

**Оценка влияния факторов  
информационно-баллистического обеспечения пусков  
на реализуемость группировками  
летательных аппаратов своих функциональных задач**

© В.Н. Захаров, Г.В. Казаков, Н.Н. Котяшев

ФГБУ «4 ЦНИИ» Минобороны России,  
г. Королев Московской обл., 141091, Россия

*Чувствительность играет важную роль в анализе и синтезе технических систем любой сложности и любого назначения — оценке точности систем, определении и выборе допусков на их параметры при любом процессе оптимизации. Одной из важнейших задач информационно-баллистического обеспечения пусков летательных аппаратов наряду с обеспечением данными на их пуски является повышение эффективности решения летательными аппаратами своих функциональных задач. Поэтому актуальна задача оценки функций чувствительности и функций влияния факторов информационно-баллистического обеспечения пусков летательных аппаратов на эффективность выполнения группировками таких аппаратов своих функциональных задач и обеспечения при приемлемых затратах наиболее полного использования их конструктивно-баллистических возможностей. Дано определение и проведена комплексная оценка функций чувствительности и функций влияния основных факторов информационно-баллистического обеспечения пусков летательных аппаратов на выполнение функциональных задач их группировкой. Уровень влияния факторов информационно-баллистического обеспечения на реализуемость группировкой летательных аппаратов функциональных задач представлен числовыми показателями. Сформирован интегральный показатель оценки влияния факторов информационно-баллистического обеспечения на показатели эффективности решаемых группировкой летательных аппаратов задач, который представлен в виде взвешенной свертки приращений частных показателей.*

**Ключевые слова:** задача пуска, информационно-баллистическое обеспечение, летательный аппарат, летные испытания, полетное задание, точка прицеливания

**Введение.** Информационно-баллистическое обеспечение (ИБО) определяется как комплекс мероприятий, направленных на подготовку совокупности баллистических данных, необходимых для эффективного выполнения задач пусков летательных аппаратов (ЛА). Основной целью ИБО является наиболее полное использование конструктивно-баллистических возможностей (КБВ) ЛА при их применении.

Одна из важнейших задач ИБО пусков ЛА наряду с их обеспечением задачами пуска (ЗП) заключается в повышении эффективности применения ЛА. Оно достигается совершенствованием средств применения ЛА, улучшением их основных летно-технических характеристик (ОЛТХ), обеспечением адекватности моделей возмущенного

движения ЛА и на их основе моделей формирования и контроля реализуемости ЛА заданных ЗП в системах планирования и подготовки данных на пуски летательных аппаратов.

Целью исследования является оценка функций чувствительности и функций влияния указанных выше факторов ИБО на эффективность  $\mathcal{E}$  выполнения группировкой ЛА своих задач и обеспечения при приемлемых затратах  $Q$  наиболее полного использования потенциальных возможностей объекта управления для решения поставленных перед ним задач. В общем виде математически эту задачу сформулируем в виде  $\max \mathcal{E}$  при  $Q = \text{const}$ .

Чувствительность играет важнейшую роль в анализе и синтезе технических систем любых сложности и назначения — оценке точности систем, определении и выборе допусков на их параметры при любом процессе оптимизации, а также в адаптивных системах, использующих обратные связи и т. п. [1, 2].

Рассмотрим процесс формирования функции влияния факторов ИБО с наиболее общих позиций. Пусть некоторое возмущающее (управляющее) воздействие на рассматриваемый объект (функционал) описывается функцией  $f(x)$  ( $a \leq x \leq b$ ), а результат этого воздействия — по определенному закону (оператору преобразования  $L$ ) функцией  $F(x)$ .

При заданном воздействии  $f(x)$  ( $a \leq x \leq b$ ) функцию  $F(x)$  будем называть функцией влияния [1, 2]; в простых случаях она может быть выражена теоретически, а в более сложных — рассчитана численно, определена экспериментально или вычислена по аналогии:

$$F(x) = L[f(x)] = \int_a^x G(x, \xi) f(\xi) d\xi,$$

где  $G(x, \xi)$  — оператор преобразования, непрерывная дифференцируемая функция.

Числовое выражение функции влияния для некоторого воздействия на отрезке ( $a \leq x \leq b$ ) будет иметь вид

$$F(x, a, b) = \int_a^b G(x, \xi) f(\xi) d\xi.$$

Для динамических систем функция  $F(x)$  может быть определена на интервалах, отличных от  $f(x)$ .

Отметим, что без надежного функционирования обеспечивающих систем либо эффективность применения ЛА значительно снижается, либо ЛА непригоден для применения. ИБО относится именно к этому типу обеспечивающих систем, потому что без формирования и

доставки до ЛА реализуемой ЗП (куда лететь и каким маршрутом), без расчета по нему полетного задания (ПЗ) она остается умным, но бесполезным техническим монстром.

Естественно, что при оценке чувствительности задач, решаемых группировкой ЛА, к факторам ИБО следует отдавать предпочтение оценке влияния наиболее значимых факторов, для которых функции влияния на некоторые показатели качества применения ЛА принимают наибольшие значения.

Перейдем к непосредственной оценке влияния факторов ИБО пусков ЛА на выполнение группировкой ЛА своих функциональных задач.

**Повышение достоверности и точности оценок эффективности достижения точечных целей в условиях ограниченных объемов летных испытаний ЛА.** Эффективность достижения точечных целей ЛА в очень высокой степени зависит от точности стрельбы — наличия в отклонениях точек падения от точек прицеливания (ТП) значимых систематических отклонений. Уровень систематических ошибок попаданий существенно зависит от эффективности отработки точности в ходе летных испытаний (ЛИ) ЛА [3–5] и степени учета в моделях аномального гравитационного поля Земли (ГПЗ) [6].

Для оценки уровня вероятности достижения точечных целей обычно используется выражение [3]

$$P_1 = \frac{\pi K_{т.о}^2 q^{2/3}}{2 \sigma_n^2 \ln(1 - P_{тр})},$$

где  $K_{т.о}$  — коэффициент, характеризующий защищенность точечных целей (объектов);  $q$  — тротильный эквивалент;  $\sigma_n$  — среднее квадратическое отклонение от ТП;  $P_{тр}$  — требуемая вероятность достижения точечного объекта.

В это приведенное выше выражение входит характеристика кучности попаданий  $\sigma_n$  — среднее квадратическое отклонение от ТП, но в нем отсутствует оценка систематического промаха. Для значительного объема летных испытаний, когда доверительные границы для оценок математического ожидания группирования точек падения достаточно узки, эта формула вполне пригодна. Однако при тенденции к существенному снижению объемов ЛИ изделий, необеспечения их «штатности» или отсутствия достаточно мощной системы полигонных измерений, обеспечивающей отработку точности по составляющим промаха, эффективность отработки и, следовательно, применения ЛА может существенно ухудшиться.

В работах [4, 6] показано, что вероятность достижения точечной цели  $P_1$  одним средством следует определять через функцию Бесселя нулевого порядка  $J_0(h, t)$ :

$$P_1 = e^{-\frac{h^2}{2}} \int_a^b e^{-\frac{h^2}{2}} J_0(h, t) t dt,$$

где  $h = d/\sigma$ ,  $d$  — систематическое смещение,  $\sigma$  — характеристика рассеивания,  $R_n$  — радиус зоны достижения,  $r = R_n/\sigma$ .

При  $R_n = \sqrt{D}$  исключение систематических погрешностей из модели ошибок попаданий повышает вероятность достижения точечной цели одним средством примерно в 2 раза [3]. Это позволяет существенно снизить наряд средств для достижения точечной цели:

$$N(P_1) = \frac{\ln(1 - P_{\text{тр}})}{\ln(1 - P_1)}.$$

Исключение систематического промаха при малых объемах испытаний весьма проблематично. При этом, как было показано выше, вероятность достижения точечной цели существенно зависит от значения систематического промаха и, следовательно, от объема экспериментальных пусков ЛА, для чего требуется определить условия, при которых точность оценок систематического промаха оставалась бы приемлемой и при сниженных объемах испытаний.

Рассмотрим три возможных способа отработки точности достижения при сниженных объемах испытаний ЛА, в то же время не снижающих существенно эффективность применения ЛА [5, 6].

**Сужение доверительных интервалов для оценок точности достижения.** Для нахождения рациональных уровней доверительных вероятностей при отработке точности достижения на основе аппарата теории статистических решений было показано, что наиболее подходящие их значения могут лежать в диапазоне 0,7...0,8. Сужение доверительных интервалов, в которых может находиться нулевое значение систематического промаха от ТП, приведет к снижению наряда средств на достижение точечной цели.

При подтверждении систематического промаха достижения с малой доверительной вероятностью  $\beta$  потребуются высокий уровень наземной отработки изделий и высокая точность экспериментальной оценки составляющих промаха. В противном случае в малый доверительный интервал, соответствующий малой доверительной вероятности, не попадет нулевое значение оценки характеристики точности достижения, чего требует опытно-теоретический метод оценки летно-технических характеристик ЛА.

**Определение рационального числа летных испытаний при заданном объеме партии производимых ЛА.** Второй способ возможного снижения числа летных испытаний ЛА состоит в определении рационального числа ЛИ при заданном объеме партии производимых ЛА. Если он задан, то возможны две ситуации: при малом объеме ЛИ и, следовательно, низких надежности и точности отработки систематического промаха для достижения заданной группы целей потребуется израсходовать больше средств достижения; при высокой надежности отработки и, следовательно, большом числе испытаний останется меньшее число изделий для выполнения функциональных задач.

Это свидетельствует о том, что имеется основание для поиска рационального значения объема выделенных на отработку изделий. В этом случае может быть поставлена задача выпуклого программирования, состоящая в определении рационального числа испытательных пусков  $n$  для оценки точности при заданном объеме партии производимых ЛА  $N_0$ , обеспечивающих максимальное число поражаемых с заданной вероятностью точечных целей  $N_{т.о}$  летательными аппаратами, оставшимися после проведения испытательных пусков.

**Отработка изделий в ограниченных условиях испытаний.** Еще одной, уже реальной альтернативой снижения объемов испытаний стал переход к отработке изделий в так называемых ограниченных условиях испытаний, в том числе испытаний по модульной схеме. Она базируется на параметрическом опытно-теоретическом методе оценки ОЛТХ, совершенствовании методической базы и увеличении мощности полигонной измерительной базы. Для оценки характеристик изделий в этих условиях могут привлекаться натурные пуски ЛА с не вполне штатной комплектацией, частично успешные пуски, а также пуски, проведенные на предельных условиях, оценки промахов стрельбы по составляющим, пуски изделий-аналогов и ряд других.

При этом случайные величины — отклонения значений ОЛТХ в  $i$ -х условиях эксперимента  $x_i$  приводятся к  $j$ -м условиям ( $x_j$ ) с использованием соотношения

$$x_j = r_{ji} \frac{\sigma_{x_j}}{\sigma_{x_i}} x_i,$$

где  $r_{ji} = \frac{\text{cov}(x_i, x_j)}{\sigma_{x_i} \sigma_{x_j}}$  — коэффициент корреляции между  $x_i$  и  $x_j$  [5, 6].

Показано, что использование модульной схемы испытаний позволяет обеспечить более высокую точность оценок промахов по сравнению с результатами испытаний ЛА только в полной штатной комплектации (примерно в 1,4 раза).

**Повышение коэффициента использования средств достижения.** Известно, что зона разведения средств достижения ЛА является его основной летно-технической характеристикой. При незначительных зонах разведения в ходе планирования применения ЛА не всегда можно найти важные цели для всех средств достижения, что влечет за собой их перерасход. Естественно, что увеличение размеров зон разведения будет способствовать поражению наибольшего числа целей, т. е. коэффициент использования средств достижения  $K_{и}$ , введенный в работе [7], будет невысоким, а это должно свидетельствовать о неполном использовании КБВ летательного аппарата:

$$K_{и} = \frac{N_{ц}}{N_{бп}},$$

где  $N_{ц}$  — число целей в зоне разведения средств достижения ЛА;  $N_{бп}$  — число средств достижения на ЛА.

Следовательно, в интересах наиболее полного использования КБВ летательного аппарата возникает задача рассмотрения возможности расширения размеров зон разведения средств достижения. Для этого существует три возможности: оптимальное целераспределение, выбор формы области разведения средств достижения по ТП, рациональное использование располагаемых на ЛА запасов топлива.

**Оптимальное целераспределение средств достижения.** В период создания ЛА ввиду недостаточной разработанности методов решения задач целераспределения и недостаточной мощности вычислительной техники того поколения располагаемую зону разведения средств достижения приходилось сокращать относительно стандартного прямоугольника разведения, определяемого в тактико-технических требованиях на ЛА и подтверждаемого в ходе летных испытаний ЛА, примерно до 30...50 % реальных возможностей.

С бурным развитием вычислительной техники и наработкой методического аппарата решения задач оптимального разведения средств достижения по ТП эта проблема была во многом сглажена, а для числа средств достижения до 8–10 практически снята. В работе [8] предложены способы решения разомкнутой задачи коммивояжера для большого (более 10) числа средств достижения, удовлетворяющих требованиям оперативности и по точности решений практически не сокращающих располагаемые зоны разведения. Показано [8], что модифицированный метод ветвей и границ за приемлемое время (1...3 с) обеспечивает оптимальный маршрут обхода для более чем 20 средств достижения с практически нулевой погрешностью.

**Выбор формы области разведения по точкам прицеливания.** В качестве располагаемых зон разведения средств достижения используется располагаемый прямоугольник разведения (РПР) [7].

Применение стандартного прямоугольника разведения вполне допустимо для отработки в ходе ЛИ энергетических возможностей ЛА, но использование РПР при планировании применения ЛА не в полной мере является обоснованным ввиду повышенных затрат на разведение средств достижения по ТП, расположенным в углах РПР. Была предложена форма представления располагаемой зоны разведения в виде располагаемого эллипса разведения (РЭР) [9].

Модельный эксперимент показал, что в среднем для различных дальностей полета и разных соотношений сторон областей разведения при одних и тех же энергозатратах площадь РЭР превышает площадь РПР на 14 %.

**Рациональное использование располагаемых на ЛА запасов топлива.** Увеличение размеров зон разведения средств достижения по ТП также возможно при рациональном использовании располагаемых на ЛА запасов топлива (гарантийных и на разведение средств достижения) [10]. В целях оценки и учета возможностей ЛА по разведению средств достижения найдено распределение используемых на ЛА гарантийных запасов топлива ( $G_{ГЗТ}$ ) как усеченное слева нормальное распределение. Определен также закон распределения (нормальное распределение) для запасов топлива ЛА, используемых для разведения средств достижения ( $G_{ЭБО}$ ), инвариантный к закону распределения ТП в области разведения.

Суммарный расход топлива ЛА  $G_{\text{сум}}$  будет также случайным и будет складываться из расхода двух упомянутых выше компонентов, которые в каждом случае реализуются как случайные независимые величины. Распределение суммы независимых случайных величин определяется как свертка их распределений [10], т. е. плотностей распределения гарантийных запасов топлива  $f(G)$  и рабочих запасов топлива  $g(G)$ :

$$f_{fg}(G) = \int_0^{G_{\text{рас}}} f(y) g(G - y) dy,$$

где  $G_{\text{рас}}$  — располагаемые запасы топлива на ЛА.

При предложенном способе учета располагаемых запасов топлива линейные размеры стандартного прямоугольника разведения можно увеличить примерно на 10 %, а увеличение его площади и площади РПР может составить около 20 %.

Таким образом, в совокупности все рассмотренные способы увеличения размеров зон разведения средств достижения по ТП позволяют расширить площадь разведения в среднем до 34 %.

Проецируя эти значения процентов на коэффициент использования средств достижения при планировании применения ЛА

$$K_{и} = \frac{N_{ц}}{N_{оп}} \cdot 1,34,$$

можно показать, что при тех же исходных данных для  $N_{ц}$  и  $N_{оп}$  этот коэффициент увеличится до 0,928.

**Обеспечение актуальности данных на пуски ЛА в различных сценариях применения ЛА за счет создания резерва оперативности подготовки данных.** Поскольку своевременность обеспечения ЛА актуальными ЗП имеет первостепенное значение, к оперативности процесса подготовки данных и переприцеливания ЛА предъявляются повышенные требования.

Целенаправленные процессы, ведущими компонентами показателей качества которых является длительность  $\tau$  периода выполнения поставленных задач, называются Т-процессами [11]. Длительность периода  $\tau$  зависит от многих факторов, большинство из которых случайные величины. Следовательно,  $\tau$  есть случайная величина, и для оценки эффективности Т-процесса должны находиться вероятностные характеристики  $\tau$  — закон распределения, квантили распределения и др. В частности, вероятность завершения процесса может быть представлена в виде вероятности выполнения задачи  $P_{в.з} = P(\tau_{н} \leq \tau_{д})$  или чаще в виде  $P_{в.з} = P(\tau \leq \tau_{д})$ , где  $\tau_{н}$  — нижняя граница периода выполнения задачи;  $\tau_{д}$  — верхняя граница (директивное время).

При показателе оперативности процесса  $\tau = \tau_{д} - q\tau > 0$  будет иметь место резерв оперативности, при  $\tau = \tau_{д} - q\tau < 0$  — дефицит оперативности, где  $q\tau$  — квантиль распределения  $\tau$  для установленной доверительной вероятности.

Процессы подготовки данных применения ЛА с полным основанием можно отнести к Т-процессам — процессам с конечным состоянием. Методические аспекты оценки и обеспечения требуемой оперативности решения задач планирования и подготовки данных в распределенных средствах подготовки данных на пуски ЛА базируются на теории расписаний [12], марковских и полумарковских процессах [13], теории массового обслуживания [11, 14] и рассмотрены в отмеченных работах.

Исследования поведения текущего ресурса группировки в ходе выполнения задач пуска ЛА при воздействии противника показывают, что объемы оперативной замены ЗП в зависимости от сценария применения группировки могут находиться в пределах 10 %. Повышение эффективности применения группировки за счет оперативной замены задач пуска ЛА будет находиться примерно в тех же пределах.

**Повышение достоверности заключений о реализуемости данных на основе обеспечения адекватности результатов натурных испытаний ЛА (наземных и летных) и математических моделей формирования, контроля реализуемости данных на пуски и их программной реализации.** В целях обеспечения безусловной реализуемости системами управления ЛА подготовленных ПЗ предъявляются жесткие требования к качеству математических моделей формирования и контроля реализуемости ЗП, расчета и контроля ПЗ, включая разработанное на их основе специальное программное обеспечение (СПО), реализуемое в автоматизированных системах планирования и подготовки данных на пуски ЛА и текущую оперативную замену задач пуска ЛА.

Качество математических моделей и СПО формирования и подготовки данных на пуски ЛА определяется оперативностью решения задач, достоверностью заключений и полнотой использования КБВ изделий; оно непосредственно зависит от структуры СПО, принятой технологии его разработки и испытаний.

Специальное программное обеспечение фильтрации данных в ходе решения задач контроля реализуемости данных применения должно способствовать наиболее полному использованию КБВ летательных аппаратов, повышению эффективности применения ЛА, их устойчивости и гибкости к изменяющимся условиям обстановки [15], а СПО расчета и контроля ПЗ — безусловной реализуемости ПЗ системами управления ЛА.

Для решения этих задач требуется в конечном счете обеспечить адекватность результатов натурных испытаний ЛА (наземных и летных) и математических моделей формирования, контроля реализуемости и расчета ПЗ и их программной реализации.

Понятие адекватности модели реальным процессам возникает в связи с наличием ошибок моделирования: погрешностей упрощения моделирующего алгоритма; ограниченности статистического материала и исходных данных; случайных ошибок, обусловленных ошибками в исходных данных и программах.

Модель будем считать адекватной, если

$$\rho\{M, O\} \leq \varepsilon, \quad \varepsilon > 0,$$

где  $\rho\{M, O\}$  — мера адекватности, «расстояние» между моделью и объектом в пространстве «вход–выход».

Проверка адекватности математических моделей и программ, по сути, сводится к решению двух задач: определению законов распределения погрешностей выходных величин моделирующих программ на множестве входных данных и качества программной реализации моделей.

Для решения первой задачи на основе опытно-теоретической оценки ЛТХ летательных аппаратов по результатам натуральных испытаний и испытаний аналогов систем и агрегатов ЛА определяются (подтверждаются расчетные) законы распределения погрешности выходных величин моделей  $F_{mj}(\Delta x)$  и вероятности нахождения их в пределах заданных допусков  $D_{mj}$ :

$$D_{mj} = P_j(|\Delta x| \leq \Delta x_{jd}), \quad j = \overline{1, K},$$

которые вычисляют по формуле

$$D_{mj} = \int_{-\Delta x_j}^{\Delta x_j} F_{mj}(\Delta x) d(\Delta x).$$

Если опытно-теоретические оценки выходных величин не лежат в пределах указанных допусков, то осуществляется корректировка параметров расчетных моделей полета ЛА и возмущений, действующих на ЛА.

Величина  $D_{mj}$  определяет достоверность вычисления в модели допусков  $\Delta x_j$  и фактически определяет вероятность того, что полученное значение  $\Delta x_j$  удовлетворяет требованиям по точности. Для агрегированных (упрощенных) моделей значения допусков могут определяться с учетом возложенных на модель функциональных задач.

Решение второй задачи выполняется с использованием различных методов и моделей расчета надежности программ программно-испытательных стендов оценок вероятностей правильного функционирования СПО (отсутствия невыявленных ошибок в программах)  $P_{nj}$  на том или ином множестве генерируемых исходных данных.

Отладка программ осуществляется, как правило, с использованием временных моделей надежности (например, на базе универсального распределения Вейбулла [16]), адекватно отражающих динамику интенсивностей отказов  $I_{ow}(t)$  СПО.

Когда интенсивность отказов становится стабильной, а значение оценки надежности программ незначительным, приемочные испытания целесообразно осуществлять на базе биномиального распределения. В качестве надежности программы  $P_n$  будем принимать ее нижнюю границу  $\hat{p}_{1n}$  и находить как корень уравнения

$$\sum_{j=0}^m \left[ \frac{n!}{(n-j)! j!} \hat{p}_{1n}^{n-j} (1 - \hat{p}_{1n})^j \right] - (1 - q_1) = 0,$$

где  $m$  — число отказов программы;  $n$  — число тестов;  $q_1$  — уровень доверия.

При  $m = 0$  имеем

$$P_n = (1 - \hat{p}_{1n})^{1/n}.$$

После оценки характеристик точности математических моделей и надежности программ, их реализующих, рассчитывается с учетом их независимости обобщенная оценка достоверности выходных величин программ

$$D_j = D_{mj} P_{nj}, \quad j = \overline{1, K}.$$

Этот показатель сравнивается с требуемым значением показателя достоверности заключений СПО формирования контроля реализуемости ЗП.

Если  $D_j \geq D_{тр}$ , то делается вывод о достаточной достоверности получаемого результата, обеспечивающего практически безусловную реализуемость системами управления ЛА подготовленных ПЗ. В противном случае выполняются дальнейшая доработка и испытания моделей и программ по рекомендациям, изложенным в работах [17, 18]. При этом

$$D_{тр} = P_j(|\Delta x| \leq \Delta x_{тр}),$$

где  $\Delta x$  — погрешность результата.

Полная согласованность заключений о реализуемости данных применения с результатами натурных испытаний ЛА обеспечит безусловную реализуемость системами управления ЛА подготовленных ПЗ в целях доставки средств достижения к ТП, т. е. является необходимым условием реализуемости группировкой ЛА своих функциональных задач.

Может быть сформирован и интегральный показатель  $\Delta P$  оценки влияния факторов ИБО на показатели решаемых группировкой задач, например, в виде взвешенной свертки приращений частных показателей

$$\Delta P = \sum_{k=1}^l w_i \frac{P_i^* - P_i}{P_i}, \quad i = \overline{1, k},$$

где  $w_i$  — весовые коэффициенты важности отдельных показателей;  $P_i^*$  и  $P_i$  — достигнутый и исходный уровни показателей.

**Заключение.** Полученный вклад факторов ИБО в показатели эффективности решения функциональных задач группировкой ЛА может являться базой для его сравнения с эффективностью совершенствования параметров самой группировки ЛА (живучести, готовности к применению, управления и др.) для принятия обоснованных управленческих решений, в том числе и с учетом необходимых для этого затрат.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Розенвассер Е.Н., Юсупов Р.М. *Чувствительность систем управления*. Москва, Наука, 1981, 464 с.
- [2] Глухов А.П., Котяшев Н.Н., Купцов А.В. Оценка чувствительности ресурсов и рисков применения систем критических приложений к влияющим факторам. *Стратегическая стабильность*, 2007, № 1, с. 39–44.
- [3] Волков Е.Б., Норенко А.Ю. *Ракетное противостояние*. Москва, СИП РИА, 2002, 167 с.
- [4] Котяшев Н.Н., Лебедев П.Ф. Методы оценки параметров движения ЛА, инвариантные к погрешностям измерений и моделей движения. *Двойные технологии*, 2006, № 4, с. 32–38.
- [5] Лебедев П.Ф., Цыплаков Ю.В. Экспериментальная баллистика стратегических ЛА. В кн.: *Стратегическое ракетное вооружение. Книга 1*. Москва, 4 ЦНИИ, 2003, с. 261–278.
- [6] Казаков Г.В., Котяшев Н.Н., Лукин В.Л., Михайлов С.Н. О возможности отработки точности стрельбы баллистических ЛА при сниженных объемах экспериментальной отработки. *Стратегическая стабильность*, 2019, № 2, с. 37–42.
- [7] Галактионов В.С. *Дис. ... д-ра техн. наук*. МО СССР, 1983, 350 с.
- [8] Галактионов В.С., Котяшев Н.Н. Выбор маршрута разведения элементов оснащения баллистической ракеты как решение разомкнутой задачи коммивояжера. *Стратегическая стабильность*, 2014, № 3, с. 7–13.
- [9] Казаков Г.В., Котяшев Н.Н., Кунавин В.И. *Способ целераспределения для баллистических ЛА с разделяющимися головными частями (шифр «Либрация»)*. Патент на изобретение № 2561703, 2015.
- [10] Захаров В.Н., Котяшев Н.Н., Михайлов С.Н. О рациональном использовании располагаемых запасов топлива на ступени разведения баллистической ракеты. *Двойные технологии*, 2018, № 3, с. 40–46.
- [11] Петухов Г.Б., Якунин В.И. *Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем*. Москва, АСТ, 2006, 504 с.
- [12] Гараган С.А., Котяшев Н.Н. Оптимальное планирование процессов в системе подготовки и доведения данных управления ЛА. *Оборонная техника*, 1995, № 7, с. 53–56.
- [13] Казаков Г.В., Котяшев Н.Н., Спренгель А.В. Процессный подход к исследованию организационно-технических систем реального времени с конечным состоянием. *Труды 4 ЦНИИ МО РФ*, 2008, № 91, с. 18–28.
- [14] Изюмченко Л.А. *Дис. ... канд. техн. наук*. МО РФ, 1995, 130 с.
- [15] Соловьев Ю.С., Казаков Г.В. Баллистическое обеспечение ЛА Ракетных войск стратегического назначения. *Военная мысль*, 2016, № 6, с. 30–36.
- [16] Казаков Г.В., Котяшев Н.Н., Климов С.М. Об одном подходе к отработке и оценке надежности программного обеспечения комплекса средств подготовки данных ЛА. *Труды секции 22 XLII Академических чтений по космонавтике*. Москва, 2018, с. 450–458.
- [17] Андреев А.Г., Казаков Г.В., Котяшев Н.Н. Методический подход к оценке качества АСУ ВС и РВСН. *Труды 4 ЦНИИ Минобороны России*, 2018, вып. 128, т. 1, с. 7–19.
- [18] Андреев А.Г., Казаков Г.В., Соловьев Ю.С. Построение адекватной модели контроля реализуемости данных управления полетом летательных аппаратов. *Известия ВА РВСН имени Петра Великого*, 2018, вып. 280, с. 26–38.

Статья поступила в редакцию 25.07.2021

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Захаров В.Н., Казаков Г.В., Котяшев Н.Н. Оценка влияния факторов информационно-баллистического обеспечения пусков на реализуемость группировками летательных аппаратов своих функциональных задач. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2021, вып. 10.

<http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2021-10-2121>

**Захаров Владимир Николаевич** — д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБУ «4 ЦНИИ» Минобороны России. e-mail: [kgv.64@mail.ru](mailto:kgv.64@mail.ru)

**Казаков Геннадий Викторович** — канд. техн. наук, доцент, начальник управления ФГБУ «4 ЦНИИ» Минобороны России, почетный работник науки и техники Российской Федерации. e-mail: [kgv.64@mail.ru](mailto:kgv.64@mail.ru)

**Котяшев Николай Николаевич** — д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБУ «4 ЦНИИ» Минобороны России. e-mail: [kgv.64@mail.ru](mailto:kgv.64@mail.ru)

## Assessment of impact of information and ballistic launch support factors on mission realizability by aircraft formations

© V.N. Zakharov, G.V. Kazakov, N.N. Kotyashev

FSBI “The 4th Central Research Institute of the Ministry of Defence of the Russian Federation”, Korolyov, Moscow region, 141091, Russia

*Sensitivity plays an important role in the analysis and synthesis of technical systems no matter what complexity or purpose, that is in assessing their accuracy, determining and selecting tolerances for their parameters, or in any optimization process. One of the most important objectives of the information and ballistic launch support, along with the provision of launch data, is to increase the efficiency of aircraft in performing their missions. Therefore, it is of high relevance to assess the function of sensitivity and the function of influence of the information and ballistic launch support on the effectiveness of the functional performance of aircraft formations and ensure, at acceptable costs, the fullest use of their structural and ballistic capabilities. In this paper, we defined and evaluated functions of sensitivity and functions of influence of the main factors of information and ballistic launch support of aircraft launches on their functional performance as a formation. The degree of influence of information and ballistic support factors on the realizability of missions by aircraft formations is represented by numerical indicators. An integral indicator for assessing the impact of information and ballistic support factors on the performance indicators of aircraft formations has been formed as a weighted convolution of increments of partial indicators.*

**Keywords:** launch task, information and ballistic support, aircraft, flight tests, flight mission, aiming mark

### REFERENCES

- [1] Rosenwasser E.N., Yusupov R.M. *Chuvstvitel'nost' sistem upravleniya* [Sensitivity of control systems]. Moscow, Nauka Publ., 1981, 464 p.
- [2] Glukhov A.P., Kotyashev N.N., Kuptsov A.V. *Strategicheskaya stabilnost' — Strategic stability*, 2007, no. 1, pp. 39–44.
- [3] Volkov E.B., Norenko A.Yu. *Raketnoe protivostoyanie* [Missile confrontation]. Moscow, SIP RIA Publ., 2002, 167 p.
- [4] Kotyashev N.N., Lebedev P.F. *Dvoynnye tekhnologii — Dual technologies*, 2006, no. 4, pp. 32–38.
- [5] Lebedev P.F., Tsyplakov Yu.V. Eksperimental'naya ballistika strategicheskikh LA [Experimental ballistics of strategic aircraft]. In: *Strategicheskoe raketnoe vooruzhenie. Kniga 1* [Strategic missile weapons. Book 1]. Moscow, 4 TsNII Publ., 2003, pp. 261–278.
- [6] Kazakov G.V., Kotyashev N., Lukin V.L., Mikhaylov S.N. *Strategicheskaya stabilnost' — Strategic stability*, 2019, no. 2, pp. 37–42.
- [7] Galaktionov V.S. *Dis....dokt. tekhn. nauk* [Dr. Eng. Sc. Diss.]. USSR MoD, 1983, 350 p.
- [8] Galaktionov V.S., Kotyashev N.N. *Strategicheskaya stabilnost' — Strategic stability*, 2014, no. 3, pp. 7–13.

- [9] Kazakov G.V., Kotyashev N.N., Kunavin V.I. *Sposob tseleraspredeleniya dlya ballisticheskikh LA s razdeliyuschimisya golovnymi chastyami (shifr «Libratsiya»)* [Method of target distribution for ballistic aircraft with separating heads (code “Libration”)]. Patent RF no. 2561703, 2015.
- [10] Zakharov V.N., Kotyashev N.N., Mikhailov S.N. *Dvoynye tekhnologii — Dual technologies*, 2018, no. 3, pp. 40–46.
- [11] Petukhov G.B., Yakunin V.I. *Metodologicheskie osnovy vneshnego proektirovaniya tselenapravlennykh protsessov i tselestremlynykh sistem* [Methodological foundations of external design of targeted processes and goal-seeking systems]. Moscow, AST Publ., 2006, 504 p.
- [12] Garagan S.A., Kotyashev N.N. *Oboronnaya tekhnika (Defense technology)*, 1995, no. 7, pp. 53–56.
- [13] Kazakov G.V., Kotyashev N.N., Sprengel A.V. *Trudy 4 TsNII MO RF (Coll. Works of CRI 4 of RF MoD)*, 2008, no. 91, pp. 18–28.
- [14] Izyumchenko L.A. *Dis. ... cand. tekhn. nauk* [Cand. Eng. Sc. Diss.]. RF MoD, 1995, 130 p.
- [15] Soloviev Yu.S., Kazakov G.V. *Voennaya mysl — Military thought*, 2016, no. 6, pp. 30–36.
- [16] Kazakov G.V., Kotyashev N.N., Klimov S.M. Ob odnom podkhode k otrabotke i otsenke nadezhnosti programmnoho obespecheniya kompleksa sredstv podgotovki dannykh LA [On one approach to testing and evaluating the reliability of the software of the LA data preparation tools complex]. *Trudy seksii 22 XLII Akademicheskikh chteniy po kosmonavtike* [Proc. Sect. 22 XLII Acad. Readings in Cosmonautics]. Moscow, 2018, pp. 450–458.
- [17] Andreev A.G., Kazakov G.V., Kotyashev N.N. *Trudy 4 TsNII MO RF (Coll. Works of CRI 4 of RF MoD)*, 2018, no. 128, vol. 1, pp. 7–19.
- [18] Andreev A.G., Kazakov G.V., Soloviev Yu.S. *Izvestiya VA RVSN imeni Petra Velikogo (Bulletin of Military Academia of Strategic Missile Forces n. a. Peter the Great)*, 2018, no. 280, pp. 26–38.

**Zakharov V.N.**, Dr. Sc. (Eng.), Professor, Chief Research Fellow, FSBI “The 4th Central Research Institute of the Ministry of Defence of the Russian Federation”. e-mail: kgv.64@mail.ru

**Kazakov G.V.**, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Head of Department, FSBI “The 4th Central Research Institute of the Ministry of Defence of the Russian Federation”. e-mail: kgv.64@mail.ru

**Kotyashev N.N.**, Dr. Sc. (Eng.), Professor, Chief Research Fellow, FSBI “The 4th Central Research Institute of the Ministry of Defence of the Russian Federation”. e-mail: kgv.64@mail.ru