УДК 629.75

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И КЛАССИФИКАЦИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ В НЕЙ ДЛЯ ЗАДАЧ МЕЖВИДОВОЙ УНИВЕРСАЛИЗАЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

д.т.н., проф. О.Н. Фоменко, к.т.н. А.А. Журавлев

Рассматриваются задачи межвидовой универсализации летательных аппаратов (ЛА) ракетной техники и многокритериальный игровой метод их решения в условиях повышенной степени неопределенности различной физической природы. Предлагается универсальная математическая модель для описания движения летательных аппаратов различного целевого назначения на начальном этапе проектирования. Проводится естественная классификация неопределенностей в рассматриваемой модели.

Анализ более 50 современных военных конфликтов 1990–2000 годов подтверждает возможность возникновения против Украины внешних угроз. Поэтому главной целью деятельности государства в оборонной сфере является дальнейшее улучшение Вооруженных Сил (ВС) Украины для обеспечения возможности адекватной реакции [1]. Однако, по оценкам специалистов, при оптимистическом сценарии развития, в 2010-2015 гг. Украина может лишиться практически всех видов вооружений вследствие выхода их из эксплуатации при выработке технического ресурса. Возникнет неподъемная проблема тотального перевооружения ВСУ [2]. Особенно бедственное положение с вооружением сложилось в войсках ПВО и ВВС – речь идет о ракетных системах, истребительной авиации, вертолетах, т.е. основных средствах ведения современной вооруженной борьбы.

В настоящее время разработана «Программа развития вооружений и военной техники», в которой планируется усиление военно-технической составляющей ВСУ за счет «глубокой модернизации, унификации и стандартизации» военной техники, находящейся на вооружении. Реализация этой программы требует 9 млрд. грн., т.е. порядка 300 - 500 млн. грн. ежегодно до 2015 г. [1]. Этих средств явно не достаточно для разработки, производства и закупки вооружения. Как заявил Министр Обороны, требуется около 80 млрд. дол. для создания высокоточного оружия в Украине [2]. Практика показывает, что коэффициент использования по назначению специализированных ЛА низок.

В условиях ограниченного финансирования необходима межвидовая универсализация ЛА. Она проводится с целью достижения максимальной экономической эффективности технической системы за счет увеличения объема государственного заказа на универсальную систему в масштабе Вооруженных Сил и тем самым снижения средней стоимости произведенного изделия. Также, следует отметить снижение стоимости разработки и производства за счет концентрации средств головной организации.

В качестве одного из первых примеров проведения в 60-х годах межвидовой универсализации можно привести модернизацию американской ЗУР «Найк-Геркулес» специалистами Южной Кореи для применения в качестве баллистической ракеты [3].

Межвидовая универсализация ЛА должна проводиться по типу старта, по типу обобщенной цели (объект, неподвижный или перемещающийся с различными скоростями на поверхности Земли либо в пространстве), по дальности действия, по типу реализуемой траектории, по массе полезной нагрузки и по возможности использования ЛА для решения перспективных задач. При проектировании универсального ЛА должны приниматься такие конструктивные решения, которые позволят в процессе жизненного цикла изделия в ходе модернизации адаптировать его для решения новых задач, выдвигаемых практикой. При проведении межвидовой универсализации ЛА необходима разработка универсальной математической модели, позволяющей описывать движение ЛА различного целевого назначения в процессе решения задачи многокритериального выбора альтернатив в условиях неопределенности. Критерием оценки является векторный критерий качества проектно - конструкторского решения (ПКР), компонентами которого являются совокупность показателей назначения системы, а также совокупность показателей, характеризующих технико - экономический эффект от ее универсализации у разработчика и заказчика. Одним из наиболее эффективных путей постановки и решения этой задачи в условиях неопределенности является использование многокритериальных игр по методике, описанной в работе [4].

Рассматривается многокритериальная игра разумных игроков - главного (**Г**) и альтернативного (**А**), с различной степенью информированности об управляемых ЛА друг друга. Анализ делается в интересах игрока **Г** при любых оптимальных действиях игрока **А**.

Игрок **Г** проектирует универсальный $ЛА_г$ для достижения обобщенной цели $Ц_Г$, которая может быть неподвижной на поверхности земли, или двигаться в пространстве. При проектировании учитывается, что игрок **А** будет мешать достижению цели $Ц_Г$ путем перехвата движущегося $ЛА_Г$ своими разнотипными перехватчиками $ЛА_{Al}$ ($\boldsymbol{l} = \mathbf{1,\ldots,\gamma}$). На этапе проектирования у игрока **Г** есть информация о некоторых конструктивных характеристиках $ЛА_{Al}$, а на этапе применения $ЛА_Г$ будет отсутствовать информация о текущих фазовых координатах движущихся объектов игрока **А**.

На этапе предварительного проектирования для описания пространственного управляемого (или не управляемого) движения центра масс ЛА с работающим (или выключенным) двигателем предлагается использовать обобщенную математическую модель, полученную в стартовой системе координат, при основных допущениях, что земля – неподвижная сфера и секундный массовый расход топлива - постоянный:

$$\frac{dv_s}{d\chi} = C_s\left[n_{\tau s} + \tilde{g}_s\left(\sin\theta_s + \tilde{x}_s\cos\theta_s\right)\right];\quad \frac{d\sigma_s}{d\chi} = C_s\,\frac{1}{v_s}\left[n_{n\sigma s} - \tilde{g}_s\sin\sigma_s\sin\theta_s\right];$$

$$\frac{d\theta_s}{d\chi} = C_s\,\frac{1}{v_s}\left[n_{n\theta s} + \tilde{g}_s\left(\cos\theta_s + \tilde{x}_s\sin\theta_s\right)\right]; \qquad (1)$$

$$\frac{dx_s}{d\chi} = c_s\,\lambda_{si}\,v_s\cos\theta_s;\qquad \frac{dy_s}{d\chi} = c_s\,\lambda_{si}\,v_s\sin\theta_s;\qquad \frac{dz_s}{d\chi} = -c_s\,\lambda_{si}\,v_s\sin\sigma_s,$$

где подстрочный индекс **s** – тип ЛА (1 – баллистическая ракета, 2 – ЗУР, 3 – антиракета, и др.), а подстрочный индекс **i** – порядковый номер ступени; v_s – значение модуля вектора скорости центра масс; θ_s – значение угла наклона вектора скорости; σ_s – угол между вектором скорости и плоскостью стрельбы; $n_{\tau s}, n_{n\theta s}, n_{n\sigma s}$ – тангенциальная и нормальные перегрузки; x_s, y_s, z_s – координаты центра масс ЛА в стартовой системе координат; χ - обобщенный аргумент.

В эту математическую модель входят различные неопределенные параметры и функции (различной физической природы), которые целесообразно разбить на группы для проведения естественной классификации и разработки соответствующих методов разрешения проблемы неопределенностей. К классу параметрических относятся неопределенности начальных и конечных условий, конструктивных параметров объекта управления, параметров законов управления, значения физических ограничений, накладываемых на траектории, параметров целевых функций. К классу функциональных неопределенностей относятся неопределенности видов законов управления.

1. Неопределенные параметры начальных условий, принадлежащих областям Ω допустимых значений с соответствующими индексами:

$$v_s(t_{0s}) \in \Omega_{v_{0s}};\qquad \theta_s(t_{0s}) \in \Omega_{\theta_{0s}};\qquad \sigma_s(t_{0s}) \in \Omega_{\sigma_{0s}};$$
$$x_s(t_{0s}) \in \Omega_{x_{0s}};\quad y_s(t_{0s}) \in \Omega_{y_{0s}};\quad z_s(t_{0s}) \in \Omega_{z_{0s}};\quad t_{0s} \in \Omega_{t_{0s}}. \qquad (2)$$

Эти начальные условия движения $ЛА_S$, стартующих как с неподвижного, так и с движущегося основания, являются управляющими параметрами игроков **Г** и **А**. Они априорно неопределенны и принадлежат областям с широкими заданными диапазонами изменений.

2. Неопределенные конструктивные значения баллистических параметров (БП) на этапе проектирования принадлежат допустимым областям $\mathbf{\Omega}$ (с соответствующими индексами) физически реализуемых значений параметров с широкими диапазонами изменения, определяемыми уровнем технологии производства: $\mathbf{J^{э}_{0y\,i} \in \Omega_J}$ – удельный эффективный импульс тяги у Земли; $\mathbf{\nu_{0\,i} \in \Omega_\nu}$ – коэффициент стартовой нагрузки на тягу двигателя; $\mathbf{p_{м\,i} \in \Omega_p}$ – стартовая нагрузка на мидель; $\mathbf{a^{э}_{i} \in \Omega_a}$ – коэффициент увеличения удельного импульса тяги в пустоте.

Параметры $\mathbf{C_s, c_s}$, входящие в (1), вычисляются по соотношениям:

$$\mathbf{C_s = c_s\, k_{s\,i};\ \ c_s = \begin{cases} 1, & \text{при}\ \mu_{т\,s\,i}(\tau_s) > 0; \\ \lambda_{s\,i}^{-1}, & \text{при}\ \mu_{т\,s\,i}(\tau_s) = 0; \end{cases} \ \ \lambda_{s\,i} = \frac{k_{s\,i}}{g_0};\ \ k_{s\,i} = -J^{э}_{0y\,s\,i}\,\nu_{0\,s\,i}},$$

а значение функций $\mathbf{\tilde{g}_s, \tilde{x}_s}$ - по выражениям:

$$\mathbf{\tilde{g}_s = \frac{g_s}{g_0}};\qquad\qquad \mathbf{\tilde{x}_s = \frac{x_s}{r_s}},$$

где $\mathbf{g_0}$, $\mathbf{g_s}$ – ускорения свободного падения на уровне моря и в данной точке траектории; $\mathbf{r_s}$ – расстояние между центрами масс Земли и ЛА.

3. Группа управляющих функций, содержащих неопределенные параметры. Значения перегрузок, обеспечивающих движение в окрестности желаемых траекторий ЛА$_S$, вычисляются по алгебраическим соотношениям:

$$\mathbf{n_{\tau\,s} = \frac{1}{\mu_s}\left[P_{s\,i}\cos\alpha_{y\,s\,i} - f_s\, c_{x\,s\,i}\right]};\tag{3}$$

$$\mathbf{n_{\theta\,s} = \frac{1}{\mu_s}\left[P_{s\,i}\sin\alpha_{y\,s\,i} + f_s\, c_{y\,s\,i}\right]};\qquad \mathbf{n_{\sigma\,s} = \frac{1}{\mu_s}\left[P_{s\,i}\sin\alpha_{z\,s\,i} + f_s\, c_{y\,s\,i}\right]},$$

где $\mathbf{\mu_s}$ – текущее значение относительной массы; $\mathbf{c_{x\,s\,i}}$, $\mathbf{c_{y\,s\,i}}$ – коэффициенты аэродинамической силы лобового сопротивления и нормальной аэродинамической силы; $\mathbf{\alpha_{y\,s\,i}, \alpha_{z\,s\,i}}$ – углы атаки являются управляющими функциями, которые обеспечивают желаемую траекторию движения, определяя требуемые перегрузки (3) в силу уравнений движения (1).

4. Значения функций $\mathbf{P_s}$, $\mathbf{f_s}$, содержащих неопределенные параметры, вычисляются по следующим соотношениям:

$$\mathbf{P_s = \begin{cases} \dfrac{1}{\nu_{0\,s\,i}}\left(a^{э}{}_{s\,i} - \dfrac{a^{э}{}_{s\,i} - 1}{p_0}\, p_s\right) & \text{при}\ \mu_{т\,s\,i}(\tau_{s\,i}) > 0; \\ 0, & \text{при}\ \mu_{т\,s\,i}(\tau_{s\,i}) = 0; \end{cases}}\qquad \mathbf{f_s = \frac{q_s}{p_{м\,s\,i}}},\tag{4}$$

где $\mathbf{p_0}$, $\mathbf{p_s}$ - давление окружающей среды на уровне моря и в данной точке траектории; $\mathbf{q_s}$ - скоростной напор; $\tau_{s\,i}$ - текущее время работы **i** - го двигателя.

В модели (1) используется обобщенный аргумент χ:

$$\chi = \begin{cases} \mu_s, \text{при}\, \mu_{т\,s\,i}(\tau_{s\,i}) > 0; \\ t_s, \text{при}\, \mu_{т\,s\,i}(\tau_{s\,i}) = 0, \end{cases}$$

который на участке полета с работающим двигателем имеет смысл относительной массы μ, а на участках движения с выключенным двигателем имеет смысл времени **t**.

5. Относительная масса (неопределенный конструктивный параметр) выражается через массы элементов конструкции:

$$\mu_s = \mu_{k\,s\,i} + \mu_{т\,s\,i}(\tau_{s\,i}); \quad \mu_{k\,s\,i} = \frac{m_{кр\,s\,i} + m_{0\ s\,i+1}}{m_{0\,s\,i}}; \tag{5}$$

$$\mu_{т\,s\,i}(\tau) = \frac{m_{т0\,s\,i}}{m_{0\,s\,i}} + \frac{\tau_{s\,i}}{\lambda_{s\,i}}; \;\; m_{0\,s\,I} = m_{кр\,s\,I} + m_{по\,s} + m_{пн\,s}; \;\; i = 1, 2, \ldots, I,$$

где $\mu_{k\,s\,i} \in \Omega_\mu$ – конечное значение относительной массы; $\mu_{т\,s\,i}(\tau)$ – относительная масса топлива; $\mathbf{m_{0si}}$ – начальная масса **i** - й субракеты; $\mathbf{m_{крsi}}$ – масса конструкции **i** - й ступени; $\mathbf{m_{т0\,s\,i}}$ – начальная масса топлива **i**-й ступени; $\mathbf{m_{по\,s}}$, $\mathbf{m_{пн\,s}}$ – масса приборного отсека и полезной нагрузки соответственно.

Масса полезной нагрузки $m_{пн\,s} \in \Omega_{m_{пн\,s}}$ универсального ЛА$_г$ может принимать любые дискретные значения из допустимой области в зависимости от целевого назначения при межвидовой универсализации. Поэтому на этапе проектирования целесообразно ее рассматривать как априорно неопределенный параметр. Степень неопределенности будет значительно уменьшена после проведения предстартовой адаптации структуры ЛА$_г$ для выполнения конкретной задачи.

6. Значения параметров движения ЛА в конечный не фиксированный момент времени $\mathbf{t_{ks}}$ зависят от поставленной задачи и функционально связаны с параметрами движения обобщенной цели. Так как координаты и параметры движения обобщенной цели являются априорно неопределенными и принадлежат некоторым областям с широким диапазоном изменения, то конечные условия движения ЛА являются априорно неопределенными параметрами и принадлежат областям $\mathbf{\Omega}$ допустимых значений с соответствующими индексами:

$$v_s(t_{k\,s}) \in \Omega_{v_{k\,s}}; \qquad \theta_s(t_{k\,s}) \in \Omega_{\theta_{k\,s}}; \qquad \sigma_s(t_{k\,s}) \in \Omega_{\sigma_{k\,s}}; \tag{6}$$

$$x_s(t_{k\,s}) \in \Omega_{x_{k\,s}}; \quad y_s(t_{k\,s}) \in \Omega_{y_{k\,s}}; \quad z_s(t_{k\,s}) \in \Omega_{z_{k\,s}}; \quad t_{k\,s} \in \Omega_{t_{k\,s}}.$$

7. Желаемая траектория ЛА$_S$ аппроксимируется кусочно - непрерывной

детерминированной явной функцией, являющейся полиномом 3-й степени:

$$\mathbf{y_s = \sum_{m=0}^{3} a_m \Delta x^m; \quad z_s = \sum_{m=0}^{3} b_m \Delta x^m; \quad a_m \in \Omega_a; \quad b_m \in \Omega_b}\,, \tag{7}$$

где $\mathbf{\Delta x = x_j - x_s(t);}$ $\mathbf{x_s(t) \in [x_{j-1}, x_j];}$ $\mathbf{j = \overline{1, J_k}}$; $\mathbf{j}$ – номер интервала аппроксимации; $\mathbf{x_s}$, $\mathbf{y_s}$, $\mathbf{z_s}$ – координаты объекта ЛА$_s$; коэффициенты $\mathbf{a_m}$, $\mathbf{b_m}$ принимают дискретные значения заданного ограниченного множества из допустимых областей $\mathbf{\Omega}$ с соответствующими индексами.

Управляющими параметрами являются количество интервалов аппроксимации $\mathbf{J_k}$, значения координат рубежей начала маневра $\mathbf{x_j}$ и значения коэффициентов аппроксимации $\mathbf{a_m}$, $\mathbf{b_m}$. Эти параметры назначаются так, чтобы выбрать семейство траекторий, обеспечивающих максимум вероятности ухода от преследования и достижение цели управления.

8. Физическим ограничением, накладываемым на траекторию (7), является максимальное значение потребных для ее реализации перегрузок. Требуемые значения нормальных перегрузок выбираются так, чтобы обеспечить движение центра масс ЛА по желаемой траектории. Методика получения законов управления (в интересах игрока **Г**) изложена в работе [5]. Области допустимых значений $\mathbf{\Omega_a, \Omega_b}$ назначаются из условия, чтобы максимум максимальных значений перегрузок на каждой траектории из всего семейства, в силу системы уравнений (1), не превышал максимально допустимого значения $\mathbf{n_{max\ s}^{доп}}$, определяемого конструкцией и прочностью ЛА

$$\mathbf{E = \max_{\Omega_a, \Omega_b} \max_{t} |n_s| \le n_{max\ s}^{доп}}\,. \tag{8}$$

Для игрока **Г** в рассматриваемой модели (1)-(8) на предварительном этапе проектирования неопределенными конструктивными параметрами ЛА$_г$ являются число ступеней **I**, значения БП, $\mathbf{n_{max\ s}^{доп}}$. Степень неопределенности конструктивных параметров уменьшается в процессе принятия ПКР при проектировании. Однако, даже для спроектированного и изготовленного объекта неопределенность остается, но в более узких пределах.

Игрок **Г** располагает приближенными сведениями о значениях баллистических параметров объектов ЛА$_{Al}$ игрока **А**. Поэтому значения БП объектов ЛА$_{Al}$ являются неопределенными параметрами, принадлежащими широкой области физически реализуемых значений. Однако, можно предположить, что соответствующие области параметров объектов ЛА$_г$ и ЛА$_{Al}$ близки в силу мирового уровня технологии производства.

Игрок **Г** располагает неполной информацией, т.е. для него неопределенными функциями объектов ЛА$_{Al}$ являются управляющие функции

$\mathbf{n}_{n\theta s}, \mathbf{n}_{n\sigma s}$. Игрок **Г** также не располагает информацией о количестве γ и начальных условиях (2) перехватчиков. Следовательно, начальные условия движения объектов ЛА$_{Al}$ являются неопределенными с широким диапазоном изменения.

В общем случае задача проектирования игрока **Г** заключается в выборе такой траектории (7), а также структуры объекта, ПКР, БП и законов управления ЛА$_г$, чтобы достичь возможного минимума по времени расстояния в трехмерном пространстве между объектами ЛА$_г$ и Ц$_г$, т.е. минимизировать промах

$$\mathbf{I}_г = \min_{\mathbf{t}} \sqrt{(\mathbf{x}_г(\mathbf{t}) - \mathbf{x}_ц(\mathbf{t}))^2 + (\mathbf{y}_г(\mathbf{t}) - \mathbf{y}_ц(\mathbf{t}))^2 + (\mathbf{z}_г(\mathbf{t}) - \mathbf{z}_ц(\mathbf{t}))^2}\ , \tag{9}$$

где $\mathbf{x}_ц$, $\mathbf{y}_ц$, $\mathbf{z}_ц$ – координаты цели Ц$_г$.

Степень неопределенности координат цели для игрока **Г** зависит от способов и средств получения информации о наличии и расположении в пространстве цели и определяется точностью технических средств разведки и измерений.

Игрок **А** так выберет управление объектами ЛА$_{Al}$, чтобы достичь возможного минимума своего промаха

$$\mathrm{I}_A = \min_{\mathbf{t}} \sqrt{(\mathbf{x}_г(\mathbf{t}) - \mathbf{x}_{п\,l}(\mathbf{t}))^2 + (\mathbf{y}_г(\mathbf{t}) - \mathbf{y}_{п\,l}(\mathbf{t}))^2 + (\mathbf{z}_г(\mathbf{t}) - \mathbf{z}_{п\,l}(\mathbf{t}))^2}\ . \tag{10}$$

На основе универсальной математической модели (1)-(10) строится обобщенная математическая модель многокритериальной игровой задачи в условиях повышенной степени неопределенности параметров различной физической природы, возникающих при решении задач межвидовой универсализации.

Управляемый ЛА$_г$ игрока **Г** в общем виде описывается векторным дифференциальным уравнением

$$\frac{d\mathbf{x}_г}{dt} = \mathbf{f}(\ \mathbf{t}, \mathbf{x}, \mathbf{b}, \mathbf{u}, \mathbf{F}(\mathbf{t})\ ); \tag{11}$$

$$\mathbf{x}_г \in \Omega_{\mathbf{x}_г}, \mathbf{x}_г(0) \in \Omega_{\mathbf{x}_0}, \mathbf{b} \in \Omega_{\mathbf{b}}, \mathbf{u} \in \Omega_{\mathbf{u}}, \mathbf{F}(\mathbf{t}) \in \Omega_{\mathbf{F}}\ ,$$

где $\mathbf{x}_г$ - есть $\mathbf{n}_1$-мерный вектор фазовых координат ЛА$_г$, принадлежащий некоторому замкнутому множеству $\Omega_{\mathbf{x}}$; **b** - есть $\mathbf{n}_2$ -мерный вектор конструктивных неопределенных параметров ЛА$_г$, принадлежащий некоторому замкнутому множеству $\Omega_{\mathbf{b}}$ при межвидовой универсализации; **u** - управляющая n_3 - мерная вектор - функция, принадлежащая замкнутому множеству $\Omega_{\mathbf{u}}$; **F(t)** - возмущающая $\mathbf{n}_4$ - мерная вектор-функция, принадлежащая замкнутому множеству $\Omega_{\mathbf{F}}$. Объекты ЛА$_{Al}$ игрока **А** описываются дифференциальными уравнениями:

$$\frac{dx_{A\,l}}{dt} = f(\ \tau_l\,,\ x_{Al},\ d_l,\ v_l\,,\ w_l(\tau_l\,));\quad \tau_l\ = t - \tau_{l_0}\,,\ (\ l = 1,\ ...,\ \gamma\ );\quad (12)$$

$$x_{A\,l} \in \Omega_{X_A}\,,\ x_{A\,l}(0) \in \Omega_{x_{A0}}\,,\ d_l \in \Omega_d\,,\ v_l \in \Omega_v\,,\ w_l(\tau_l) \in \Omega_w\,,\ \tau_{l_0} \in \Omega_{\tau 0}\,,$$

где τ_l - время, сдвинутое относительно t на интервал времени τ_{l_0} начала движения ЛА$_г$; x_{Al} -есть n_1 - мерный вектор фазовых координат управляемого ЛА$_{Al}$; d_l - есть n_2 - мерный вектор конструктивных неопределенных параметров *ЛА$_{Al}$*; v_l - управляющая n_3 - мерная вектор - функция, принадлежащая замкнутому множеству Ω_v ; w_l - вектор возмущающих функций, принадлежащий замкнутому множеству Ω_w .

В общем случае задача проектирования ЛА$_г$ игроком **Г** заключается в выборе траектории, структуры объекта и его основных характеристик для достижения возможного максимума вероятности того, что величина промаха $I_г$ будет не больше заданного расстояния r_3:

$$J_г = \max P[I_г \le r_3]\,. \tag{13}$$

Игрок **A** так выбирает свое управление $v_l(\ t,\ x_г,\ x_{Al})$, чтобы достичь возможного максимума вероятности того, что величина промаха I_A будет не больше заданного расстояния **R**:

$$J_A = \max P[I_A \le R]\,. \tag{14}$$

В этом случае игрок **A** считает, что он добивается цели управления. Игрок **Г** наоборот - проигрывает. Для игрока **Г** значение величины **R** остается неопределенным и может изменяться в широком диапазоне. Вероятность перехвата ЛА$_г$ объектами ЛА$_{Al}$, будет определяться выражением

$$P_{пер} = P[\ (\ I_{A1}\ \le R\ ) \vee (\ I_{A\,2}\ \le R\ )\ \vee\ ...\ \vee (\ I_{A\,l}\ \le R\ )\ ], \tag{15}$$

а вероятность ухода от преследования

$$P_{ух}\ = P[\ (I_{A\,1}\ > R\ ) \wedge (\ I_{A\,2} > R\ )\ \wedge\ ...\ \wedge (\ I_{A\,l} > R\ )\ ], \tag{16}$$

где: $\vee$, $\wedge$ - знаки дизъюнкции и конъюнкции.

Пусть $E(x_г,\ b,\ u)$ - критерий оптимальности игрока **Г**, а $I_A(x_г,\ x_{Al},\ d_l,\ v_l)$ - игрока **A**. Тогда неклассическая цель игры в интересах игрока **Г** имеет вид:

$$J = \min_{u\in\Omega_u}\ E(\ x_г,\ b,\ u);\qquad I = \min_{v\in\Omega_v}\ I_A(x_г,\ x_{Al},\ d_l,\ v_l\ ) \tag{17}$$

при уравнениях связи (11), (12) и любых оптимальных действиях игрока **A** . При синтезе траектории (7) и реализующего ее закона управления, будем считать, что игрок **A** имеет полную информацию о координатах объекта ЛА$_г$ (есть измерители), игрок **Г** не имеет информации о моментах старта, о текущих координатах и законах управления ЛА$_{Al}$, т.е. имеем игру с неполной информацией.

Игрок **Г** синтезирует замкнутое управление своим объектом для достижения цели управления (9) с рандомизацией своего программного движения в виде (7) или полученной в работе [6], вносящей элемент неопределенности в закон наведения объекта ЛА$_A$. Этим обеспечивается уход ЛА$_Г$ от преследования, так как он прячется за максимальные ограничения на динамические характеристики объекта ЛА$_A$ (закон управления которого не известен игроку **Г**). Игрок **А** не может заранее предсказать правильное движение ЛА$_Г$ и не перехватит его, так как не хватит управляющих воздействий. Наличие информации у игрока **Г** хотя бы о факте начала перехвата позволяет снизить на порядок требования, накладываемые на требуемые максимально допустимые нормальные перегрузки проектируемого универсального ЛА$_Г$.

На основе решения сформулированной многокритериальной игровой задачи проводится межвидовая универсализация ЛА путем стандартизации значений массы полезной нагрузки $\mathbf{m_{пнs}}$ с использованием ряда предпочтительных чисел. Другим направлением является обоснование размеров взаимно пересекающихся зон действия системы универсальных ЛА.

Рассмотренная обобщенная математическая модель позволяет обосновать тактико-технические требования к адаптируемому объекту универсализации, а также обосновать типы систем ЛА на видовом и межвидовом уровнях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шарий В. Выводы из Балканской войны. Чему научили Украину Балканский кризис и другие конфликты. – *http://www.rainbow.gov.ua/.*

2. Горбулин В. Оборонное строительство в Украине: проблемные вопросы развития ОПК и подходы к их решению // Зеркало недели. – №4(328). – 27.01.2001.

3. Нолан Е.Д., Вилон Д.А. Баллистические ракеты в “третьем мире” // В мире науки .– 1990. – №10. – С. 22 - 26.

4. Фоменко О.Н. Игровой метод синтеза рандомизированных управлений динамическими объектами в условиях неопределенности // Системы управления и связи. – Харьков: НАНУ, ПАНИ, ХВУ. – 1996. – С. 38 - 46.

5. Фоменко О.Н., Журавлев А.А. Универсализация алгоритмов управления летательного аппарата с адаптируемой структурой // Системи обробки інформації. – Харків : НАНУ, ПАНМ, ХВУ.– 2001.– Вип.1(11). –С.134 - 140.

6. Фоменко О.Н., Журавлев А.А. Синтез рандомизированного терминального управления маневрирующего летательного аппарата // Системи обробки інформації. – Харків : НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 1999. – Вип.2(6). – С. 23 - 28.

Поступила в редколлегию 20.03.2001