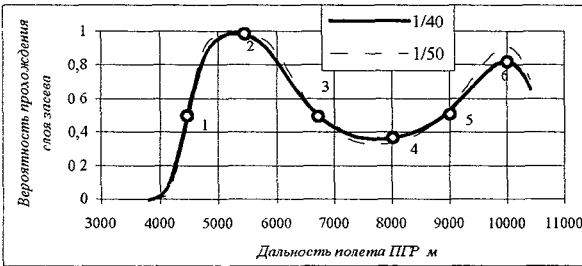


Рисунок 2 - Вероятность прохождения вертикального сечения слоя засева для ПГР «Алазань-5» и соответствующая ей траектория полета на участке внесения реагента. Высота средней линии слоя засева - 4000 м. Условия запуска ПГР: высота расположения пункта воздействия - 250 м над уровнем моря, угол возвышения пусковой установки (ПУ) 50 градусов, кучность боя 1/40 и 1/50

Величина L_{Σ} (по своему физическому смыслу) является длиной трассы засева эквивалентного носителя реагента - проходящего слой засева с вероятностью равной единице. Данную величину можно рассматривать как критерий эффективности ПГУ. Так как различные типы ПГР имеют разную длину трассы внесения реагента, удобнее рассматривать среднее значение вероятности прохождения ПГУ через слой засева, определяемое из выражения

$$P_{cp} = \frac{L_3}{X_c - X_n} \quad (4)$$

На рисунках 3 - 6 приводятся результаты расчетов P_{cp} для некоторых типов ПГР. Для ПГР «Кристалл-2», с плоскостным способом внесения реагента (реализуется путем отстрела модулей из кассетной головной части) вероятность прохождения слоя засева будет определяться не относительно траектории самого изделия, а относительно вертикальных трасс падения отстреливаемых модулей. При этом в формуле (1) в качестве математического ожидания высоты траектории ПГИ - $m(x)$, рассматривается точка трассы падения модуля, ближайшая к средней линии слоя засева.

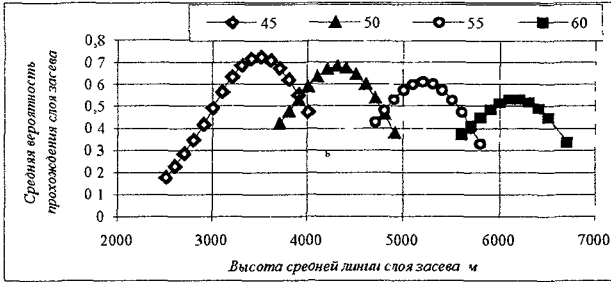


Рисунок 3 - Зависимость P_{cp} от высоты средней линии слоя засева для ПГР «Алазань-5» при углах возвышения ПУ 45 – 60 градусов и кучности боя 1/40

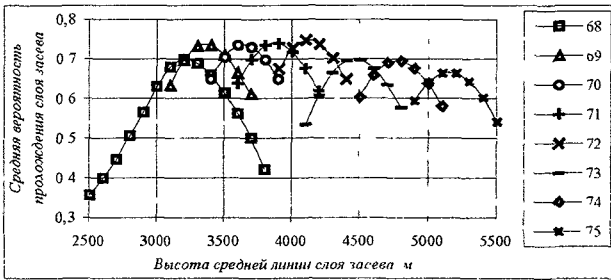


Рисунок 4 - Зависимость P_{cp} от высоты средней линии слоя засева для ПГР «Алан» при углах возвышения ПУ 68–75 градусов и кучности боя 1/50

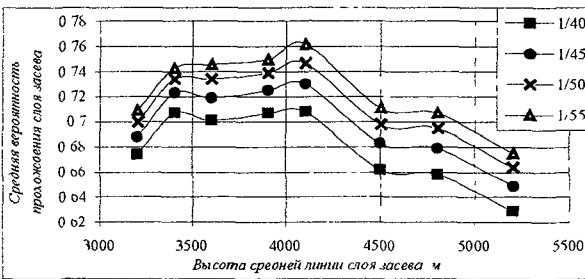


Рисунок 5 - Зависимость P_{cp} от высоты средней линии слоя засева для ПГР «Алан», построенная без учета дискретности наведения ПУ при различных значениях кучности боя

Для оценки преимущества плоскостного способа внесения реагента перед линейно-трассовым, расчеты проводились как для самого ПГИ так и с учетом отстрела модулей при длине их вертикальной трассы полета 500 м и 1000 м (рисунок 6)

Как показывают расчеты грубая дискретность наведения пусковой установки (ПУ) по углу возвышения (5 градусов) не позволяет получить оптимальные траектории ПГР во

всем диапазоне высот слоя засева Снижение средней вероятности прохождения слоя засева для различных типов ПГР при этом составляет 0,1-0,2, в то время как для ПГР «Алан» с дискретностью наведения ПУ - 1 градус снижение вероятности за счет дискретности наведения составляет 0,01-0,02. Улучшение характеристики кучности боя ПГР не приводит к существенному увеличению средней вероятности прохождения слоя засева и составляет в среднем 0,03

Существенное влияние на эффективность ПГР оказывает эффект от применения плоскостного способа внесения реагента Как следует из рисунка 6, использование в ПГР модульного снаряжения головной части позволяет увеличить вероятность прохождения слоя засева в среднем на 0,2 что является следствием устранения влияния крутизны траектории

На рисунке 7 приводится обобщенный график зависимости средней вероятности прохождения слоя засева от высоты слоя засева для различных типов ПГР Как следует из рисунка 7, наибольшую эффективность имеют ПГР «Кристалл-2», «Алазань-5» и «Алан»

Следует отметить, что для диапазона высот слоя засева до 3800 м эффективность ПГР, использующих линейно-трассовый способ внесения реагента существенно ниже эффективности ПГР «Кристалл-2», в котором реализован плоскостной способ внесения реагента

На рисунке 8 приведены соотношения длин трасс внесения реагента ПГИ и длин трасс эквивалентного носителя реагента для различных типов ПГИ Как следует из рисунка, эффективность изделия тем выше, чем больше длина трассы эквивалентного носителя реагента приближается к длине трассы внесения реагента ПГИ

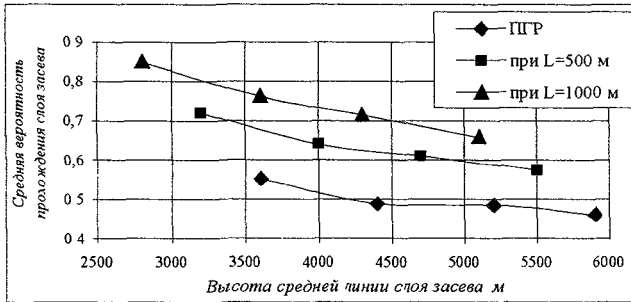


Рисунок 6 - Зависимость P_{cp} от высоты средней линии слоя засева для ПГР «Кристалл-2» без учета дискретности наведения ПУ. Кучность боя 1/40

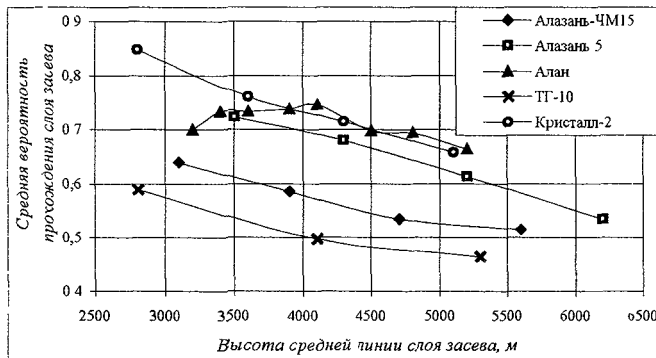
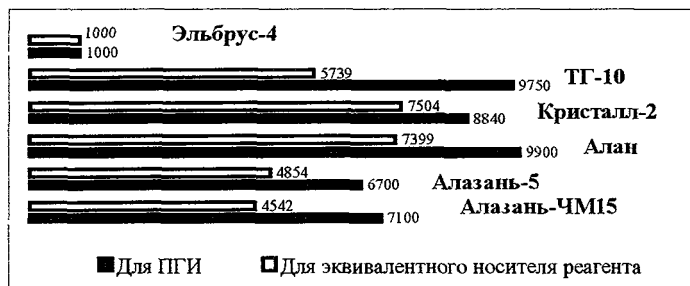


Рисунок 7 - Зависимость средней вероятности прохождения слоя засева P_{cp} от высоты средней линии слоя засева для различных типов ПГР

Рисунок 8 –
Длина трассы
внесения реагента
для ПГИ и
эквивалентного
носителя
реагента (длины
указаны в
метрах)



В третьей главе показана целесообразность рассмотрения в качестве основного показателя эффективности ПГИ норм их расхода на проведение засева объектов воздействия. Предложен подход к расчету норм расхода изделий, учитывающий вероятностный характер прохождения ПГИ как носителя реагента в слое засева. Проведены расчеты норм расхода ПГИ разного типа для засева объектов воздействия всех категорий при различных условиях применения ПГИ.

Одним из основных недостатков ракетно-артиллерийского способа засева по сравнению с другими способами считается его высокая стоимость, которая в основном определяется стоимостью средств доставки реагента. Поэтому при оценке эффективности необходимо учитывать не только степень совершенства ПГИ, но и их стоимость. В связи с этим, в качестве величины, определяющей эффективность ПГИ, удобно рассматривать норму расхода изделий того или иного типа для проведения успешного воздействия. В оперативной работе расход изделия определяется путем перекрытия зоны засева трассами ПГИ с учетом коэффициента перекрытия (КПД засева). Однако, как показывает практика, для объектов воздействия высокой категории, данные нормы расхода существенно занижены по сравнению с реальным расходом.

Используя среднюю вероятность прохождения ППР в слое засева и длину трассы внесения реагента, определим общее количество ПГИ, необходимое для успешного засева объектов воздействия (ОВ) различных категорий с учетом точности внесения реагента.

Решим задачу в следующей постановке. Имеется зона засева ОВ i -ой категории с площадью горизонтального сечения S_i и площадью, засеваемая одной ракетой, определяемая из выражения

$$S_r = L \cdot d \quad (5)$$

где L - длина трассы засева, d - ширина трассы засева, равная 1 км.

Минимально необходимое число ракет k для проведения однократного засева определим из условия перекрытия площади S_i трассами засева. Это число ракет для ОВ i -ой категории определяется как отношение площадей

$$k = S_i / S_r \quad (6)$$

Число ракет k определено из условия, что p -вероятность прохождения ракеты как носителя реагента в слое засева равна единице. Для случая $p < 1$ нужно найти необходимое для успешного воздействия число ППР - n при условии, что не менее k из них достигнут цели (успешно внесет реагент в слой засева). Вероятность появления этого события - P^n . За необходимую величину P^n примем значение КПД засева для ячейки i -ой категории, что составляет 0,3–0,5 при воздействии на слабые градовые процессы (1-ой категории), 0,5–0,8 в большинстве случаев (2 и 3-й категорий), 0,8–1,0 при воздействии на градовые процессы 4-ой категории.

Из условия, что успешно внести реагент в слой засева должны не менее k ракет, вероятность успеха однократного засева ОВ i -ой категории находится из выражения:

$$P^i = \sum_{m=k}^n \frac{n!}{m!(n-m)!} P_{cp}^m (1 - P_{cp})^{n-m} \quad (7)$$

где n - общее количество израсходованных ракет, k - минимально необходимое количество ракет для успешного однократного засева ОВ, P_{cp} - средняя вероятность прохождения слоя засева одной ракетой.

Из формулы (7) находим такое количество ракет - n , для которого P^i окажется не ниже порогового значения для заданной категории объекта воздействия.

На рисунках 9-11 приведены результаты расчетов расхода некоторых типов ПГИ на проведение засевов (с учетом кратности засевов, которая соответствует категории объекта воздействия).

Сравнение результатов расчета количества ППР, необходимого для проведения засева, как отношения площади зоны засева к площади, засеваемой одним изделием, со значениями, полученными с учетом вероятностного характера внесения реагента, показывают, что для ОВ 1-ой - 2-й категорий существенной разницы в количестве ППР нет. Таким образом, успешный засев ОВ обеспечивается простым перекрытием зоны засева трассами ППР. Для ОВ 3-й и 4-ой категорий разница в количестве ракет существенна (примерно в 1,5 - 2,5 раза), увеличивается с ростом площади зоны засева, зависит от типа ППР и условий их применения.

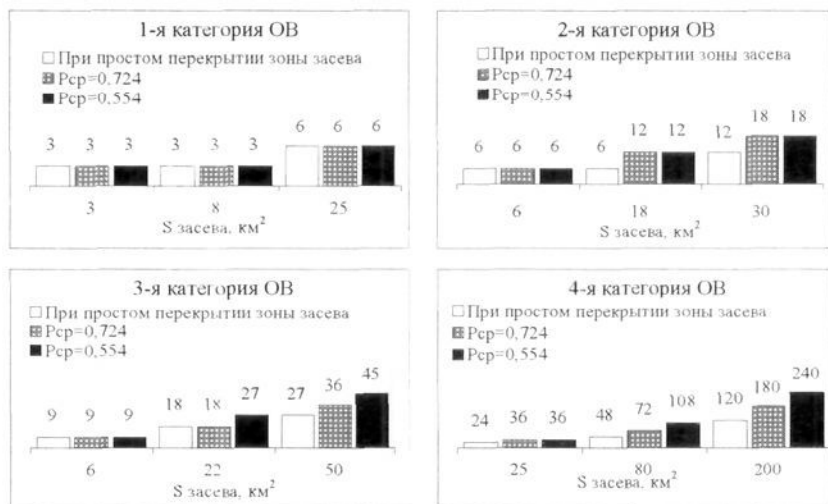


Рисунок 9 - Расход ППР «Алазань-5» на проведение засева при простом перекрытии зоны засева трассами ракет и с учетом средней вероятности прохождения слоя засева.



Рисунок 10 - Расход ПГР «Алан» на проведение засева при простом перекрытии зоны засева трассами ракет и с учетом средней вероятности прохождения слоя засева.



Рисунок 11 - Расход ПГР «Кристалл-2» на проведение засева при простом перекрытии зоны засева трассами ракет и с учетом средней вероятности прохождения слоя засева при длине вертикальной трассы полета модулей 1000 м и без учета отстрела модулей.

В четвертой главе рассмотрены результаты АВ на объекты 4-й категории (на примере двух градовых процессов, проходивших над территорией КБР 23 июля 2005 г и 10 июля 2003 г) При анализе впервые рассмотрено влияние эффективности средств засева на успех проведения воздействия Для этого проведено сопоставление временного хода параметров конвективных ячеек (КЯ) с моментами проведения засевов Эффективность засевов оценивалась по критерию - вероятности успешного засева (формула 7)

Оценка физической эффективности воздействий проводилась на основе исследования эволюции наиболее информативных (трехмерных) параметров КЯ
 - $\Delta Q_{V45}, \Delta Q_{V55}, \Delta Q_{V65}$ - интегральное значение водности объема переохлажденной части КЯ с отражаемостью $Z_{10} \geq 45, 55$ и 65 dBZ соответственно. выше уровня изотермы 0°C - характеристика водо-льдосодержания зоны зарождения и роста града
 - $\Delta V_{45}, \Delta V_{55}, \Delta V_{65}$ - объем облака с радиолокационной отражаемостью $Z_{10} \geq 45, 55$ и 65 dBZ соответственно выше уровня изотермы 0°C - объемы зоны роста града,
 - V_{sp} - объем градового очага

Кроме этого, рассмотрена эволюция площади выпадения града S_{sp}

На рисунках 12 и 13 показаны отношения текущих значений основных параметров к их максимальным значениям за время эволюции (приведенные значения параметров)

$$V_{sp}(t)^* = \frac{V_{sp}(t)}{(V_{sp})_{\max}}, \quad S_{sp}(t)^* = \frac{S_{sp}(t)}{(S_{sp})_{\max}}, \quad \Delta Q_{V45}(t)^* = \frac{\Delta Q_{V45}(t)}{(\Delta Q_{V45})_{\max}}, \quad \Delta V_{45}(t)^* = \frac{\Delta V_{45}(t)}{(\Delta V_{45})_{\max}} \quad (8)$$

23 июля 2005 г В момент начала воздействия облако классифицировалось как объект 4-й категории - одноячейковая структура с протяженностью навеса радиозеха 5 км При воздействии использовались ППР «Алазань-6» Работы проводились с двух пунктов воздействия (ПВ) № 11 и 14 при следующих условиях высота изотермы минус 6°C - 5000 м высота стояния ПВ 750 м над уровнем моря, угол возвышения ПУ 50° При этих условиях $P_{sp}=0.622$ (при длине трассы внесения реагента 6.9 км) В таблице 1 приведены значения площадей зоны засева количество израсходованных ракет и расчетные значения $P_{засева}$

На рисунке 12 приведены значения $P_{засева}$ в моменты засевов и временной ход параметров градового облака $V_{sp}^*, \Delta Q_{V45}^*, \Delta V_{45}^*$, и S_{sp}^* Максимальные значения данных параметров при этом были равны $(S_{sp})_{\max} = 84.5 \text{ км}^2$, $(V_{sp})_{\max} = 600 \text{ км}^3$, $(\Delta Q_{V45})_{\max} = 1 \cdot 10^6$ тонн $(\Delta V_{45})_{\max} = 635 \text{ км}^3$

Таблица 1 - Расчетные значения вероятности успешного засева облака

№	Время	№ ПВ	Количество ракет	Площадь зоны засева, км ²	Вероятность успешного засева, $P_{засева}$
1	15 ¹⁶	14	6	90	0
2	15 ²¹	14	6	70	0
3	15 ²⁶	14	11	60	0.15
4	15 ³⁴	14	6	60	0
5	15 ³⁷	14 11	12	50	0.7
6	15 ⁴¹	14 11	12	50	0.7
7	15 ⁴⁴	11	3	40	0

Наиболее эффективное проведение засева отмечено в моменты времени 15³⁷ и 15⁴¹ ($P_{засева}=0.7$) Это подтверждает временной ход параметров облака С момента проведения засева в 15³⁷ с учетом времени реакции облака на засев (в данном случае 3 минуты) наблюдается снижение $V_{sp}^*, \Delta Q_{V45}^*$ и ΔV_{45}^* С учетом того, что непосредственно в момент засева - 15³⁷ V_{sp}^* и ΔV_{45}^* оставались стабильным, а ΔQ_{V45}^* возрастала, эволюцию параметров конвективной ячейки можно рассматривать как следствие проведения успешного засева

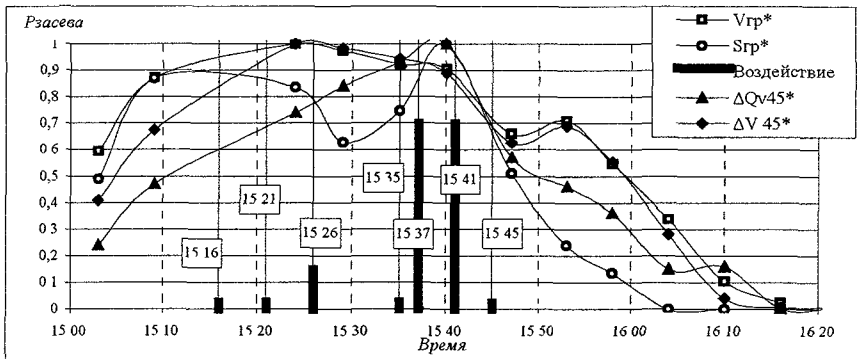


Рисунок 12 - Временной ход приведенных параметров градового облака и вероятность успешного засева в моменты воздействия

В момент времени 15^{26} требования технологии по перекрытию площадки засева трассами ракет выполнено. Однако, с учетом вероятности прохождения ракет в слое засева данного расхода недостаточно - $P_{засева} = 0,15$. Как показывает эволюция параметров облака (рисунок 12), на временном интервале с 15^{26} до 15^{37} зафиксировано незначительное снижение $V_{гр}^*$ и ΔV_{45}^* , при устойчивом росте ΔQ_{v45}^* . Таким образом, эффект от проведения засева не наблюдается на фоне естественной эволюции параметров конвективной ячейки.

Как показал анализ, проведение двух эффективных засевов обеспечило успешное воздействие на объект 4-й категории.

10 июля 2003 г. В момент начала воздействия (18^{24}) облако классифицировалось как объект 4-й категории - одноячейковая структура навес радиозаха с протяженностью 9 км. Работы проводились с 12 ПВ с использованием ПГР «Алазань-6», «Алазань-5» и «Алазань-ЧМ15». В таблице 2 приведены значения площади зоны засева, количество израсходованных ракет и расчетные значения $P_{засева}$ в моменты засевов и временной ход приведенных параметров градового облака. Условия применения ракет были различными (для высоты изотермы минус 6°C равной 4500 м), так как высоты стояния ПВ варьировались от 250 м до 1000 м над уровнем моря. У трех ПВ углы возвышения ПУ были оптимальны. Как следствие этого, в моменты засева 1, 2, 13-15 (таблица 2) средняя вероятность прохождения ракет в слое засева была максимальной (если засев велся с несколькими ПВ, использовались усредненные значения). В остальных случаях снижение $P_{ср}$ явилось следствием не оптимальных углов возвышения ПУ.

При проведении засевов, в 12 случаях требования технологии по перекрытию зоны засева трассами ракет были выполнены (в таблице 2 пункты 2, 3, 5-7, 9-11, 13, 14, 20 и 21). Однако, только в пяти случаях $P_{засева} \geq 0,2$ (в таблице 2 пункты 2, 3, 5, 6 и 14). На рисунке 13 приведены значения $P_{засева}$ в моменты засевов и временной ход приведенных параметров градового облака $V_{гр}^*$, ΔQ_{v45}^* , V_{45}^* и $S_{гр}^*$. Максимальные значения данных параметров при этом были равны $(S_{гр}^*)_{max} = 92,7 \text{ км}^2$, $(V_{гр}^*)_{max} = 658 \text{ км}^3$, $(\Delta Q_{v45}^*)_{max} = 0,53 \cdot 10^6 \text{ тонн}$, $(\Delta V_{45}^*)_{max} = 395 \text{ км}^3$.

Эволюция параметров облака в моменты проведения наиболее эффективных засевов показывает

- Засев №2 $P_{засева} = 0,4$. Через 10 минут после проведения засева фиксируется начало снижения $V_{гр}^*$, ΔQ_{v45}^* и ΔV_{45}^* . С учетом того, что до засева наблюдался рост данных параметров, их снижение можно рассматривать как реакцию КЯ на проведение засева.

- Засевы №3 и №5 $P_{засева} = 0,2$ Непосредственно после засева №3 и в момент засева №5 наблюдалось снижение $V_{зр}^*$, ΔQ_{V45}^* и ΔV_{45}^* что не позволяет судить об эффекте засева на фоне естественной эволюции параметров облака
- Засев №6 $P_{засева} = 0,3$ Непосредственно после засева зафиксировано увеличение $V_{зр}^*$ – наблюдается рост объема в течение 3 минут, затем около 9 минут объем оставался стабильным, а затем наблюдается его спад. Параметры ΔQ_{V45}^* и ΔV_{45}^* оставались стабильными. С учетом того, что $P_{засева} = 0,3$, в данном случае можно говорить о незначительной реакции КЯ на проведение засева
- Засев №14 $P_{засева} = 0,2$ В момент засева фиксировалось увеличение $V_{зр}^*$, ΔQ_{V45}^* , ΔV_{45}^* – наблюдается рост $V_{зр}^*$, в течение 7 минут, после этого объем остается стабильным на протяжении 12 минут. Параметры ΔQ_{V45}^* и ΔV_{45}^* оставались стабильными 12 минут. С учетом того, что $P_{засева} = 0,2$ в данном случае можно сказать о незначительной реакции облака на проведение засева

Таблица 2- Расчетные значения вероятности успешного засева облака

№	Время	Тип ракеты	Кол-во ракет	Средняя вероятность прохождения ракеты в слое засева, $P_{р}$	Площадь засеваемая одной ракетой км ²	Площадь зоны засева, км ²	Вероятность успешного засева $P_{засева}$
1	18 ²⁴	Ал-6	5	0,648	7,6	50	0
2	18 ²⁹	Ал-6	9	0,562	7,6	50	0,4
3	18 ³⁷	Ал-6	9	0,477	7,6	50	0,2
4	18 ⁴⁵	Ал-6	3	0,477	7,6	50	0
5	18 ⁴⁹	Ал-6	9	0,477	7,6	50	0,2
6	18 ⁵⁷	Ал-6 Ал-5	8	0,477	7,6	40	0,3
7	19 ⁰⁸	Ал-5	6	0,477	7,6	40	0,1
8	19 ¹⁷	Ал-5	3	0,477	7,6	40	0
9	19 ²²	Ал-5	6	0,477	7,6	40	0,1
10	19 ²⁸	Ал-5	6	0,477	7,6	40	0,1
11	19 ³⁶	Ал-5	6	0,477	7,6	40	0,1
12	19 ⁴¹	Ал-5	3	0,477	7,6	50	0
13	19 ⁵⁸	Ал-5	9	0,54	7,6	60	0,05
14	20 ⁰⁶	Ал-5	15	0,54	7,6	80	0,2
15	20 ¹⁸	Ал-5	4	0,54	7,6	60	0
16	20 ³⁷	ЧМ-15	6	0,314	6,4	60	0
17	20 ⁴⁵	ЧМ-15	3	0,314	6,4	70	0
18	20 ⁵⁴	ЧМ-15	3	0,314	6,4	80	0
19	21 ⁰²	ЧМ-15	6	0,314	6,4	80	0
20	21 ¹⁴	Ал-5 ЧМ-15	23	0,408	6,8	90	0,1
21	21 ²⁹	Ал-5	21	0,374	7,1	80	0,1
22	21 ⁴¹	Ал-5	6	0,285	6,4	50	0
23	21 ⁵⁹	Ал-5	6	0,285	6,4	40	0

В моменты проведения засевов №8 - №10 (время с 19¹⁷ до 19²⁸) фиксировался спад параметров КЯ. Фактически наблюдался процесс диссипации КЯ с последующей регенерацией и интенсивным ростом параметров - $V_{зр}^*$, ΔQ_{V45}^* , ΔV_{45}^* (19³⁰ - 19⁵⁰). С учетом низкой эффективности засевов - $P_{засева} \leq 0,1$ (с №8 по №12), выявить эффект от воздействия в данном случае не представляется возможным.

Как показал анализ, данное воздействие нельзя рассматривать как успешное, это подтверждается продолжительностью самого градового процесса (около 5 часов). Засевы

отличались низкой эффективностью, и в данном случае наблюдалась лишь некоторая реакция облака на проведение воздействия

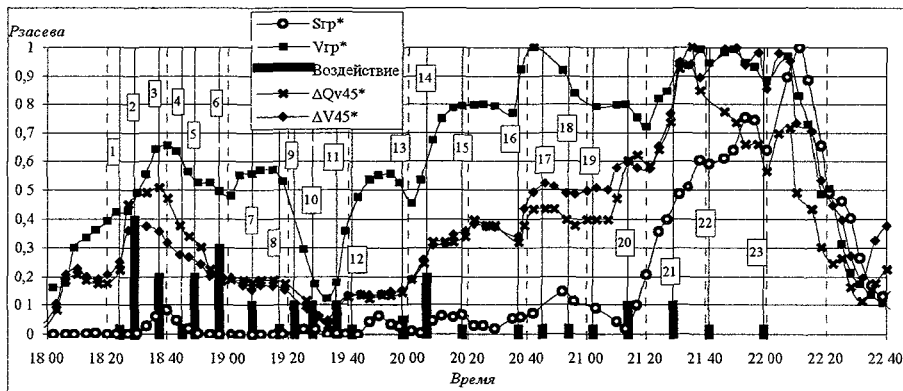


Рисунок 13 - Временной ход приведенных параметров градового облака и вероятность успешного засева в моменты воздействия

При воздействии на мощные градовые процессы низкая эффективность засевов в большинстве случаев обусловлена субъективным подходом к выбору углов возвышения ПУ. Следствием этого является неоптимальное положение траекторий ППР относительно слоя засева. При этом можно выделить два варианта не оптимальности – неверно выбранный угол возвышения ПУ и не оптимальность как следствие грубой дискретности наведения ПУ по углу возвышения.

Перекрытие площадки засева трассами ракет не является гарантией проведения успешного воздействия, так как при этом не учитывается вероятностный характер внесения реагента в слой засева. Введенный критерий – вероятность успешного засева - $P_{засева}$ адекватно определяет успех воздействия, что подтверждается временным ходом параметров КЯ. При этом, время реакции облака на засев варьировалось от 3 минут (при $P_{засева} = 0,7$) до 10 минут при засевах с низкой эффективностью ($0,2 \leq P_{засева} \leq 0,4$). При этом, $P_{засева} = 0,2$ можно принять за пороговое значение эффективности засева, при котором удастся выделить реакцию КЯ на воздействие на фоне естественной эволюции ее параметров.

В пятой главе рассмотрена задача оптимизации баллистических параметров противорадовых изделий, использующих линейно-трассовый способ внесения реагента. С использованием аппарата вариационного исчисления получены аналитические зависимости, определяющие режим работы двигателя ракет, из условия формирования оптимальной траектории полета ППР.

В качестве критерия оптимальности траектории ППР принята зависимость вероятности прохождения ракеты в вертикальном сечении слоя засева

$$f(x, y) = \frac{1}{x \sqrt{2\pi}} \int_{Hz-500}^{Hz+500} e^{-\frac{(y_1 - y)^2}{2 \left(\frac{x}{Kr \cdot 0,6745} \right)^2}} dy_1 \quad (9)$$

где x и y - координаты точки траектории, H_z - высота средней линии слоя засева Kr - коэффициент, определяющий характеристики рассеивания ракеты (при кучности боя 1/40 он равен 40), y_1 - вертикальная координата в сечении слоя засева

Будем искать максимум вероятности прохождения ППР через слой засева по всей длине траектории полета Для этого проинтегрируем выражение (9) по дальности полета от начальной точки траектории – x_0 до конечной x_k

$$F = \int_{x_0}^{x_k} f(x, y) dx \quad (10)$$

Решение задачи сводится к поиску экстремума функционала (10) в интегральной форме (задача в форме Лагранжа) В качестве параметра, формирующего оптимальную траекторию полета ППР. будем рассматривать модуль вектора тяги двигателя так как это единственная характеристика ракеты которая может быть изменена по траектории полета В связи с тем, что решение данной задачи рассматривается в общем виде (не привязываясь к конкретному типу ППР), фазовые ограничения на управляющий параметр не накладывались Решение будем искать при условии, что на систему наложены дополнительные связи, являющиеся уравнениями, описывающими движение ППР Для этого воспользуемся упрощенной моделью продольного движения центра масс ракеты в виде системы дифференциальных уравнений (11)

$$\frac{du}{dx} = \frac{n}{u} g \cos \theta \quad \frac{dw}{dx} = \frac{n}{u} g \sin \theta - \frac{g}{u} \quad \frac{dy}{dx} = \frac{w}{u}, \quad \frac{w}{u} = \operatorname{tg} \theta \cdot V = \sqrt{u^2 + w^2}. \quad (11)$$

где V - скорость полета ракеты u , w - горизонтальная и вертикальная составляющие скорости полета θ - угол наклона траектории полета

В системе уравнений (11) перегрузка - n характеризует соотношение сил действующих на ракету в полете

$$n = \frac{P - X_a}{mg}, \quad (12)$$

где P - сила тяги ракетного двигателя. X_a - сила аэродинамического сопротивления m - масса ракеты

Следует заметить, что в системе уравнений (11) единственной переменной которая включает в себя тяговые, массовые и аэродинамические характеристики ППР. является перегрузка n , которая одновременно является параметром, формирующим оптимальную траекторию полета посредством изменения модуля вектора тяги

С учетом (10) и (11) подынтегральная функция Лагранжа примет вид

$$F^* = f(x, y) + \lambda_1 \left(\dot{u} - \frac{n}{u} g \cos \theta \right) + \lambda_2 \left(\dot{w} - \frac{n}{u} g \sin \theta + \frac{g}{u} \right) + \lambda_3 \left(\dot{y} - \frac{w}{u} \right) \quad (13)$$

Уравнения Эйлера в этом случае примут вид

$$\begin{aligned} \dot{\lambda}_1 &= \lambda_1 \frac{n}{u^2} g \cos \theta + \lambda_2 \left(\frac{n}{u^2} g \sin \theta - \frac{g}{u^2} \right) + \lambda_3 \frac{w}{u^2} \\ \dot{\lambda}_2 &= -\lambda_3 \frac{1}{u} \quad \dot{\lambda}_3 = \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \cdot \frac{n}{u} g (\lambda_1 \sin \theta - \lambda_2 \cos \theta) = 0 \end{aligned} \quad (14)$$

После исключения из уравнений (14) множители Лагранжа $\lambda_1 - \lambda_3$ окончательное решение получаем в виде

$$\int_{x_0}^{x_k} \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} dx = c(n \sin \theta - 1) \quad (15)$$

где константа $c > 0$

Левая часть уравнения (15) определяется положением ракеты относительно заданного слоя засева, а правая часть - перегрузкой, действующей на ракету и углом наклона траектории полета. На рисунке 14 приведен общий вид зависимости $F(x,y)$ - левой части уравнения (15) при высоте средней линии слоя засева $H_{засева}=3000$ м и кучности боя ракеты 1/40.

Как следует из рисунка, функция имеет ярко выраженные максимум и минимум, которые совпадают с нижней и верхней границами слоя засева соответственно (в данном случае 2500 м и 3500 м). При высоте средней границы слоя засева (3000 м) значение функции равно нулю.

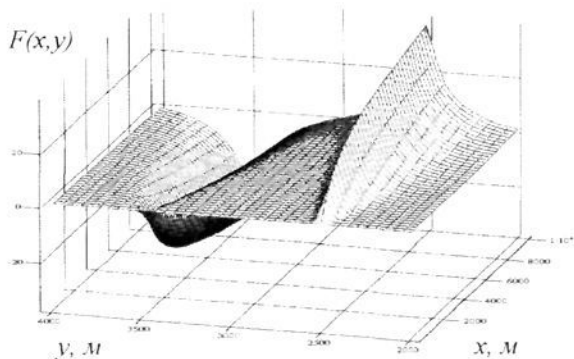


Рисунок 14 -
Зависимость $F(x,y)$ от
горизонтальной - x и
вертикальной - y
координат траектории
ППР при высоте средней
линии слоя засева 3000 м
и кучности боя ППР 1-40.

На траектории полета ППР можно выделить восходящий участок ($\theta > 0$) и нисходящий ($\theta < 0$) участок. На рисунке 15 показано направление сил, действующих на ППР на каждом из этих участков. На рисунке использованы обозначения сил: X_a - сила аэродинамического сопротивления; P - сила тяги двигателя ракеты; mg - сила тяжести. В свою очередь, по отношению к слою засева, траектория полета делится на участки, расположенные ниже и выше средней линии слоя засева. На рисунке 15 показаны четыре участка траектории.

I - восходящая ветвь траектории расположена ниже средней линии слоя засева. Как следует из рисунка 14 и согласно формуле (15), значение выражения $n \cdot \sin \theta - 1$ изменяется от 0 в сторону увеличения и принимает максимальное значение в точке пересечения траектории ППР нижней границы слоя засева, а затем снова убывает до нуля в точке пересечения со средней линией слоя засева. Из условий $\theta = 0$ и $n \cdot \sin \theta = 1$ следует, что $n = 1 / \sin \theta$, откуда с учетом того, что $0^\circ < \theta < 90^\circ$ и с учетом выражения (12) можно сделать вывод, что сила тяги ракетного двигателя на данном участке траектории отлична от нуля и по модулю превосходит силу аэродинамического сопротивления. Как следует из рисунка 15, вертикальная составляющая от действия всех сил при этом направлена вверх - в направлении перемещения ППР к средней линии слоя засева (оптимальному положению). При этом единственной силой, способной обеспечить это смещение является сила тяги ракетного двигателя.

II - восходящая ветвь траектории расположена выше средней линии слоя засева. Как следует из рисунка 14 и согласно (15), значение выражения $n \cdot \sin \theta - 1$ отрицательно и изменяется от 0 (в точке пересечения траектории средней линии слоя засева) до минимального значения в точке пересечения траектории ППР верхней границы слоя засева. Из условия $\theta = 0$ следует, что $n \cdot \sin \theta < 1$ - вертикальная составляющая перегрузки меньше единицы. Откуда следует, что вертикальная составляющая от действия всех сил при этом направлена вниз - в направлении возврата ППР к средней линии слоя засева

(оптимальному положению) При этом силами, обеспечивающими смещение ПГР к оптимальному положению являются силы тяжести и аэродинамического сопротивления (рисунок 15)

III – нисходящая ветвь траектории расположена выше средней линии слоя засева. Значение выражения $n \sin\theta - 1$ на этом участке траектории отрицательно и обращается в 0 при пересечении траектории ПГР и средней линии слоя засева. Из условия $\theta < 0$ (нисходящий участок траектории) следует, что $n \sin\theta < 1$ - вертикальная составляющая перегрузки меньше единицы. Откуда следует, что вертикальная составляющая от действия всех сил при этом направлена вниз в направлении возврата ПГР к средней линии слоя засева. При этом силами, обеспечивающими смещение ПГР к оптимальному положению являются силы тяжести и тяги ракетного двигателя (рисунок 15)

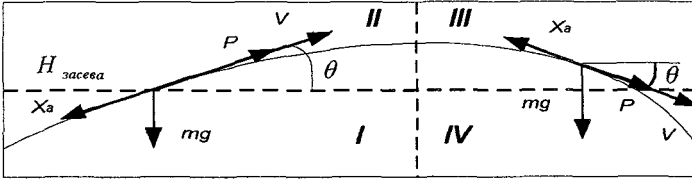


Рисунок 15 - Расположение участков траектории ПГР относительно средней линии слоя засева и направление сил, действующих на ПГР

IV – нисходящая ветвь траектории расположена ниже средней линии слоя засева. Как следует из рисунка 14 и согласно формуле (18), значение выражения $n \sin\theta - 1$ возрастает от 0 до максимального значения в точке пересечения траектории ПГР нижней границы слоя засева а затем снова убывает до нуля. Из условий $\theta < 0$ и $n \sin\theta > 1$ следует, что значение перегрузки n отрицательно откуда с учетом выражения (12) можно сделать вывод что сила тяги ракетного двигателя по модулю меньше силы аэродинамического сопротивления (либо равна нулю). Как следует из рисунка 15 вертикальная составляющая от действия всех сил при этом должна быть направлена вверх – в направлении возврата ПГР к средней линии слоя засева. При этом единственной силой, способной обеспечить смещение ПГР к оптимальному положению является сила аэродинамического сопротивления.

На рисунке 16 показан обобщенный график диапазона значений перегрузки, действующей на ПГР на участках I-IV траектории полета при условии обеспечения оптимального прохождения ракеты в слое засева.

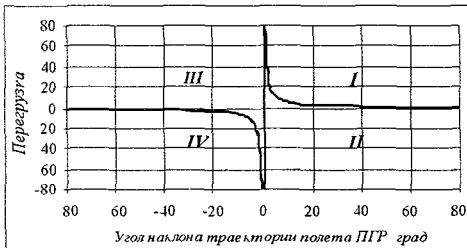


Рисунок 16 - Диапазоны значения перегрузки, действующей на ПГР на I-IV участках траектории полета при оптимальном прохождении слоя засева

Из всех типов ПГР только в изделии «Алан» реализовано формирование пологой траектории полета посредством изменения модуля вектора тяги двигателя. Для остальных типов ракет подобный подход не реализуется так как работа их двигателей заканчивается в начале участка формирования оптимальной траектории полета.

В заключении представлены основные выводы по результатам полученным в диссертации

В приложениях в виде графиков и таблиц представлен основной объем иллюстративного материала и результатов расчетов

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В рамках выполнения диссертационной работы по анализу эффективности средств активных воздействий на градовые процессы получены следующие основные результаты

1 Предложен принципиально новый подход к оценке эффективности противорадовых комплексов, основанный на учете вероятностного характера прохождения противорадового изделия как носителя реагента в слое засева Выработаны критерии оценки эффективности ПГИ учитывающие тактико-технические характеристики изделий, условия их применения и реализуемый способ внесения реагента

2 Используя выработанные критерии, проведены расчеты эффективности различных противорадовых изделий По результатам расчетов установлено

– Существенное влияние на эффективность ППР оказывает форма траектории полета ракеты на участке внесения реагента и ее положение относительно слоя засева

– В классе ППР с линейным способом внесения реагента максимальную эффективность имеют изделия с более пологой траекторией полета («Алан» и «Алазань-5») Изделие «Кристалл-2», с плоскостным способом внесения реагента по эффективности не уступает изделиям «Алазань-5» и «Алан» а при низких уровнях нулевой изотермы более эффективно При этом эффективность изделия растет с увеличением протяженности вертикальной трассы полета отстреливаемых модулей за счет устранения влияния крутизны траектории полета ППР

– В отличие от ППР вероятность доставки реагента в слой засева артиллерийским снарядом равна единице Таким образом данный носитель реагента можно рассматривать в качестве идеального, хотя по протяженности трассы внесения реагента артиллерийский снаряд, использующий точечный способ внесения реагента значительно уступает всем типам ППР

– Существующие характеристики кучности боя ППР (1/40-1/50) являются вполне приемлемыми и прирост эффективности ППР за счет их дальнейшего улучшения незначителен

– Дискретность наведения пусковых установок в 5 градусов (по углу возвышения) не позволяет реализовать оптимальные траектории полета ППР для всего диапазона высот слоя засева Следствием этого является существенное снижение эффективности ППР при определенных условиях применения При дискретности наведения пусковой установки в 1 градус снижение эффективности ППР незначительно и сопоставимо с влиянием на эффективность рассеивания изделия относительно номинальной траектории полета (показателем кучности боя ППР)

3 Предложен новый подход к определению норм расхода ПГИ позволяющий рассчитывать реальный расход изделий на проведение засева с учетом категории ОВ, площади зоны засева, тактико-технических характеристик изделий и условий их применения При этом норма расхода изделий рассматривалась в качестве основного показателя эффективности ПГИ позволяющего судить об экономической целесообразности использования того или иного изделия в системе противорадовой защиты По результатам расчетов норм расхода ПГИ установлено

– Существующие нормы расхода современных ППР для засева объектов воздействия 1-ой и 2-ой категорий удовлетворяют требованиям технологии воздействия. В случае объектов воздействия 3-й (при больших площадях зоны засева) и в особенности 4-ой категорий (суперячейковые процессы) требования технологии не выполняются. В этом случае из соображений повышения эффективности активных воздействий на ОВ высокой категории необходимо увеличить расход ракет на разовый засев в среднем в 2 раза.

– Расход ППР на проведение засева зависит от степени совершенства изделий и от условий их применения. Неоптимальное положение траектории полета ППР по отношению к слою засева, приводит к существенному увеличению расхода изделий.

– Наиболее эффективные ППР («Кристалл-2» и «Алан») характеризуются меньшими нормами расхода на проведение засевов. Однако преимущество данных изделий проявляется только в случае высокой категории ОВ. Если принять во внимание, что более эффективные ППР имеют более высокую стоимость, то из соображений экономической целесообразности можно рекомендовать использование в системе противорадовой защиты нескольких типов ППИ. При воздействии на объекты низкой категории можно ограничиваться применением недорогих изделий, обладающих более низким показателем эффективности. В случае ОВ высокой категории целесообразно использование более дорогих ППИ, которые в этих условиях имеют более высокие показатели эффективности.

4 Анализ результатов воздействия на мощные градовые процессы с учетом эффективности средств засева показал:

– Перекрытие площадки засева трассами ракет (согласно действующим нормам расхода изделий) не является гарантией проведения успешного воздействия, так как при этом не учитывается вероятностный характер внесения реагента в слой засева.

– Введенный критерий – вероятность успешного засева адекватно определяет успех воздействия, что подтверждается временным ходом параметров конвективных ячеек.

5 Рассмотрена задача оптимизации баллистических параметров ППР, использующих линейный способ внесения реагента. Получены аналитические зависимости, определяющие режим работы двигателя ракеты из условия формирования оптимальной траектории полета (пологой траектории на участке внесения реагента). Анализ результатов показал, что формированию оптимальной траектории полета ППР путем изменения модуля вектора тяги требует довольно сложного закона изменения тяги двигателя ракеты. Следствием этого является необходимость применения топливных зарядов сложной геометрии, что может вызвать определенные трудности как с точки зрения технической реализации, так и в экономическом плане – привести к увеличению себестоимости производства ППР.

Таким образом изложенный в работе подход к оценке эффективности средств активных воздействий позволяет учитывать фактор технического совершенства изделий как основного инструмента воздействия при реализации физических гипотез модификации градовых процессов с целью их дальнейшего совершенствования и строгого научного обоснования.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах

- 1 Абшаев М Т , Болгов Ю В К вопросу оценки эффективности технических средств воздействия на градовые процессы //Тр ВГИ –2002 Вып 92 – С 172-179
- 2 А с 1793785 СССР, Головная часть противорадовой ракеты / Х -М Х Байсиев. Ю В Болгов (СССР) - Заявл 25 10 90
- 3 Березинский Н А Болгов Ю В , Пашкевич М Ю , Шаповалов А В , Инюхин В С , Солодовников С В , Аксенов С А , Пашкевич А М Оценка эффекта АВ на облака и облачные системы на основе прямых измерений и численного моделирования // Тезисы Всероссийской конференции по ФО и АВ на гидромет процессы –Нальчик – 2005 –С 109-110
- 4 Березинский Н А , Пашкевич М Ю , Солодовников С В , Шаповалов А В , Инюхин В С Аксенов С А , Пашкевич А М , Болгов Ю В Тапасханов А В Методика анализа состояния атмосферы с использованием самолетных данных при АВ с целью перераспределения осадков // Тезисы Всероссийской конференции по ФО и АВ на гидромет процессы –Нальчик –2005 –С 39-40
- 5 Болгов Ю В Расчет норм расхода противорадовых ракет для проведения успешного засева объектов воздействия // Тезисы Всероссийской конференции по ФО и АВ на гидромет процессы –Нальчик –2005 –С 34-35
- 6 Болгов Ю В Эффективность противорадовых ракет реализующих плоскостной способ внесения реагента в слой засева // Тезисы Всероссийской конференции по ФО и АВ на гидромет процессы –Нальчик – 2005 –С 45-46
- 7 Болгов Ю В , Инюхин В С . Калов Х М Оценка эффективности засева градовых облаков // Известия Вузов Северо-Кавказский регион Спец выпуск Науки о Земле – 2007 – С 62-66
- 8 Болгов Ю В , Инюхин В С , Калов Х М Эффективность засева градовых облаков // Материалы второй международной конференции по моделированию устойчивого регионального развития Нальчик –2007 Т 3 – С 26-31
- 9 Болгов Ю В Инюхин В С . Лиев К Б Миссиров Ю Я Малкарова А М Некоторые результаты исследований градовой активности на территории КБР в 2003 –2004 годах // Тезисы Всероссийской конференции по ФО и АВ на гидромет процессы – Нальчик – 2005 –С 123
- 10 Болгов Ю В Инюхин В С . Хучунаев Б М Радиолокационные и наземные измерения параметров града // Тр ВГИ –2005 Вып 94 – С 98-112
- 11 Инюхин В С Болгов Ю В , Березинский Н А Пашкевич М Ю Динамические характеристики облаков и стратегия метеозащиты // Тезисы Всероссийской конференции по ФО и АВ на гидромет процессы – Нальчик – 2005 –С 54-55
- 12 Пат 1809960 СССР. Устройство для распыления жидкости в полете / Х -М Х Байсиев. Я А Эмба, Г Г Шукин. М Д Атабиев. Ю В Болгов (СССР) - Заявл 26 09 90
- 13 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-бортовой авиационный автоматизированный комплекс для воздействия на гидрометеорологические процессы // Тезисы Всероссийской конференции по ФО и АВ на гидромет процессы –Нальчик – 2005 –С 30-32

Сдано в набор 24 09 07 Подписано в печать 25 09 07
Гарнитура Гаймс Печать графаретная Формат 60x84 1/16
Бумага писчая Усл п л 1 Тираж 100 Заказ № 827