

12. Khattri S.K. An effective quadrilateral mesh adaptation / Sanjay Kumar Khattri // Journal of Zhejiang University SCIENCE A. – 2006. – vol. 7, iss. 12. – P. 2018-2021.

13. Khattri S.K. An adaptive quadrilateral mesh in curved domains / Sanjay Kumar Khattri // Serdica Journal of Computing. – 2009. – Volume 3. – P. 248-268.

14. Canann S.A. An Approach to Combined Laplacian and Optimization-Based Smoothing for Triangular, Quadrilateral, and Quad-Dominant Meshes / S.A. Canann, JR. Tristano, ML. Staten // 7<sup>th</sup> International Meshing Roundtable: International Conference, Dearborn, Michigan, U.S.A., October 26-28, 1998 : proceedings. – Sandia: Sandia National Laboratories, 1998. – P. 479-494.

15. Freitag L.A. On Combining Laplacian and Optimization-based Mesh Smoothing Techniques / Lori A. Freitag // AMD Trends in Unstructured Mesh Generation. – 1997. – vol. 220.

– P. 37-43.

16. Chen Z. Combined Laplacian and Optimization-based Smoothing for Quadratic Mixed Surface Meshes // 12<sup>th</sup> International Meshing Roundtable: International Conference, Santa Fe, U.S.A., September 14-17, 2003 : proceedings. – Sandia: Sandia National Laboratories, 2003. – P. 201-213.

17. Рвачев В.Л. Введение в теорию R-функций / В.Л. Рвачев, Т.И. Шейко // Проблемы машиностроения. – 2001. – Т. 4, № 1-2. – С. 46-58.

18. Максименко-Шейко К.В. R-функции и обратная задача аналитической геометрии в трехмерном пространстве / К.В. Максименко-Шейко, А.М. Мацевитый, А.В. Толок, Т.И. Шейко // Информационные технологии. – 2007. – № 10. – С. 23-32.

УДК 623.681.93

## АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМОМ СОПРОВОЖДЕНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ РЛС

К.т.н. О.Л. Смирнов<sup>1</sup>, к.т.н. О.Н. Ставицкий<sup>1</sup>, к.т.н. А.А. Наконечный<sup>2</sup>, С.С. Горельшев<sup>3</sup>

1. Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба

2. Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

3. Московский физико-технический институт, г.Москва, Российская Федерация

Рассмотрен принцип управления режимом сопровождения многофункциональной РЛС (радиолокационной станции), основанный на учёте изменения уровней шумов в канале измерений РЛС и модели динамики сопровождаемой цели, адаптивной к её перемещению в пространстве. Сформулированы особенности практической реализации полученных результатов, представляющих собой новый тип управления режимом сопровождения, в РЛС кругового и секторного обзора.

Розглянуто принцип управління режимом супроводу багатofункціональної РЛС (радіолокаційної станції), заснований на обліку зміни рівнів шумів в каналі вимірювань РЛС і моделі динаміки супроводжуваної цілі, адаптивної до її переміщення в просторі. Сформульовано особливості практичної реалізації отриманих результатів, що представляють собою новий тип управління режимом супроводу, в РЛС кругового і секторного огляду.

The article presents developed principles for determining of optimal values of the cycle time measurement tracking coordinates of target and data refresh rate, which changing adaptively to the noise level in channel measurement by radar and dynamic characteristics of the maintaining target. The features of the practical implementation of the results, which are a new type of mode control tracking in radar circular and sector review.

**Ключевые слова:** многофункциональная РЛС, режим сопровождения, адаптивное управление.

### Постановка проблемы

Многофункциональная радиолокационная станция (МФ РЛС) в режиме сопровождения должна обеспечить точное определение координат и параметров движения целей, находящихся в зоне обзора. Процесс обслуживания каждой сопровождаемой цели состоит из тактов измерения её координат длительностью  $\tau$ , которые повторяются с периодом  $T$  [2]:

$$E = \tau/T, \quad (1)$$

где  $E$  - относительный ресурс времени, выделяемый на обслуживание конкретной цели в течение анализируемого временного интервала.

Критерием качества управления рассматриваемым режимом является точность сопровождения цели, количественно выражаемая величиной ошибки оценки соответствующих координат (ошибки сопровождения), которая в общем случае представляет собой сумму флуктуационной (обусловленной наличием шумов в канале измерений РЛС) и динамической (вызываемой шумами в модели динамики цели) ошибок сопровождения [1-4].

Дисперсия флуктуационной ошибки сопровождения цели  $\sigma_{\phi}^2$ , например, по угловым координатам, равна [1]:

$$\sigma_{\phi}^2 = \frac{\theta_l^2}{(E_c/H)} \cdot \frac{T_{изм}}{\tau}, \quad (2)$$

где  $\theta_l$  - ширина главного лепестка диаграммы направленности антенны РЛС, град;

$E_c$  - энергия принятого сигнала, Дж;

$H$  - спектральная плотность шума измерений, Вт/Гц;

$T_{изм}$  - период проведения единичных измерений координат цели, с.

В соответствие с основным уравнением радиолокации величина  $H$ , т.е. уровень шума в канале измерений РЛС, изменяется по мере движения цели в зоне обзора [4, 5]:

$$H = H_0 \cdot \left( \frac{R}{R_0} \right)^4, \quad (3)$$

где  $H_0$  - уровень шума на стандартной дальности  $R_0$ , при котором отношение сигнал/шум  $E_c/H$  равно единице;

$R$  - дальность до сопровождаемой цели, м.

Очевидно, что при больших шумах в канале измерений РЛС флуктуационную составляющую ошибки сопровождения можно уменьшить, увеличивая длительность такта измерений  $\tau$ .

Дисперсия динамической ошибки сопровождения  $\sigma_o^2$  выражается следующим соотношением [1]:

$$\sigma_o^2 \approx \frac{\sigma_w^2}{(4\pi R)^2} \cdot (\tau \cdot \tau_w + \tau^2)^2, \quad (4)$$

где  $\sigma_w^2$  - дисперсия величины линейного ускорения маневрирующей цели,  $\text{м}^2/\text{с}^4$ ;

$R$  - дальность до сопровождаемой цели, м;

$\tau_w$  - длительность манёвра цели, с.

Анализ выражения (4) показывает, что при значительной неопределённости в динамике цели минимизация динамической составляющей ошибки сопровождения возможна за счёт снижения длительности тактов проводимых измерений.

Следует отметить, что изменение параметра  $\tau$  приводит, согласно выражению (1), к корректировке темпа обновления данных  $T$ , которая осуществляется в соответствии с наличием выделенного на реализацию режима сопровождения временного ресурса  $E$ .

Традиционные способы управления режимом сопровождения основаны на априорном расчёте значений  $\sigma_\phi^2$  и  $\sigma_o^2$ , удовлетворяющих принятым ограничениям соответственно на величину отношения сигнал/шум  $E_c/H$  как основной характеристики РЛС, влияющей на точность выдаваемой информации и манёвренные возможности обслуживаемой цели. При этом обычно используются два основных предположения: во-первых, отношение сигнал/шум сохраняется относительно постоянным в течение некоторого временного интервала для обеспечения равнозначности проводимых измерений, во-вторых, траектория сопровождаемой цели является детерминированной. В результате работа МФ РЛС в рассматриваемом режиме, осуществляемая с выбранными фиксированными значениями параметров  $\tau$  и  $T$ , является неэффективной [1-4, 6, 7].

Таким образом, возникает противоречие между теоретической необходимостью использования переменных значений длительности такта измерения координат сопровождаемой цели и темпа обновления данных - с одной стороны, и существующей практикой применения фиксированных значений указанных параметров режима сопровождения РЛС - с другой. Исследование одного из способов разрешения этого противоречия и составляет основное содержание рассматриваемой в настоящей работе проблемы.

#### Анализ последних исследований и публикаций

В общем виде закон управления режимом сопровождения, адаптивный к изменению уровней шумов в канале измерений РЛС и модели динамики обслуживаемой цели, был получен в статье [4]. Приведённые в ней соотношения позволяют рассчитать длительность и периодичность тактов измерений координат каждой цели, перемещающейся по зоне обзора РЛС, т.е. реализовать так называемое "активное сопровождение", заключающееся в применении переменных значений темпа обновления данных по сопровождаемой цели и времени её облучения [6, 7].

Вместе с тем анализ аналогичной по тематике и полученным результатам статьи [8] свидетельствует о том, что используемый в [4] показатель качества управления режимом сопровождения является выпуклой функцией длительности такта измерений. Тогда искомое значение параметра  $\tau$ , найденное в анализируемой работе путём минимизации данного показателя, соответствует случаю сопровождения цели с максимально возможной точностью. Однако на практике РЛС должна выдавать траекторную информацию не с максимальной, а с требуемой точностью. При этом очевидно, что дополнительное снижение величины ошибки оценки координат цели приводит к увеличению длительности такта измерений и, в конечном счёте, уменьшению количества одновременно сопровождаемых РЛС целей.

Кроме того, полученные в [4] результаты применимы только для специализированных РЛС секторного обзора, в которых темп обновления данных может изменяться в зависимости от размера сектора обзора пространства и помеховой обстановки [9, 10]. Данное обстоятельство обусловлено тем, что для совмещения основных режимов работы рассматриваемой МФ РЛС (обнаружения появляющихся с любых направлений и сопровождения ранее обнаруженных воздушных целей) необходим круговой обзор по азимуту, осуществляемый путём непрерывного механического вращения её фазированной антенной решётки (ФАР) в соответствующей плоскости. В этом случае период обновления данных по сопровождаемой цели зависит от скорости вращения сектора электронного сканирования ФАР и равен соответствующему этой скорости периоду обзора пространства [11-13]. Поэтому результаты, приведённые в [4], нуждаются в значительной корректировке.

В работе [1] выполнен синтез параметров МФ РЛС, обеспечивающих заданные точность и темп обновления информации по обслуживаемой в рассматриваемом режиме цели с учётом флуктуационной (определяемой уровнем шума измерений) и динамической (зависящей от манёвренных возможностей цели) ошибок сопровождения. При этом обязательными условиями реализуемости полученных решений являются, во-первых, численное равенство друг другу указанных ошибок, во-вторых, проведение 5-ти последовательных измерений координат цели для получения требуемой точности её сопровождения.

Очевидно, что соблюдение первого условия во всём возможном диапазоне изменения дальности до цели невозможно, а второе условие предопределяет существенное увеличение времени сопровождения цели

по сравнению со способами, обеспечивающими достижение заданной точности за однократное обращение к ней.

Таким образом, рассматриваемая проблема в настоящее время далека от разрешения, что и обуславливает необходимость проведения дальнейших исследований.

**Целью статьи** является разработка принципов определения оптимальных значений длительности такта измерения координат сопровождаемой цели и темпа обновления данных, которые изменяются адаптивно к уровню шумов в канале измерений РЛС и динамическим характеристикам обслуживаемой цели.

**Изложение основного материала исследования**

Рассмотрим вначале МФ РЛС с вращающимся сектором электронного сканирования [13], т.е. РЛС кругового обзора, у которой темп обновления данных по сопровождаемой цели  $T$  равен периоду обзора пространства  $T_{обз}$ .

Временная диаграмма работы МФ РЛС кругового обзора при совмещении режимов обнаружения и сопровождения [2, 11] может быть представлена следующим образом (рис.1):

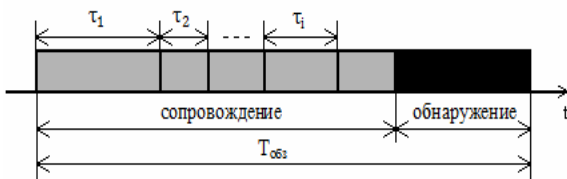


Рис.1. Временная диаграмма работы МФ РЛС при круговом обзоре пространства

В течение периода обзора  $T_{обз}$  происходит обслуживание заданного количества сопровождаемых целей; оставшееся время (при его наличии) расходуется на реализацию режима обнаружения.

Временные затраты на обслуживание  $i$ -той сопровождаемой цели характеризуются длительностью такта измерений  $\tau_i$ , включающего в себя все элементарные операции, необходимые для формирования оценки текущего положения цели в пространстве [2].

Пусть при обработке радиолокационной информации по сопровождаемой цели применяется прямоугольная система координат. Тогда эволюция любой из этих координат во времени может быть описана следующим линейным стохастическим стационарным дифференциальным уравнением первого порядка [3, 4]:

$$x'(t) = a \cdot x(t) + \eta(t), \tag{5}$$

где  $x(t)$  - оцениваемая координата, м;  $a$  - величина, обратная постоянной времени исследуемого процесса, Гц;  $\eta(t)$  - белый центрированный гауссовский шум с дисперсией  $\sigma_\eta^2 = const > 0, м^2/с^2$ .

Второе слагаемое в выражении (5) является так

называемым шумом маневрирования, учитывающим изменения параметров траектории цели, обусловленные её маневром [3]. Для дальнейшего анализа влияния этого шума на точность сопровождения цели используем следующее отношение [14]:

$$G = \sigma_\eta^2 / \Delta f, \tag{6}$$

где  $G$  - интенсивность шума модели динамики цели,  $м^2/с$ ;  $\Delta f$  - ширина полосы пропускания канала измерений РЛС, Гц.

Измерения координаты  $x$  представляют собой процесс усреднения непрерывного сигнала  $y(t)$  [4]:

$$y(t) = x(t) + \omega(t), \tag{7}$$

где  $\omega(t)$  - белый центрированный гауссовский шум с дисперсией  $\sigma_\omega^2 = const > 0, м^2$ .

Количественно уровень шума в канале измерений РЛС, характеризующий величину ошибок этих измерений, может быть оценён по аналогии с выражением (6):

$$H = \sigma_\omega^2 / \Delta f, \tag{8}$$

где  $H$  - интенсивность шума измерений,  $м^2с$ .

Следует отметить эквивалентность выражений для расчёта величины  $H$  вида (3) и (8), что обусловлено взаимной зависимостью между законом изменения рассматриваемой ошибки во времени и её частотным спектром [14].

При этом длительность интервала усреднения  $\Delta\tau$  должна определяться с учётом величины так называемых непроизводительных потерь времени в такте измерения  $\tau_0$  [4]:

$$\Delta\tau = \tau - \tau_0, \tag{9},$$

наличие которых обусловлено необходимостью выполнения ряда обязательных операций, предшествующих собственно процессу обслуживанию цели в режиме сопровождения [15, 16] (рис. 2):

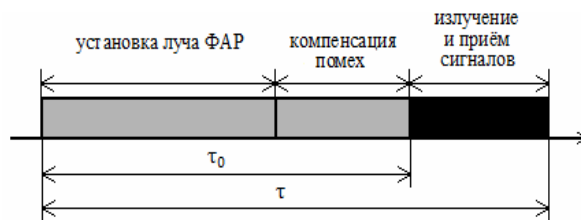


Рис.2. Непроизводительные потери времени в такте измерения

Результатом усреднения сигнала (7) является дискретное измерение оцениваемой координаты следующего вида [4]:

$$z(t_n) = x(t_n) + s(t_n), \tag{10}$$

где  $n$  – номер такта измерений;  $s(t_n)$  – последовательность независимых центрированных гауссовских случайных величин (шум дискретных измерений).

Основной характеристикой такой последовательности, определяющей точность проводимых измерений, служит отношение [17]:

$$s(t_n), \quad (11)$$

где  $S$  – дисперсия шума дискретных измерений,  $m^2$ .

Требуемая точность оценки координат сопровождаемой цели  $\Sigma_{тр}$  должна достигаться за один период обзора исследуемой РЛС. Следовательно, критерием оптимальности управления рассматриваемым режимом будет текущая точность сопровождения, выражаемая в равенстве априорных значений ошибок оценок для  $n$ -го и  $(n+1)$ -го тактов измерений (соответственно  $\Sigma_n^-$  и  $\Sigma_{n+1}^-$ ) величине  $\Sigma_{mp}$ :

$$\Sigma_n^- = \Sigma_{n+1}^- = \Sigma_{mp}. \quad (12)$$

Уравнения (5)-(11) соответствуют условиям проведения оптимальной линейной фильтрации случайных процессов [3, 18], что позволяет определить связь между дисперсиями априорной и апостериорной ( $\Sigma_n^+$ ) ошибок оценок рассматриваемой координаты цели для  $n$ -того такта измерений:

$$\Sigma_n^+ = (\Sigma_n^- \cdot S) / (\Sigma_n^- + S) \quad (13)$$

Априорная ошибка оценки перед проведением следующего  $(n+1)$ -го такта измерений  $\Sigma_{n+1}^+$  представляет собой величину  $\Sigma_{n+1}^+$ , экстраполированную на время, равное периоду обзора МФ РЛС (рис. 3):

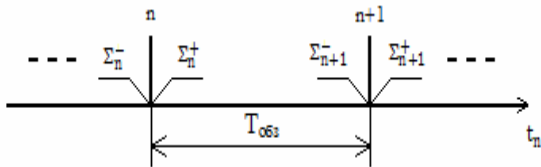


Рис.3. Дискретное представление процесса измерений

Эволюция величины  $\Sigma_{n+1}^-$  для системы, динамика которой соответствует выражению (5), на интервале между измерениями описывается, согласно [17], линейным дифференциальным уравнением

$$\Sigma_{n+1}^- (t) = 2 \cdot a \cdot \Sigma_n^- (t) + G \quad (14)$$

с начальным условием

$$\Sigma_{n+1}^- (0) = \Sigma_n^+ \quad (15)$$

Нетрудно показать, что решение уравнения (14) равно

$$\Sigma_{n+1}^- = c_1 \cdot \exp(2 \cdot a \cdot T_{обз}) - G / (2 \cdot a), \quad (16)$$

где  $c_1$  – постоянная интегрирования, определяемая из условия (15).

Очевидно, что  $c_1 = \Sigma_n^+ + G / (2 \cdot a)$ , поэтому искомая априорная ошибка оценки перед проведением  $(n+1)$ -го такта измерений может быть рассчитана в соответствии со следующим выражением:

$$\Sigma_{n+1}^- = \Sigma_n^+ \cdot \exp(2 \cdot a \cdot T_{обз}) + (G / (2 \cdot a)) \times (\exp(2 \cdot a \cdot T_{обз}) - 1) \quad (17)$$

Предположим [4], что промежуток между измерениями много меньше постоянной времени системы (5). Тогда выражение (17) после некоторых преобразований с использованием формул (12) и (13), а также последующей линеаризации [19] запишется как:

$$\Sigma_{mp} = (T_{обз} / 2) \cdot (2 \cdot S \cdot a + G) + \left[ (T_{обз}^2 / 4) \cdot (2 \cdot S \cdot a + G)^2 + T_{обз} \cdot S \cdot G \right]^{1/2}. \quad (18)$$

Учитывая соотношения (9), (11) и (13), получим окончательный вид принятого критерия оптимальности управления рассматриваемым режимом МФ РЛС:

$$\Sigma_{mp} = (T_{обз} / 2) \cdot ((2 \cdot a \cdot H) / (\tau - \tau_0) + G) + \left[ (T_{обз}^2 / 4) \cdot ((2 \cdot a \cdot H) / (\tau - \tau_0) + G)^2 + (T_{обз} \cdot G \cdot H) / (\tau - \tau_0) \right]^{1/2}. \quad (19)$$

Решая уравнение (19) относительно  $\tau$  при конкретных значениях уровней шумов в канале измерений РЛС и модели динамики сопровождаемой цели, можно определить численное значение искомой длительности такта измерений координат сопровождаемой цели для РЛС кругового обзора  $\tau_{ко}$ .

В частном случае при  $a = 0$  [4] данное решение существенно упрощается:

$$\tau_{ко} = \tau_0 + T_{обз} \cdot G \cdot H \times \left( \Sigma_{mp}^2 - \Sigma_{mp} \cdot T_{обз} \cdot G \right)^{-1}. \quad (20)$$

Очевидно, что РЛС секторного обзора можно рассматривать как отдельный случай РЛС кругового обзора. При этом управление режимом сопровождения такой МФ РЛС, рассчитанное для определенных условий целевой и помеховой обстановки в заданном секторе её зоны обзора, является оптимальным в смысле принятого

показателя качества только в течение некоторого временного интервала - цикла управления  $T_{цв}$  [20]. Его длительность должна соответствовать величине периода обзора заданного сектора пространства, которая при наличии высокоскоростных маневрирующих целей обычно составляет единицы секунд [10, 21], поэтому без потери общности в дальнейших расчётах можно принять, что  $T_{цв} = 1$  с [2].

Временная диаграмма работы МФ РЛС секторного обзора при сопровождении нескольких целей с учётом возможности одновременной реализации режима обнаружения [2] показана на рис.4:

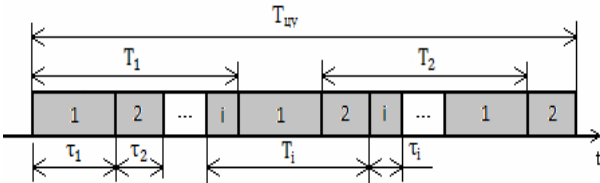


Рис.4. Временная диаграмма работы МФ РЛС при секторном обзоре пространства

Искомую длительность такта измерений координат сопровождаемой цели для РЛС секторного обзора  $\tau_{co}$  получим из выражения (20) с учётом соотношения (1) и приведённых выше предположений:

$$\tau_{co} = \left( \left( \sum_{mp} \cdot E \right) / (2 \cdot G) + \tau_0 / 2 \right) - (2 \cdot G)^{-1} \times \left[ \left( \sum_{mp} \cdot E + G \cdot \tau_0 \right)^2 - 4 \times \left( \sum_{mp} \cdot E \cdot G \cdot \tau_0 + (G \cdot H) / \sum_{mp} \right) \right]^{1/2} \quad (21)$$

При этом соответствующий период повторения тактов измерения будет равен:

$$T = \tau_{co} / E \quad (22)$$

Величина относительного ресурса времени  $E$  в выражениях (21) и (22), расходуемого МФ РЛС на реализацию режима сопровождения конкретной цели, может быть определена из уравнения временного баланса при обслуживании  $N$  целей в обоих одновременно реализуемых режимах обнаружения и сопровождения [2]:

$$\sum_{i=1}^N E_i = 1 \quad (23)$$

Предположим, что распределение указанного ресурса между обслуживаемыми целями будет равномерным. Тогда очевидно, что

$$E = 1/N \quad (24)$$

Данное предположение в условиях рассматриваемой задачи не нарушает принципов “активного сопровождения”, так как, согласно (1),

параметр  $E$  определяет только соотношение между длительностью такта измерения координат сопровождаемой цели и темпом обновления данных, а не их абсолютные значения.

Формулы (20) и (21) выражают зависимость длительности такта измерений  $\tau = \tau(G, H)$  от степени неопределённости в знании динамики цели и уровня шумов этих измерений. В свою очередь, манёвренные возможности цели, а также точность определения её координат также зависят как от характеристик самой цели и собственно РЛС, известных априорно, так и от расположения данной цели в зоне обзора:  $G = G(x)$ ,  $H = H(x)$ . Анализ этих взаимосвязей свидетельствует о квазистационарности процесса сопровождения на интервале между измерениями [4], что позволяет говорить о применимости полученного результата при непостоянных уровнях учитываемых шумов. Таким образом, указанные выражения описывают закон управления режимом сопровождения МФ РЛС, адаптивный к изменению положения цели в пространстве, т.е.  $\tau = \tau(G(x), H(x))$ .

Эффективность полученных результатов может быть подтверждена следующим численным примером. Пусть МФ РЛС обслуживает 10 однотипных целей в заданном секторе пространства; остальные параметры рассматриваемого процесса совпадают с используемыми в работе [8]. В этом случае длительность такта измерения координат сопровождаемой цели, рассчитанная по формуле (21), равна  $\tau_{co} = 0,41 \cdot \tau^*$ , где  $\tau^*$  - аналогичный параметр режима сопровождения, определяемый в соответствии с соотношениями, приводимыми в [4] или [8]. Следовательно, согласно [4], применение закона адаптивного управления рассматриваемым режимом вида (21) позволяет повысить пропускную способность исследуемой МФ РЛС практически на 60%.

### Выводы

Выражения (20)-(22) определяют новый тип управления режимом сопровождения МФ РЛС, позволяющий адаптивно реагировать на изменение уровней шумов в канале измерений РЛС и модели динамики сопровождаемой цели. При этом учёт непроизводительных потерь времени в такте измерений и различных видов обзора пространства делают полученные решения технически обоснованными и реализуемыми.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бабкин Ю.М. Синтез многофункционального радиолокатора/ Ю.М.Бабкин, В.А. Балагуровский– М.: МЭИ, 2006.–108 с.
2. Федосов Е.А. Динамическое проектирование систем управления автоматических маневренных летательных аппаратов / Е. А. Федосов, В. Т. Бобронников, М. Н. Красильщиков, В. И. Кухтенко и др.; Под ред. Е. А. Федосова. — М.: Машиностроение, 1997. —336 с.
3. Кузьмин С.З. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации/ С.З.Кузьмин– М.: Радио и связь, 1986. – 352 с.
4. Симаранов С.Ю. Адаптивное управление параметрами режима сопровождения в многоканальных



информационных системах / С.Ю. Симаранов // Техническая кибернетика, 1989. - №2. - С.128-131.

5. Современная радиолокация (анализ, расчёт и проектирования систем) Пер. с англ. под ред. Ю.Б. Кобзарева. - М.: Советское радио, 1969. - 644 с.

6. Ильчук А.Р. Алгоритмы автоматического радиолокационного сопровождения целей в режиме обзора/ А.Р. Ильчук, А.И. Канащенков, В.И. Меркулов, О.Ф. Самарин, Г.П. Служкин, А.И. Шуклин // Радиотехника, 1999. - № 11. - С. 3-21.

7. Фарина А. Цифровая обработка радиолокационной информации. Сопровождение целей/ А. Фарина, Ф. Студер - М.: Радио и связь, 1993. - 320 с.

8. Гришин И.Ю. Метод адаптивного управления параметрами режима сопровождения многофункционального радиолокационного комплекса/ И.Ю. Гришин// Искусственный интеллект, 2009. - № 4. - С. 520-524.

9. Проектирование зенитных управляемых ракет: учебник / И.И. Архангельский, П.П. Афанасьев, Е.Г. Боло тов, И.С. Голубев, А.М. Матвеев, В.Я. Мизрохи, В.Н. Новиков, В.Г. Светлов; под ред. И.С. Голубева и В.Г. Светлова. Изд. второе, перераб. и доп. - М: Изд-во МАИ, 2001. - 732 с.

10. Зенитные ракетные комплексы ПВО Сухопутных войск. Часть 1 // Техника и вооружение, 2003. - №6. - С. 29-40.

11. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация/С.З. Кузьмин - Киев: КВЦ, 2000. - 428 с.

12. Гузь В.И. Адаптивное управление распределением энергетического и временного ресурса РЛС с фазированной антенной решеткой/ В.И. Гузь, А.В. Бутырин, В.П. Липатов, Т.В. Барингольц // Радиотехника, 2007. - № 2. - С. 3-14.

13. Этингтон Д.А. Многофункциональные вращающиеся РЛС с электронным сканированием для обзора воздушного пространства / Д. А. Этингтон, П. Дж. Карилас, Дж. Д. Райт // ТИИЭР, 1985. - т. 73, № 2. - С. 199-216.

14. Бартон Д., Варт Г. Справочник по радиолокационным измерениям. Пер. с англ. под ред.М.М. Вейсбейна. - М.: Советское радио, 1976. - 392 с.

15. Бобров Д.Ю., Доброжанский А.П., Зайцев Г.В., Маликов Ю.В., Цыпин И.Б. Цифровая обработка сигналов в многофункциональных РЛС. Часть 1: Принципы разработки. Преобразование сигнала в цифровую форму // Цифровая обработка сигналов, 2001. - №4. - С. 2-11.

16. Бобров Д.Ю., Доброжанский А.П., Зайцев Г.В., Маликов Ю.В., Цыпин И.Б. Цифровая обработка сигналов в многофункциональных РЛС. Часть 2: Алгоритмы обработки радиолокационных сигналов // Цифровая обработка сигналов, 2002. - №1. - С. 28-39.

17. Медич Дж. Статистически оптимальные линейные оценки и управление. Пер. с англ. под ред.А.С. Шаталова/ Дж. Медич - М.: Энергия, 1973. - 440 с.

18. Фильтрация и стохастическое управление в динамических системах. Под ред. Леондеса К.Т. - М.: Мир, 1980. - 388 с.

19. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. - М.: Наука, 1981. - 270 с.

20. Саврасов Ю.С. Алгоритмы и программы в радиолокации/ Ю.С. Саврасов - М.: Радио и связь, 1985. - 216 с.

21. Зенитные ракетные комплексы ПВО Сухопутных войск. Часть 2 // Техника и вооружение, 2003. - №7. - С. 1-20.

УДК 534.864

## МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ПРОСТОРОВОСТІ ПРИМІЩЕННЯ

К.т.н. В.В. Усик, Д.С.Зубченко, Національний технічний університет «ХПІ», м.Харків

Запропонована модель виділення обвідної імпульсного відгуку приміщення засобами MATLAB, проведений порівняльний аналіз кривої з обвідної, що отримана в програмному пакеті EASERA.

Предложена модель выделения огибающей импульсного отклика помещения средствами MATLAB и проведен сравнительный анализ кривой с огибающей, полученной в программном пакете EASERA.

The authors proposed a model of allocation of the envelope of the impulse response means premises MATLAB and a comparative analysis of the envelope curve, resulting in a software package EASERA.

**Ключові слова:** акустика приміщень, імпульсний відгук приміщення.

### Введення

Для дослідження акустики приміщень спеціального призначення недостатньо використання тільки частотної залежності часу реверберації, тому використовуються додаткові критерії, що базуються на імпульсній характеристиці приміщення [1].

В статті наведені етапи розробки моделі виділення обвідної сигналу та система оцінювання проведеного експерименту на базі кореляційного аналізу сигналів.

### Метою роботи є:

1) аналіз математичного апарату, що дозволяє від імпульсного відгуку отримати обвідну щільності спаду звукової енергії в приміщенні протягом усього ревербераційного процесу;

2) аналіз програмного забезпечення, що дозволяє отримати досліджувані характеристики експериментально та промоделювати аналітично (за допомогою математичного моделювання);

3) проведення порівняльної характеристики описаних методів.

### Розробка моделі дослідження

Моделювання виконується за допомогою програмного пакету MATLAB та його системи блочного імітаційного моделювання Simulink [2,3].

На рис.1 наведена структурна схема дослідження, яка складається з таких частин: імпульсного відгуку, енергетично-часової залежності, систем виділення обвідної та порівняння сигналів.



Рис.1. Структурна схема дослідження