

С.Н. ТЕЛЮКОВ, О.Л. СМИРНОВ, канд. техн. наук, *Г.Н. ЗУБРИЦКИЙ*,
канд. техн. наук, *Г.В. АКУЛИНИН*, канд. техн. наук

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ИЗМЕРЯЕМОЙ ГАЗОВОЙ КОМПОНЕНТЫ СПУТНОГО СЛЕДА АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ЦЕЛИ В ПРЕДЕЛАХ ПОЛЯ ЗРЕНИЯ ЛИДАРНОЙ ГОЛОВКИ САМОНАВЕДЕНИЯ ЗЕНИТНОЙ УПРАВЛЯЕМОЙ РАКЕТЫ

Розроблена математична модель розподілу концентрації вимірюваної газової компоненти супутнього сліду аеродинамічної цілі в межах поля зору лідарної головки самонаведення зенітної керованої ракети, за допомогою якої може бути проведено дослідження можливості вимірювання куткових координат аеродинамічної цілі по її супутньому сліду.

Постановка задачи. На современном этапе развития военной техники необходимо исследование возможности использования лидарных измерений характеристик спутного следа аэродинамической цели (АДЦ) для создания перспективных и усовершенствования существующих средств ПВО. В работе [1] была дана оценка эффективности функционирования системы наведения зенитной управляемой ракеты (ЗУР) с использованием лидарной головки самонаведения (ГСН) в условиях применения ложных тепловых целей (ЛТЦ). Показаны преимущества при использовании лидарной ГСН по сравнению с обычной оптоэлектронной ГСН в вышеуказанных условиях, что обуславливает необходимость проведения дальнейших исследований по определению целесообразности использования лидарных измерений концентрации выхлопных газов спутного следа АДЦ в ГСН ЗУР.

В существующих работах по данной тематике [2 – 6] был проведен анализ различных методов лазерного дистанционного зондирования для получения информации о характеристиках спутного следа АДЦ. Однако не рассматривалась практически важная задача по принятию решения о достаточности технических характеристик лидарных средств как устройств поиска, обнаружения и измерения координат АДЦ. В статье [7] был разработан показатель и критерий для оценки и принятия такого решения. Однако не было рассмотрено влияние распределения концентрации измеряемой газовой компоненты спутного следа АДЦ в пределах поля зрения лидарной ГСН ЗУР на возможность по измерению угловых координат данной АДЦ. В настоящее время нет способов и методик решения задачи моделирования распределения концентрации анализируемой газовой компоненты в спутном следе АДЦ и процесса сканирования лучом лидарной ГСН для поиска максимума концентрации данной компоненты.

Анализ литературы. В [8,9] показаны зависимости распределение концентрации анализируемой газовой компоненты в продольном и поперечном сечении спутного следа АДЦ. На основе метода статистических испытаний [10] и при заданных характеристиках спутного следа АДЦ и сопла двигательной установки (ДУ), а также технических характеристик лидарной ГСН ЗУР как устройства поиска, обнаружения и измерения угловых координат, возможно разработать модель распределения концентрации измеряемой газовой компоненты спутного следа АДЦ в пределах поля зрения лидарной ГСН ЗУР.

Цель стат.м. Разработка математической модели распределения концентрации измеряемой газовой компоненты спутного следа АДЦ в пределах поля зрения лидарной ГСН ЗУР.

Основная часть. Рассматриваемая математическая модель распределения концентрации измеряемой газовой компоненты спутного следа АДЦ в пределах поля зрения лидарной ГСН ЗУР с учетом процесса сближения ракеты с целью представляет новый математический аппарат (совокупность взаимосвязанных математических выражений), который заменяет реальный физический процесс. Она должна учитывать параметры законов распределения измеряемой газовой компоненты в спутном следе АДЦ, характеристики лидарной ГСН, а также процесс сближения ракеты с целью.

Максимальное значение концентрации анализируемой газовой компоненты спутного следа находится непосредственно возле источника – выхлопного сопла ДУ АДЦ. Изменение концентрации анализируемой газовой в продольном направлении спутного следа АДЦ описывается экспоненциальным распределением, в поперечном сечении – распределением Гаусса [8,9].

Спутный след АДЦ может быть аппроксимирован усеченным конусом. Кроме того, для расчетов используем следующие величины:

- радиус выхлопного сопла ДУ АДЦ – l_0 ;
- угол расходимости спутного следа АДЦ – α ;
- максимальное значение концентрации выхлопного газа в спутном следе АДЦ – $N_{\text{АДЦ}_{\text{max}}}$;
- значение концентрации того же газа в окружающем пространстве – $N_{\text{фона}}$.

На основе экспоненциального закона, выражение для распределения концентрации выхлопного газа в продольном направлении спутного следа АДЦ, можно записать в виде:

концентрации. Количество разбиений на поперечные сечения распределения концентрации выхлопного газа спутного следа АДЦ определяется как:

$$N_{x(z)} = \frac{N_{\text{АДЦ}_{\text{max}}} - N_{\text{фона}}}{\Delta N} \quad (2)$$

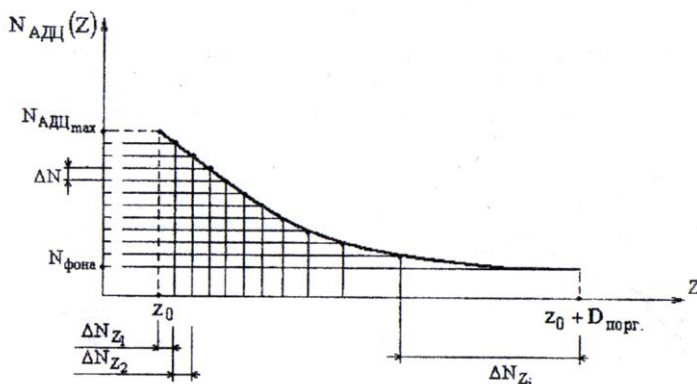


Рис. 2. Продольное распределение концентрации выхлопного газа спутного следа АДЦ, описываемое экспоненциальным законом распределением

Из анализа соотношения (2) следует, что количество разбиений на поперечные сечения распределения концентрации выхлопного газа спутного следа АДЦ $N_{x(z)}$ не зависит от закона распределения этой концентрации в продольном сечении. Его значение определяет лишь количество разбиений по продольной оси (оси Z). Шаг разбиения в продольном сечении следа ΔN_{z_i} (ось Z) зависит как раз закона распределения в данном сечении ($\Delta N_{z_1} < \Delta N_{z_2} < \dots < \Delta N_{z_i}$, $i = [1, N_{x(z)}]$), как показано на рис. 2.

Распределение концентрации выхлопного газа спутного следа АДЦ в его продольном сечении с учетом выражения (1) записывается в следующем виде:

$$z_i = D_{\text{порог}} \cdot \frac{\ln \left(\frac{N_{\text{АДЦ}_{\text{max}}}}{n_{zz_i}} \right)}{\ln \left(\frac{N_{\text{АДЦ}_{\text{max}}}}{N_{\text{фона}}} \right)} + z_0 \quad (3)$$

$$n_{zz_i} = N_{z_i} \cdot \Delta N + N_{\text{фона}} \quad (4)$$

где n_{zz_i} - элемент вектора значений концентрации измеряемого газа, полученный в результате разбиения с шагом ΔN интервала между

максимальным и фоновым значениями его концентрации ($N_{\text{АДЦ}_{\text{max}}}$ и $N_{\text{фона}}$ соответственно), N_{z_i} – элемент вектора значений номеров уровня концентрации измеряемого газа спутного следа АДЦ.

На рис. 3. схематично показано распределение концентрации выхлопного газа спутного следа АДЦ в продольном (плоскость ZOX) и поперечном (плоскость XOY) сечениях

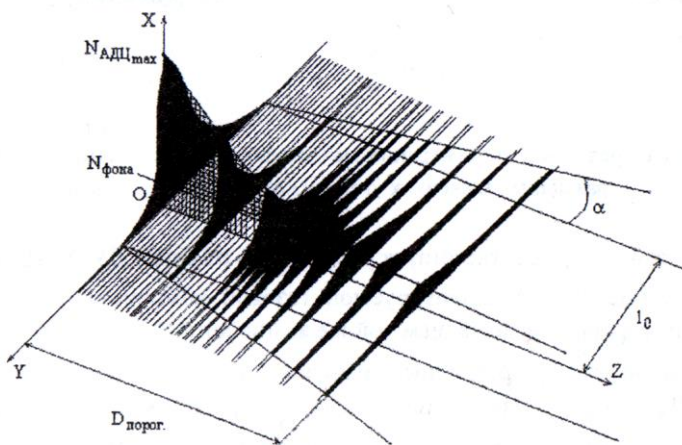


Рис. 3. Схема распределения концентрации выхлопного газа в продольном и поперечном сечениях спутного следа АДЦ

При аппроксимации спутного следа усеченным конусом возможно ориентировочно указать интервал практически всех возможных значений отклонения (среднеквадратическое отклонение) молекулы (частицы) анализируемого выхлопного газа АДЦ от поперечной оси ее следа (в картинной плоскости):

$$\sigma_{XOY}^{N_{\text{АДЦ}}} = \frac{[(Z - z_0) \cdot \text{tg}(\alpha)] + l_0}{3}. \quad (5)$$

Из анализа выражения (5) следует, что $\sigma_{XOY}^{N_{\text{АДЦ}}}$ увеличивается как в зависимости от величины удаления точки наблюдения от сопла ДУ АДЦ по оси OZ , так и при возрастании угла α .

Т.о., соотношения (1) – (5) представляют собой искомую математическую модель распределения концентрации выхлопного газа ДУ в спутном следе АДЦ.

На рис. 4 показаны результаты расчета распределения концентрации выхлопных газов в спутном следе АДЦ, полученные с использованием

разработанной математической модели (1) – (5) при различных значениях угла расходимости спутного следа АДЦ.

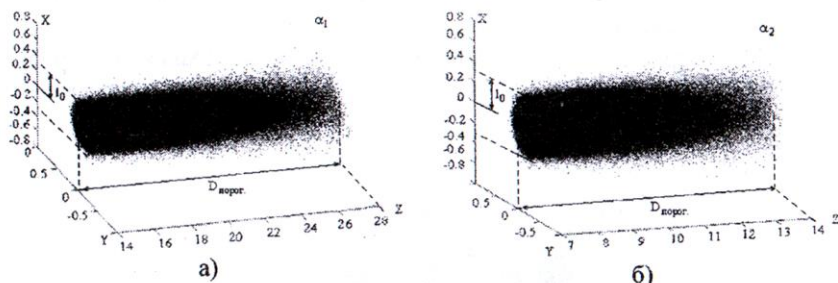


Рис 4. Распределение концентрации выхлопных газов в спутном следе АДЦ при различных значениях угла расходимости α ($\alpha_1 < \alpha_2$)

На рис. 4 $D_{\text{порог}}$ соответствует расстоянию от сопла ДУ АДЦ, на котором уровень концентрации анализируемой газовой компоненты в следе АДЦ, соизмерим с фоновым значением той же компоненты ($N_{\text{АДЦ}} = N_{\text{фон}}$).

Очевидно, что при различных значениях α значение расстояния от сопла ДУ АДЦ $D_{\text{порог}}$ изменяется, поэтому распределение концентрации выхлопных газов в спутном следе АДЦ, полученное при помощи (1) – (5), адекватно отображает реальные физические процессы, описанные в [8,9].

На рис.5 представлены результаты математического моделирования распределения концентрации измеряемой газовой компоненты спутного следа АДЦ в пределах поля зрения лидарной ГСН ($N_{\text{АДЦ}}^{\text{норм}}$ - нормированное значение концентрации по отношению к максимальному ее значению).

Они отражают реальный физический процесс увеличения угловых размеров области распределения концентрации измеряемой газовой компоненты спутного следа АДЦ в пределах поля зрения лидарной ГСН при сближении ракеты с целью и различных значениях угла расходимости спутного следа α .

При помощи данной модели может быть проведено исследование возможности измерения угловых координат АДЦ по ее спутному следу с учетом:

- технических характеристик лидарной ГСН как устройства поиска, обнаружения и измерения угловых координат АДЦ системы наведения ракеты;
- закона распределения концентрации анализируемой газовой компоненты в спутном следе АДЦ;
- процесса сближения ЗУР с АДЦ.

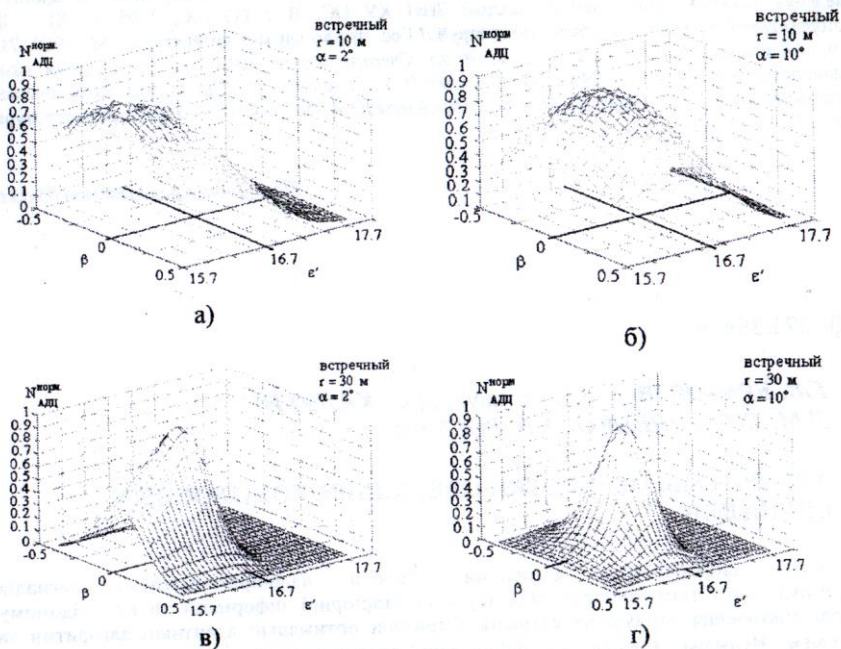


Рис. 5. Результаты математического моделирования распределения концентрации измеряемой газовой компоненты спутного следа АДЦ в пределах поля зрения лидарной ГСН.

Вывод. Получена математическая модель распределения концентрации измеряемой газовой компоненты спутного следа АДЦ в пределах поля зрения лидарной ГСН ЗУР, которая может быть использована для определения целесообразности использования лидарных измерений концентрации выхлопных газов спутного следа АДЦ в ГСН ЗУР.

Список литературы: 1. Телюков С.Н., Смирнов О.Л. и др. Оценка эффективности функционирования системы наведения ЗУР с использованием лидарной ГСН. ЗНП // Системы обработки информации В 11 (39), X: ХВУ, 2004. С. 203 – 208. 2. Дзедзь В.П., Кондрат В.В. и др. Применение методов лазерной доплеровской анемометрии для обнаружения малозаметных АДЦ// Вестник НТУ «ХПИ» Колесные и гусеничные машины специального назначения. № 27. 2003. С. 107 – 111. 3. Доля Г.Н., Пашенко Р.Э. и др. Обнаружение изменения состояния газового потока по оценке фрактальной размерности выходного сигнала лидара// Восточный Европейский журнал передовых технологий. № 4 (10).-X., 2004. С. 128 – 131. 4. Тюрин С.В., Романюк В.А. и др. Оценка дальности обнаружения малозаметных целей лидарными средствами// ЗНП ХВУ. Вып. 1 (39). 2002. С. 108 – 110. 5. Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование. – М., Мир., 1987. 208 с. 6. Козинцев В.И., Орлов В.М., Белов М.Л. Оптико-электронные системы экологического мониторинга природной среды.// Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана/ Под ред. Рождествина В.Н. –М., 2002. 528 с. 7. Телюков С.Н. Техническое обоснование требований к

лидарной ГСН, измеряющей угловые координаты АДЦ по ее спутному следу в процессе наведения зенитной управляемой ракеты// ЗНП ХУ ПС, В 1 (1), -Х.; 2005. С. 81 – 84.

8. *Абрамович Г.Н.* Теория турбулентных струй// Гос. изд-во физмат литературы. -М., 1960. 715 с.

9. *Авдеевский В.С., Ашратов Э.А., и др.* Сверхзвуковые неизобарические струи газа// Машиностроение, -М., 1985. 248 с.

10. *Бусленко Н.П., Голенко Д.И. и др.* Метод статистических испытаний (метод Монте-Карло). *Под ред. Шрейдера Ю.А.* -М., Гос. изд-во физ-мат литературы. 1962. 331 с.

Поступила в редколлегию 05.03.05