

УДК 623.74.094

**Вероятностная модель процесса преодоления
тактической авиационной группой армейской авиации
потенциально опасного района с применением беспилотного
летательного аппарата воздушного старта**

Козирацкий Ю. Л., Хильченко Р. Г., Зайцев А. С.

Постановка проблемы. Опыт вооруженных конфликтов последних лет показал, что в условиях быстро меняющейся обстановки на линии боевого соприкосновения, тактическим авиационным группам армейской авиации нередко приходится выполнять задачи по оперативному реагированию на возникающие угрозы со стороны противника, действуя в потенциально опасных районах, где возможна организация противником противовертолетных засад. Проблему информационного обеспечения при их преодолении предлагается решить посредством применения беспилотного летательного аппарата воздушного старта. Однако исследование предложенного способа информационного обеспечения предполагает наличие модели, воспроизводящей сложный многофакторный и высокодинамичный процесс преодоления вертолетами потенциально опасного района и учитывающей влияние ряда важных возникающих ситуаций (неуспешный воздушный старт, пропуск цели средствами разведки беспилотного летательного аппарата и другие) на результат рассматриваемого этапа полета. Такая модель должна лечь в основу методического аппарата оценки эффективности преодоления вертолетной группой потенциально опасного района, применяющей разведывательный беспилотный летательный аппарат воздушного старта и оснащенной различными средствами поражения. **Целью статьи** является разработка вероятностной модели процесса преодоления тактической авиационной группой армейской авиации потенциально опасного района с применением беспилотного летательного аппарата воздушного старта, позволяющей с вероятностных позиций оценить эффективность реализации предложенного способа с учетом возникающих значимых ситуаций. **Результаты:** Предложена комплексная четырехуровневая вероятностная модель (описательная → динамическая на основе графов состояний → аналитическая → компьютерная), описывающая процесс преодоления потенциально опасного района тактической авиационной группой армейской авиации, с учетом значимых возникающих ситуаций (отказ в работе оборудования беспилотного летательного аппарата, угроза средствами разведки беспилотного летательного аппарата пропущена, вскрытая средствами разведки беспилотного летательного аппарата угроза не подтверждена, подтвержденная угроза не уничтожена авиационными средствами поражения). **Новизна:** Переход от графа состояний к замкнутой аналитической форме осуществлялся через последовательное применение аппарата передаточных функций (преобразование Лапласа) с последующей факторизацией и сверткой звеньев. Посредством алгебраизации полумарковского процесса, позволяющей в явном виде (через обратное преобразование Лапласа) получить итоговое распределение вероятности преодоления потенциально опасного района, обеспечен переход от качественных оценок к количественным функциям распределения. Элементом новизны также является преодоление нормативных ограничений применения аналитической модели, когда «свертывание» передаточных функций становится математически некорректным или чрезмерно громоздким (в частности, при наличии циклов возврата или вариативности сценариев поражения). В этой связи предложен и

Библиографическая ссылка на статью:

Козирацкий Ю. Л., Хильченко Р. Г., Зайцев А. С. Вероятностная модель процесса преодоления тактической авиационной группой армейской авиации потенциально опасного района с применением беспилотного летательного аппарата воздушного старта // Системы управления, связи и безопасности. 2026. № 4. С. 67-87. DOI: 10.24412/2410-9916-2026-4-067-087

Reference for citation:

Koziratskiy Yu. L., Khilchenko R. G., Zaitsev A. S. A probabilistic model of the process by which a tactical aviation group of army aviation overcomes a potentially hazardous area using an air-launched unmanned aerial vehicle. Systems of Control, Communication and Security, 2026, no. 4, pp. 67-87 (in Russian). DOI: 10.24412/2410-9916-2026-4-067-087

строго обоснован альтернативный вычислительный контур на базе среды программирования MATLAB Simulink, который не дублирует аналитику, а заменяет этап «свертывания» прямым численным интегрированием стохастических дифференциальных уравнений в блоке SCOPE. Это позволяет получать идентичные вероятностно-временные зависимости без потери точности, что в инженерной практике моделирования боевых действий ранее не использовалось. **Практическая значимость:** Разработанная модель может быть использована при разработке способов огневого поражения противника тактическими авиационными группами армейской авиации при преодолении потенциально опасных районов, а также, в совокупности с другими моделями и методиками позволит сформировать перечень оперативно-тактических требований к системе вооружения вертолетов армейской авиации в части касающихся реализации рациональных способов поражения объектов противника, представляющих угрозу тактическим авиационным группам.

Ключевые слова: армейская авиация, вертолет, тактическая авиационная группа, беспилотный летательный аппарат воздушного старта, потенциально опасный район, вероятностная модель.

Актуальность

Опыт специальной военной операции наглядно показал, что использование вертолетов армейской авиации (АА) на поле боя по-прежнему актуально, поскольку они сохраняют высокую боевую мощь и оперативность.

Наибольшую эффективность при выполнении разноплановых огневых задач в интересах авиационной поддержки Сухопутных войск демонстрируют временные авиационные формирования смешанного состава – тактические авиационные группы (тагр), позволяющие включать в боевые порядки (многоцелевые группы), то есть авиационные комплексы, совместное применение которых существенно повышает эффективность выполнения поставленной боевой задачи в сложившейся оперативно-тактической обстановке.

Однако, в условиях быстро меняющейся обстановки на линии боевого соприкосновения, ее размытости, армейской авиации нередко приходится выполнять задачи по оперативному реагированию на возникающие угрозы со стороны противника без тщательного планирования, действуя в потенциально опасных районах (ПОР), где возможна организация противником противовертолетных засад с использованием переносных зенитных ракетных комплексов и стрелково-пушечного вооружения.

Противоречие в практике

Насыщение войск цифровыми системами разведки в значительной мере привело к тенденции повышения возможностей АА за счет интегрирования в ее работу информационных технологий и искусственного интеллекта, однако нерешенным остается вопрос заблаговременного и непрерывного информационного обеспечения тагр в условиях недостатка информации о наличии и возможностях противника по ведению противовертолетной борьбы. Используемые в настоящее время бортовые средства разведки зачастую не обладают необходимой оперативностью предоставления данных об объектах противника, представляющих угрозу вертолетам тагр. Следствием данной ситуации становится обстановка, в которой экипажи не располагают актуальной информацией о наличии угроз при преодолении ПОР и точном их местоположении с целью упреждающего огневого воздействия. Отсутствие достоверных разведанных

вынуждает либо отказаться от выполнения боевых задач, либо действовать в условиях повышенного риска, что неизбежно ведет к потерям и снижению эффективности применения АА в целом.

Все это указывает на противоречие в практике, выраженное с одной стороны – необходимостью успешного преодоления тагр АА ПОР, выполнив своевременное обнаружение и поражение противовертолетных засад, а с другой стороны недостаточной эффективностью реализации боевых возможностей подразделений АА по информационному обеспечению выполнения огневых задач.

Проблема информационного обеспечения вертолетов достаточно наглядно представлена отечественными специалистами В. В. Шипко, Е. А. Самойлиным, А. Б. Бельским [1], решение которой авторы видят в интеграции гиперспектральной аппаратуры в состав бортового комплекса, обеспечивающие повышение эффективности боевого применения вертолетов армейской авиации.

Вместе с тем для повышения оперативности принятия решений на упреждающее огневое воздействие перспективным направлением разрешения практического противоречия является реализация способа информационного обеспечения тагр АА на основе применения беспилотных летательных аппаратов воздушного старта [2-7].

Данный способ предполагает запуск аппаратов непосредственно с борта вертолетов в ходе выполнения боевой задачи до входа в ПОР с возможностью выдачи целеуказания с БпЛА экипажам тагр АА.

Применение БпЛА воздушного старта способно значительным образом повысить возможности группы по получению, обработке и использованию разведывательной информации в реальном времени, что позволит значительно сократить время реакции на обнаруженные цели, повысить точность поражения и снизить риски для летного состава. Кроме того, разработка и развитие автоматизированных систем управления БпЛА, подробно рассмотренных в работах С. И. Макаренко, К. В. Козлова [8] и М. С. Иванова, И. Е. Афолина, С. И. Макаренко [9], а также применение логико-лингвистических и нейросетевых алгоритмов распознавания целей, предложенных Д. С. Чировым и С. П. Хрипуновым [10] позволит в будущем экипажам не отвлекаться от пилотирования вертолетами.

Анализ возможности применения беспилотных летательных аппаратов воздушного старта

Следует отметить, что идея применения беспилотных летательных аппаратов воздушного старта в составе вертолетных групп не нова, что рассмотрено, в том числе, в ранних работах авторов [2-5]. Наиболее показательными примерами в мировом масштабе являются:

- американские испытания по запуску разведывательного БпЛА серии Altius с многоцелевого вертолета UH-60 Black Hawk с предельно малых высот (рис. 1а) [11]. Аппарат, разработанный компанией Area I, характеризуется компактными размерами, складной конструкцией крыла и возможностью трубного запуска;

- британская программа Hornets Nest, в рамках которой отработан запуск ударных БпЛА типа «FPV» с тяжелого транспортного вертолета Chinook через заднюю грузовую рампу (рис. 1б) [12]. Эти компактные аппараты, весом менее 1 кг, способны выполнять задачи различного рода: вести визуальную разведку с использованием тепловизионных камер, осуществлять радиоэлектронное подавление и наносить точечные удары;
- иранские разработки по адаптации легкой вертолетной авиации для запуска БпЛА с внешней подвески (рис. 1в) [13]. Беспилотный комплекс, запускаемый с легкого вертолета, оснащен оптико-электронной станцией наблюдения и может нести различные виды полезной нагрузки. Конструктивные особенности позволяют использовать аппарат как для разведки, так и для нанесения ударов по наземным целям;
- китайский проект БпЛА «Тянь-И» (SW-6), размещаемый на внешней подвеске вертолета Z-11WB (рис. 1г) [14]. Аппарат выполнен по нестандартной аэродинамической схеме с вытянутым фюзеляжем эллиптического сечения и складными консолями крыла, хвостовое оперение при этом отсутствует. При максимальной взлетной массе 20 кг БпЛА способен нести до 5 кг полезной нагрузки – оптико-электронную аппаратуру (видеокамеру и тепловизор высокого разрешения) или комплекс радиоэлектронной борьбы;
- отечественная разработка «Дань-М», запускаемая с вертолета Ми-8 с балочных держателей (рис. 1д) [15]. Первоначально создававшийся как воздушная мишень, аппарат был модернизирован для выполнения ударных задач.

Проведенный анализ показал, что применение беспилотных летательных аппаратов воздушного старта в составе тагр армейской авиации является технически реализуемой возможностью, логичным и высокоэффективным направлением развития, которое обеспечит повышение эффективности разведывательно-ударных действий на этапе пролета потенциально опасных районов [16].

Постановка задачи

Исследование предложенного способа информационного обеспечения предполагает наличие модели, воспроизводящей сложный многофакторный и высокодинамичный процесс преодоления тагр ПОР и учитывающей влияние ряда важных возникающих ситуаций (неуспешный воздушный старт, пропуск цели средствами разведки БпЛА и другие) на результат рассматриваемого этапа выполнения боевой задачи. Такая модель должна лечь в основу методического аппарата оценки эффективности преодоления тагр ПОР, применяющей разведывательный БпЛА воздушного старта и оснащенной различными средствами поражения. Поэтому **целью** настоящей статьи является разработка вероятностной модели процесса преодоления тагр АА ПОР с применением БпЛА воздушного старта, позволяющей с вероятностных позиций оценить эффективность реализации предложенного способа с учетом возникающих значимых ситуаций.



Рис. 1. Примеры применения БпЛА воздушного старта

Разработка комплексной вероятностной модели

Первоочередной задачей достижения заявленной цели является разработка описательной модели, отражающей последовательность действий тагр в процессе преодоления потенциально опасного района при реализации предложенного способа информационного обеспечения. Графическое представление описательной модели процесса преодоления тагр ПОР с применением БпЛА воздушного старта с учетом значимых возникающих ситуаций приведено на рис. 2.

Процесс начинается с приближения тагр АА к границе ПОР (подход к ПОР), после чего производится запуск БпЛА с борта вертолета. Если запуск прошел штатно, БпЛА переходит к поиску угроз в ПОР; в случае технического сбоя или отказа систем беспилотного летательного аппарата процесс переключается на сценарий, при котором тагр осуществляет преодоление ПОР с использованием только собственных (бортовых) средств обнаружения и защиты.

В зависимости от результатов поиска угроз возможны три варианта развития событий:

1. Если угроза не обнаружена, тагр безопасно преодолевает ПОР.
2. Если угроза обнаружена, активируется этап идентификации, на котором определяется тип, местоположение и уровень опасности угрозы.
3. Если в процессе поиска угроза была пропущена, тагр преодолевает район, но с повышенным риском.

В результате идентификации угрозы обнаруженный объект может быть не подтвержден как представляющий опасность, тогда процесс возвращается к фазе поиска для дальнейшего обнаружения угроз. Если угроза подтверждена, тагр наносит удар имеющимися средствами поражения по целеуказаниям с БпЛА. Производится анализ результатов атаки: в случае успешного поражения цели система снова возвращается к поиску других потенциальных угроз; если цель не поражена, тагр вынуждена перейти к преодолению района под угрозой сохраняющейся опасности.

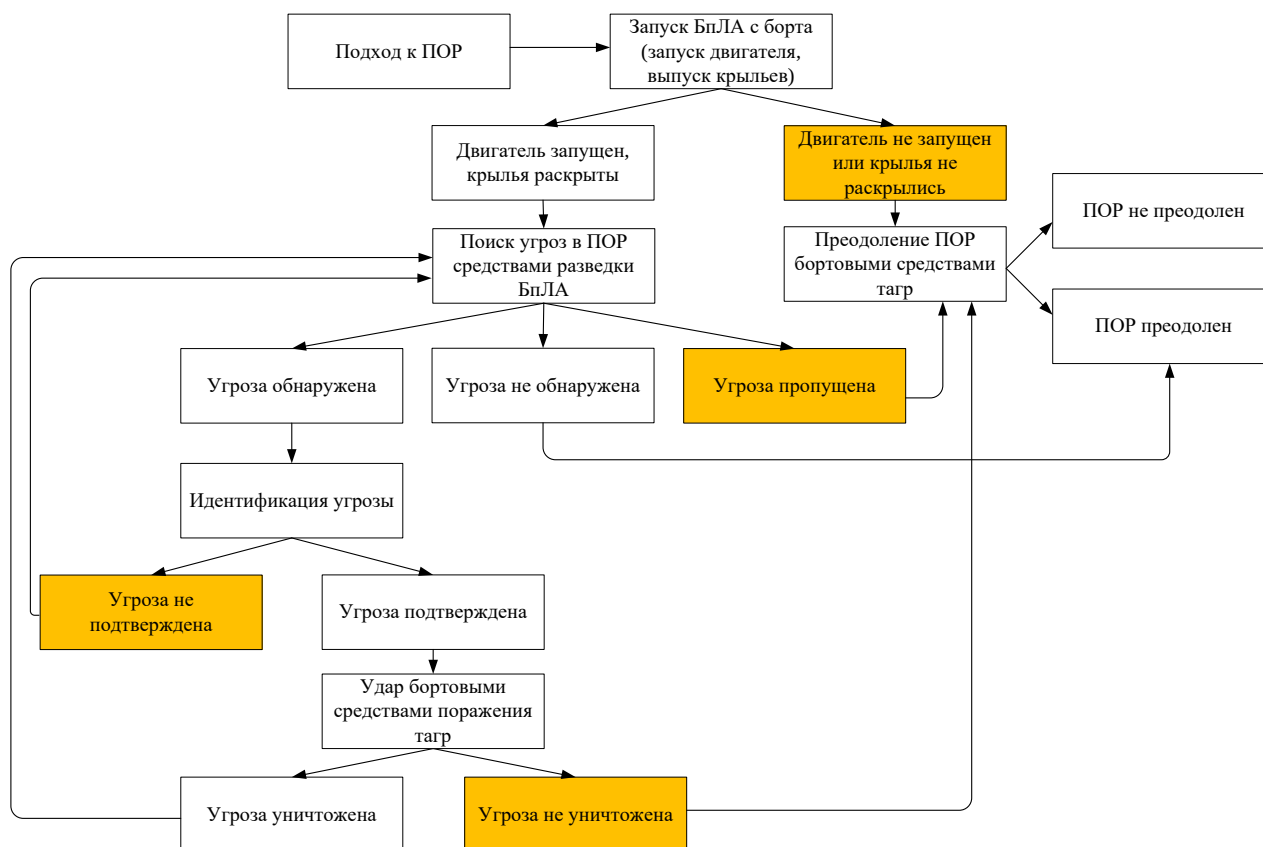


Рис. 2. Описательная модель процесса преодоления тагр АА ПОР с применением БпЛА воздушного старта с учетом значимых возникающих ситуаций

Финальными состояниями процесса являются два возможных исхода: «ПОР преодолен» (успешное завершение) или «ПОР не преодолен» (неудача, приводящая к срыву выполнения боевой задачи).

Важно отметить, что выделенные цветом блоки описательной модели (рис. 2) представляют собой значимые возникающие ситуации, которые до этого в подобных моделях, либо не учитывались, либо учитывались по-отдельности.

В целях создания математического инструмента для вероятностно-временной оценки результата преодоления ПОР предложенным способом с учетом выделенных значимых ситуаций, на основе описательной модели разработана динамическая модель в виде ориентированного графа состояний. При этом каждый этап или логическое условие исходной схемы представлен как отдельное дискретное состояние, а связи между ними – как направленные переходы, отражающие последовательность и возможные варианты развития событий. Полученная динамическая модель процесса преодоления тагр ПОР с применением БПЛА воздушного старта в виде графа состояний представлена на рис. 3.

Каждый переход представленного графа характеризуется вероятностью его осуществления $P_{i \rightarrow j}$, которая количественно отражает шанс того или иного исхода на определенном этапе, и плотностью вероятности $\varphi_{i \rightarrow j}(t)$ времени ожидания системы в текущем состоянии перед мгновенным переходом в следующее.

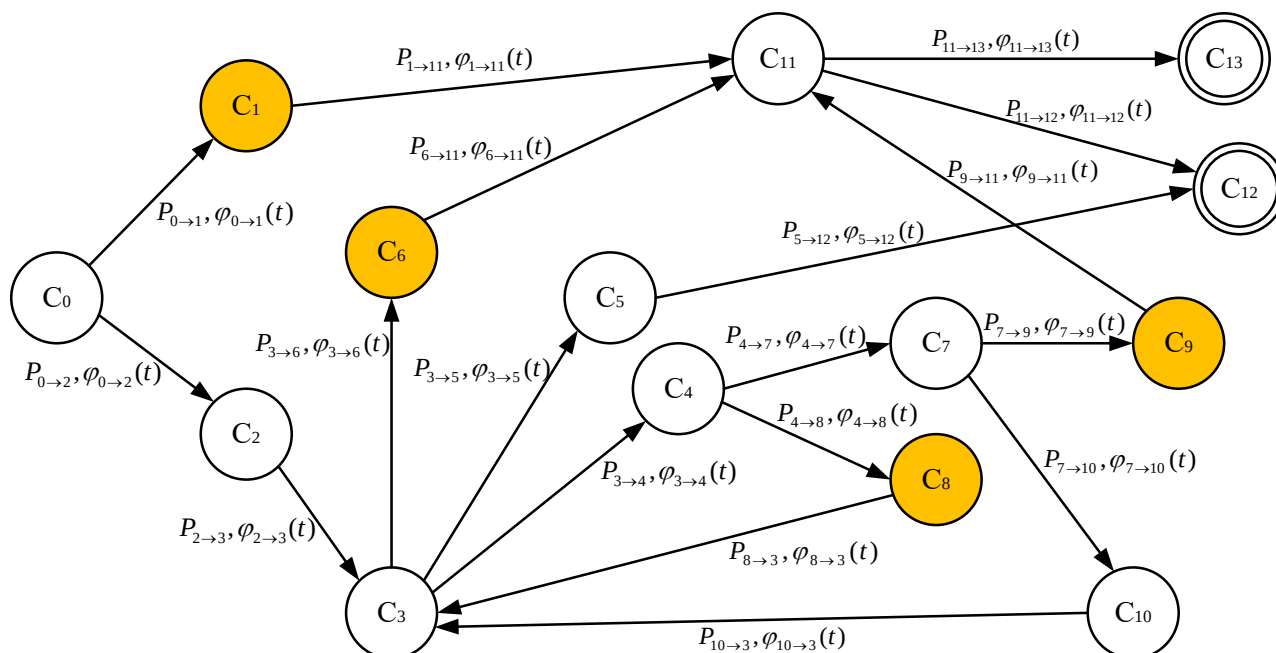


Рис. 3. Динамическая модель процесса преодоления тагр АА ПОР с применением БПЛА воздушного старта в виде ориентированного графа состояний

Исходная точка динамического представления (состояние C_0) соответствует начальному этапу операции: тагр находится вблизи потенциально опасного района и выполнила процедуру запуска БПЛА. Из этого состояния разви-

тие может пойти по одному из двух взаимоисключающих сценариев, что отражается в двух возможных переходах. Переход $C_0 \rightarrow C_1$ определяет негативный сценарий, при котором запуск БПЛА завершается аварией или отказом. Альтернативный переход ведет в состояние C_2 , которое представляет собой успешное завершение процедуры запуска.

При успешном запуске (переход $C_0 \rightarrow C_2$) процесс переходит в состояние C_3 , которое соответствует началу поиска угроз беспилотным летательным аппаратом. Из этого состояния исходит три вероятностных перехода, моделирующих возможные исходы фазы поиска угроз. Переход в состояние C_4 происходит в случае, когда бортовыми средствами БПЛА обнаружен объект, классифицируемый как потенциальная угроза. Переход в состояние C_5 соответствует сценарию, при котором проведенный поиск не выявил в районе каких-либо опасных объектов (угроз). Переход в состояние C_6 моделирует вариант, при котором угроза в поле зрения средств разведки БПЛА фактически присутствует, но по тем или иным причинам она остается не обнаруженной, то есть угроза пропущена.

Если в процессе моделирования система попадает в состояние C_4 (угроза обнаружена), запускается следующий этап – идентификация обнаруженного объекта. Переход в состояние C_7 происходит, когда последующий анализ информации подтверждает, что обнаруженный объект является угрозой. Переход в состояние C_8 , наоборот, определяет ситуацию ложного обнаружения. В случае подтверждения угрозы (переход $C_4 \rightarrow C_7$) следующим шагом является применение авиационных средств поражения тагр АА, в результате которого цель (угроза) может быть успешно поражена (C_{10}), либо удар оказался не эффективным (C_9).

Важным элементом построенной динамической модели, который вытекает из особенностей реального процесса, является наличие обратных связей, образующих замкнутые контуры в графе состояний. Эти контуры определяют возможность повторения определенных этапов операции. Например, если в процессе идентификации угроза не подтвердилась (состояние C_8), то есть район требует дальнейшего мониторинга, система возвращается к поиску угроз. Подобная логика применяется после успешного уничтожения угрозы (состояние C_{10}): поскольку возможны другие невыявленные цели, процесс также возвращается к этапу поиска угроз для продолжения разведки оставшейся части потенциально опасного района.

Все сценарии, которые в рамках описательной модели приводили к необходимости преодоления опасного района бортовыми средствами тагр АА, в динамической модели представлены переходами к состоянию C_{11} . Состояние C_{12} , в которое система может перейти из состояний C_{11} и C_5 , означает, что ПОР успешно преодолен. Переход $C_{11} \rightarrow C_{13}$, напротив, фиксирует неудачу.

На основе рекомендаций, приведенных в [17], предложенное описание исследуемого процесса в виде графа состояний и характеристик его переходов

дает возможность представить модель в форме передаточных функций (рис. 4). В основе такого представления лежит методический подход, заключающийся в применении преобразования Лапласа к вероятностно-временным характеристикам каждого перехода, что позволяет исследовать рассматриваемый процесс с точки зрения теории автоматического управления.

Применение преобразования Лапласа к плотности распределения времени перехода, умноженной на соответствующую вероятность, позволяет сформировать передаточную функцию перехода:

$$H_{i \rightarrow j}(s) = L_s \{ P_{i \rightarrow j} \cdot \varphi_{i \rightarrow j}(t) \} = P_{i \rightarrow j} \cdot \varphi_{i \rightarrow j}(s), \quad (1)$$

где: $L_s \{ \dots \}$ – оператор преобразования Лапласа, а $\varphi_{i \rightarrow j}(s)$ – изображение по Лапласу исходной плотности распределения времени $\varphi_{i \rightarrow j}(t)$.

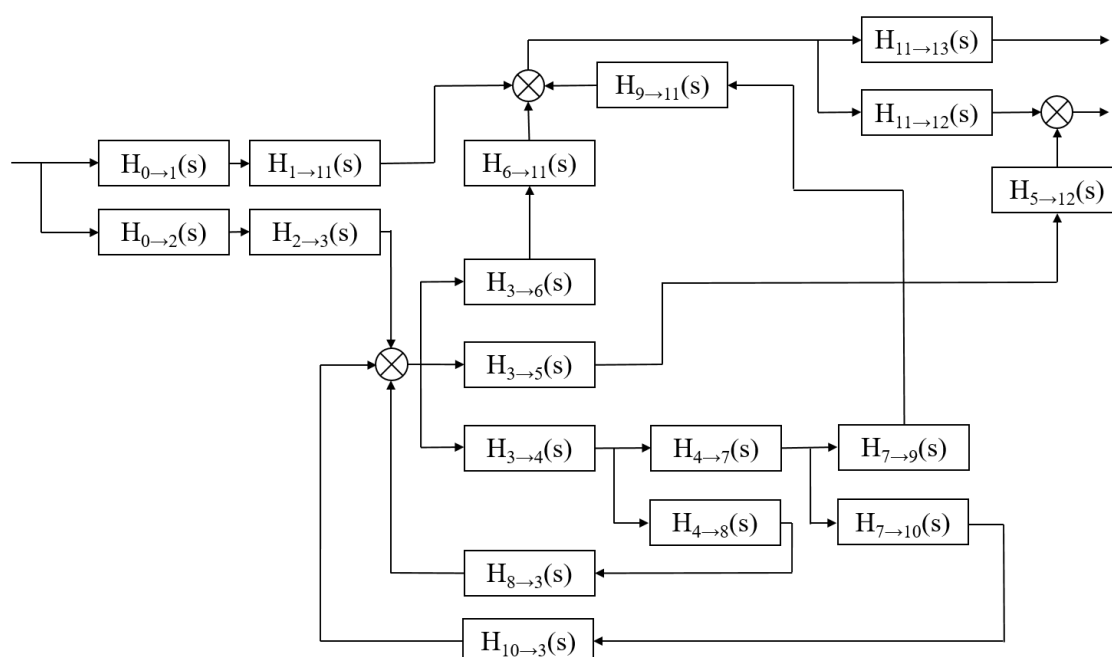


Рис. 4. Динамическая модель процесса преодоления тагр АА ПОР с применением БПЛА воздушного старта в форме передаточных функций

Получение математической модели процесса преодоления тагр АА ПОР с применением БПЛА воздушного старта представляет собой процесс сведения сложной динамической модели (рис. 4) к единому аналитическому выражению, основанный на правилах преобразования передаточных функций [18]. Разветвления, соответствующие различным исходам, отображаются в виде параллельных каналов прохождения сигнала. Сигналы, поступающие по этим каналам в общую точку (сумматор), объединяются, что соответствует сложению вероятностей достижения данного состояния различными путями. Последовательно расположенные этапы представляются в виде цепочки динамических звеньев, общая передаточная функция которых находится как произведение передаточных функций отдельных звеньев. Наличие замкнутых контуров, отражающих возможность возврата на предыдущие этапы, приводит к появлению в выраже-

нии итоговой передаточной функции дроби вида $1/[1-H(s)]$, где $H(s)$ – последовательность звеньев в цепи обратной связи.

В результате применения описанных правил преобразования к исходному графу состояний формируется единая передаточная функция, связывающая входное воздействие с выходными состояниями, представляющими конечные исходы процесса. Для решаемой задачи такими исходами являются успешное преодоление ПОР (C_{12}) и неблагоприятный исход, при котором ПОР не преодолен (C_{13}). Соответствующие выражения имеют вид:

$$H_{0 \rightarrow 12}(s) = W_1(s) \left[H_{3 \rightarrow 5}(s)H_{5 \rightarrow 12}(s) + H_{11 \rightarrow 12}(s) \left(H_{3 \rightarrow 6}(s)H_{6 \rightarrow 11}(s) + H_{3 \rightarrow 4}(s)H_{4 \rightarrow 7}(s)H_{7 \rightarrow 9}(s)H_{9 \rightarrow 11}(s) \right) \right] + H_{0 \rightarrow 1}(s)H_{1 \rightarrow 11}(s)H_{11 \rightarrow 12}(s), \quad (2)$$

$$H_{0 \rightarrow 13}(s) = H_{11 \rightarrow 13}(s) \left[H_{0 \rightarrow 1}(s)H_{1 \rightarrow 11}(s) + W_1(s) \times \left[H_{3 \rightarrow 6}(s)H_{6 \rightarrow 11}(s) + H_{3 \rightarrow 4}(s)H_{4 \rightarrow 7}(s)H_{7 \rightarrow 9}(s)H_{9 \rightarrow 11}(s) \right] \right], \quad (3)$$

$$\text{где: } W_1(s) = \frac{H_{0 \rightarrow 2}(s)H_{2 \rightarrow 3}(s)}{1 - H_{3 \rightarrow 4}(s)[H_{4 \rightarrow 8}(s)H_{8 \rightarrow 3}(s) + H_{4 \rightarrow 7}(s)H_{7 \rightarrow 10}(s)H_{10 \rightarrow 3}(s)]}.$$

Заключительным этапом является перевод выражений (2) и (3) от операторной формы представления к временной зависимости. Это осуществляется с помощью обратного преобразования Лапласа, которое позволяет по известной передаточной функции $H(s)$ восстановить функцию распределения времени достижения соответствующего состояния. Применяя данную процедуру, можно получить зависимости вероятности успешного выполнения задачи и вероятности поражения БПЛА от времени, что является основой для оценки эффективности тактики применения БПЛА воздушного старта [19]:

$$P_{0 \rightarrow 12(13)}(t) = L_s^{-1} \left\{ \frac{H_{0 \rightarrow 12(13)}(s)}{s} \right\}, \quad (4)$$

где: $L_s^{-1}\{\dots\}$ – оператор обратного преобразования Лапласа, позволяющий восстановить оригинал функции по ее изображению. Величины $P_{0 \rightarrow 12}(t)$ и $P_{0 \rightarrow 13}(t)$ представляют собой соответственно значения вероятности успешного преодоления тагр потенциального опасного района и вероятности ее поражения к заданному моменту времени t .

Полученные выражения (1) – (4) представляют собой вероятностную модель процесса преодоления тагр АА ПОР, позволяющую произвести количественную оценку эффективности рассматриваемого этапа боевого вылета вертолетов на основе применения БПЛА воздушного старта с учетом значимых возникающих ситуаций. Критерием корректности модели в данном случае выступает выполнение условия нормировки:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} [P_{0 \rightarrow 12}(t) + P_{0 \rightarrow 13}(t)] = 1, \quad (5)$$

для проверки которого будем считать, что время, как случайная величина, распределено по экспоненциальному закону:

$$\varphi_{i \rightarrow j}(t) = \lambda_{i \rightarrow j} \exp\{-\lambda_{i \rightarrow j} \cdot t\}, \quad (6)$$

где: $\lambda_{i \rightarrow j} = 1/\bar{T}_{i \rightarrow j}$ – интенсивности переходов, $\bar{T}_{i \rightarrow j}$ – среднее значение времени рассматриваемого перехода.

Для апробации разработанной модели и демонстрации ее работоспособности проведено компьютерное моделирование исследуемого процесса в среде программирования MATLAB Simulink, представляющей возможность визуализации структуры связей между элементами системы передаточных звеньев и проведения вычислительного эксперимента.

В среде MATLAB Simulink применен набор типовых блоков из библиотек «Sources» («Источники»), «Continuous» («Блоки непрерывных функций»), «Math Operations» («Математические операции») и «Sinks» («Приемники»), каждый из которых выполняет определенную функцию в соответствии с представленной на рис. 3 динамической моделью в виде графа состояний. Структура полученной компьютерной модели представлена на рис. 5.

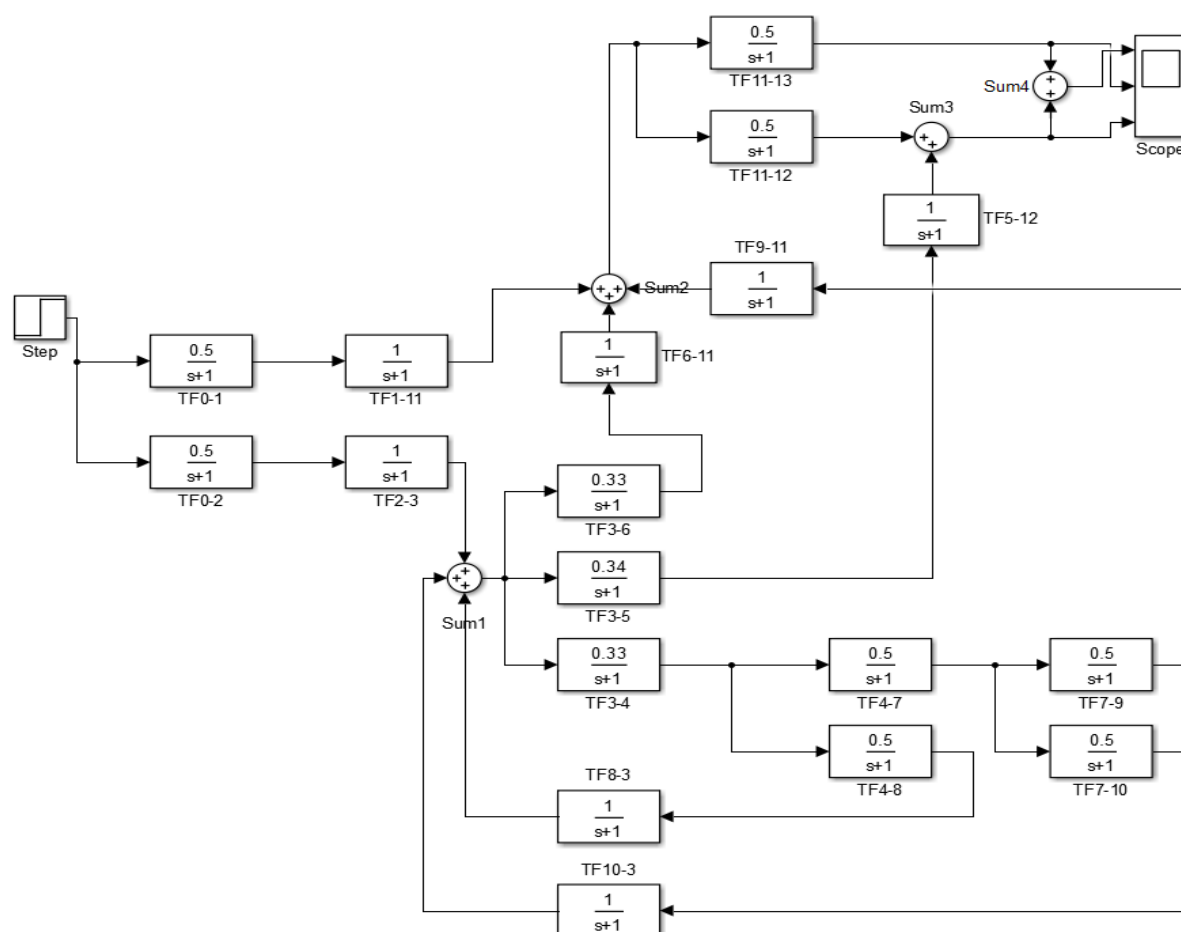


Рис. 5. Структура компьютерной модели процесса преодоления ПОР с использованием БПЛА воздушного старта в среде MATLAB Simulink

Блоки «Transfer Fcn» из библиотеки «Continuous» реализуют передаточные функции отдельных переходов $H_{i \rightarrow j}(s)$ и имеют индивидуальное обозначение « $TF_{i \rightarrow j}$ ». Настройка параметров блока осуществляется в его диалоговом окне, где в поле «Numerator coefficients» задается вектор коэффициентов числителя, а в поле «Denominator coefficients» – вектор коэффициентов знаменателя. При принятии допущения об экспоненциальном законе распределения времени передаточная функция принимает вид $H_{i \rightarrow j}(s) = P_{i \rightarrow j} \lambda_{i \rightarrow j} / (s + \lambda_{i \rightarrow j})$, что соответствует заданию числителя как $[P_{i \rightarrow j} \cdot \lambda_{i \rightarrow j}]$, а знаменателя как $[1, \lambda_{i \rightarrow j}]$.

Блоки «Sum» из библиотеки «Math Operations» выполняют функцию алгебраического суммирования сигналов, поступающих по различным каналам. Параметр «List of signs» позволяет задать количество входов и знаки операций для каждого из них. Эти блоки, обозначенные как «Sum1» – «Sum4», соответствует сложению вероятностей достижения данного состояния различными путями. В точках ветвления модели, где происходит разделение на несколько альтернативных исходов, сигнал направляется параллельно на соответствующие блоки «Transfer Fcn» с помощью элементов разветвления.

Блок «Step» из библиотеки «Sources» подает на вход модели единичное ступенчатое воздействие. В контексте решаемой задачи момент времени $t=0$, соответствующий фронту ступенчатого сигнала, интерпретируется как начало процесса преодоления потенциально опасного района, когда тактическая авиационная группа находится в исходном состоянии C_0 . В настройках блока параметр «Step time» устанавливается равным 0, «Initial value» – 0, «Final value» – 1, что обеспечивает формирование единичного скачка в начальный момент времени.

Блок «Scope» из библиотеки «Sinks» используется для визуализации полученных результатов. Данный блок позволяет наблюдать переходные процессы во временной области, отображая зависимости выходных сигналов модели от времени. Применительно к решаемой задаче с помощью «Scope» фиксируются зависимости вероятности успешного преодоления потенциально опасного района $P_{0 \rightarrow 12}(t)$ и вероятности поражения тактической авиационной группы $P_{0 \rightarrow 13}(t)$. Для повышения информативности использовано соединение «Sum4», объединяющее несколько сигналов в один, что позволяет наблюдать обе кривые на одном графике. Параметры отображения, такие как временной диапазон и пределы по оси амплитуд, настраиваются в окне настроек «Scope» для обеспечения наилучшей визуализации.

Преимуществом реализации модели в среде Simulink является возможность параметрического анализа: изменение значений вероятностей или интенсивностей переходов в блоках «Transfer Fcn» в интерактивном режиме влияет на изменение результирующих вероятностей исходов, отображаемых на графике, что существенно расширяет возможности анализа эффективности тактики применения беспилотных летательных аппаратов воздушного старта.

Используя в качестве исходных данных для моделирования значения вероятности $P_{i \rightarrow j}$ и среднего времени $\bar{T}_{i \rightarrow j}$ максимально приближенные к реаль-

ным условиям применения существующих образцов авиационной техники, была составлена таблица 1.

Таблица 1 – Значения вероятности и среднего времени переходов динамической модели процесса преодоления тагр АА ПОР с применением БпЛА воздушного старта

Переход	$0 \rightarrow 1$	$0 \rightarrow 2$	$1 \rightarrow 11$	$2 \rightarrow 3$	$3 \rightarrow 4$	$3 \rightarrow 5$	$3 \rightarrow 6$
$P_{i \rightarrow j}$	0,02	0,98	1,0	1,0	0,70	0,15	0,15
$\bar{T}_{i \rightarrow j}$	10	15	5	5	180	240	240
Переход	$4 \rightarrow 7$	$4 \rightarrow 8$	$7 \rightarrow 9$	$7 \rightarrow 10$	$8 \rightarrow 3$	$10 \rightarrow 3$	$9 \rightarrow 11$
$P_{i \rightarrow j}$	0,90	0,10	0,20	0,80	1,0	1,0	1,0
$\bar{T}_{i \rightarrow j}$	30	30	60	60	15	15	5
Переход	$6 \rightarrow 11$	$5 \rightarrow 12$	$11 \rightarrow 12$	$11 \rightarrow 13$			
$P_{i \rightarrow j}$	1,0	1,0	0,85	0,15			
$\bar{T}_{i \rightarrow j}$	5	30	120	60			

Запуск моделирования на основе данных таблицы 1 на интервале времени от 0 до 3000 с позволил наблюдать переходные процессы и получить искомые зависимости вероятностей интересующих исходов от времени. Зависимости вероятности успешного и безуспешного преодоления потенциально опасного района тактической авиационной группой АА с применением беспилотного летательного аппарата воздушного старта от времени выполнения задачи имеют вид, показанный на рис. 6.

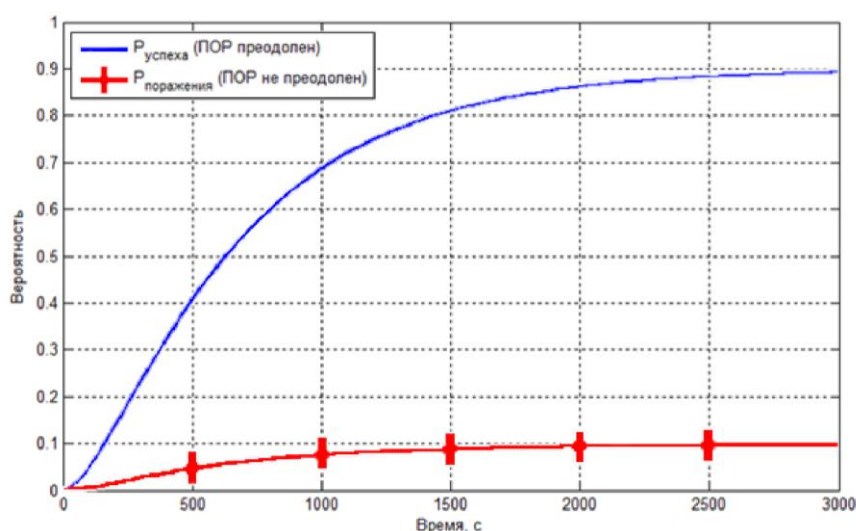


Рис. 6. Зависимости вероятности успешного преодоления ПОР и поражения тагр АА от времени при применении БпЛА воздушного старта

Представленные зависимости отражают следующие варианты исходов исследуемого процесса:

- 1) успешное преодоление ПОР (переход $C_0 \rightarrow C_{12}$):

$$P_{0 \rightarrow 12} = \lim_{t \rightarrow T_{\text{пр}}^{\text{max}}} (P_{0 \rightarrow 12}(t)) = 0,894 ; \quad (7)$$

2) не успешное преодоление ПОР (переход $C_0 \rightarrow C_{13}$):

$$P_{0 \rightarrow 13} = \lim_{t \rightarrow T_{\text{пр}}^{\text{max}}} (P_{0 \rightarrow 13}(t)) = 0,106 , \quad (8)$$

где: $T_{\text{пр}}^{\text{max}} = 3000$ с – максимальное значение времени, которое может быть затрачено на преодоление ПОР.

На основе полученных результатов можно сделать вывод о том, что для заданных исходных данных применение БПЛА воздушного старта в составе тагр АА при преодолении ПОР дает существенный (до 80%) прирост эффективности безопасного выхода вертолетов в район выполнения основной боевой задачи.

Однако достигнутый результат в виде вероятности $P_{0 \rightarrow 12}$ может рассматриваться, как показатель эффективности преодоления ПОР одним вертолетом тагр. Для оценки возможности преодоления ПОР всей группой может быть использован следующий методический подход.

Опираясь на понятие «допустимые потери тагр» (Δm_d), представим вероятность преодоления ПОР всей группой, как вероятность того, что число вертолетов, успешно преодолевших ПОР (m), больше, либо равно числу исходной численности вертолетов тагр (m_0) за вычетом допустимых потерь:

$$P_{\text{пр}} = P \{ m \geq m_0 - \Delta m_d \} . \quad (9)$$

Тогда, допуская, что m является случайной величиной, распределенной по закону Пуассона, что достаточно наглядно обосновано в [17, 19], вероятность преодоления тагр ПОР будет определяться выражением:

$$P_{\text{пр}} = \sum_{k=m_0-\Delta m_d}^{m_0} \frac{(P_{0 \rightarrow 12} m_0)^k}{k!} e^{-(P_{0 \rightarrow 12} m_0)} . \quad (10)$$

Выводы

Таким образом, в настоящей статье авторами решена задача моделирования сложного процесса преодоления тагр АА ПОР с применением БПЛА воздушного старта с учетом значимых возникающих ситуаций и предложен методический аппарат оценки эффективности преодоления ПОР всей группой вертолетов, в основе которого лежат полученные результаты моделирования.

Новизна полученных результатов заключается в следующем.

1. Предложена комплексная четырехуровневая вероятностная модель (описательная $\rightarrow$ динамическая на основе графов состояний $\rightarrow$ аналитическая $\rightarrow$ компьютерная), описывающая процесс преодоления потенциально опасного района тактической авиационной группой армейской авиации, с учетом значимых возникающих ситуаций (отказ в работе оборудования БПЛА, угроза средствами разведки БПЛА пропущена, вскрытая средствами разведки БПЛА угроз

не подтверждена, подтвержденная угроза не уничтожена авиационными средствами поражения).

2. Переход от графа состояний к замкнутой аналитической форме осуществлялся через последовательное применение аппарата передаточных функций (преобразование Лапласа) с последующей факторизацией и сверткой звеньев. Посредством алгебраизации полумарковского процесса, позволяющей в явном виде (через обратное преобразование Лапласа) получить итоговое распределение вероятности преодоления потенциально опасного района, обеспечен переход от качественных оценок к количественным функциям распределения.

3. Элементом новизны также является преодоление нормативных ограничений применения аналитической модели, когда «свертывание» передаточных функций становится математически некорректным или чрезмерно громоздким (в частности, при наличии циклов возврата или вариативности сценариев поражения). В этой связи предложен и строго обоснован альтернативный вычислительный контур на базе среды программирования MATLAB Simulink, который не дублирует аналитику, а заменяет этап «свертывания» прямым численным интегрированием стохастических дифференциальных уравнений в блоке SCOPE. Это позволяет получать идентичные вероятностно-временные зависимости без потери точности, что в инженерной практике моделирования боевых действий ранее не использовалось.

Очередным шагом в исследовании данной предметной области авторам видится методическое обоснование способов огневого поражения угроз тагр АА, выявленных БПЛА воздушного старта (переход $C_7 \rightarrow C_{10}$), существующим, либо перспективным вооружением вертолетов, что позволит в совокупности с другими моделями и методиками сформировать перечень оперативно-тактических требований к системе вооружения вертолетов армейской авиации в части касающихся реализации рациональных способов поражения объектов противника, представляющих угрозу тагр АА.

Литература

1. Шипко В. В., Самойлин Е. А., Бельский А. Б. Перспективы развития и применения бортовых комплексов вертолетов армейской авиации // Военная мысль. 2021. № 7. С. 78-87.

2. Хильченко Р. Г., Назарчук С. В., Зайцев А. С. Обоснование способа информационного обеспечения ударной вертолетной группы на основе применения БПЛА воздушного старта // Геоматика в задачах экологического и специального мониторинга с применением БПЛА: сборник научных статей XIII Научно-практической конференции «Молодежные чтения, посвященные памяти Ю. А. Гагарина» (13 мая 2026 г.). – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2026. – С. 154-163.

3. Хильченко Р. Г. О направлениях совершенствования способов боевого применения ударных авиационных групп армейской авиации в условиях комплексного противодействия со стороны противника // Труды Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского. 2025. № 696. С. 437-449.

4. Козирацкий Ю. Л., Бутузов В. В., Хильченко Р. Г. Живучесть вертолетов армейской авиации как один из основных факторов повышения боевых возможностей ударных вертолетных групп // Военная мысль. 2017. № 4. С. 19-25.

5. Семакин И. Г., Щербаков С. А., Романов И. Л., Носов А. А., Козирацкий Ю. Л., Кулешов П. Е., Хильченко Р. Г. Способ применения беспилотных летательных аппаратов воздушного старта // Патент на изобретение RU 2862201 C1, 18.05.2026. Заявка № 2025107715 от 27.03.2025.

6. Козирацкий Ю. Л., Донцов А. А., Иванцов А. В., Кильдюшевский В. М. Моделирование процесса боевого конфликта с участием пространственно-распределенной информационной подсистемы на воздушных дозорных носителях // Моделирование авиационных систем: материалы II Всероссийской научно-технической конференции (Москва, 21-22 ноября 2013 г.). – М.: ГНЦ РФ ФГУП ГосНИИАС, 2013. – С. 52-53.

7. Хильченко Р. Г. Имитационная модель процесса функционирования дозорного беспилотного летательного аппарата с учетом возможного радиоэлектронного и огневого противодействия // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021617992, 21.05.2021. Заявка № 2021615461 от 13.04.2021.

8. Макаренко С. И., Козлов К. В. Автоматизированная система управления беспилотными летательными аппаратами при совместном решении ими специальных задач // Системы управления, связи и безопасности. 2025. № 1. С. 131-155. DOI: 10.24412/2410-9916-2025-1-131-155.

9. Иванов М. С., Афонин И. Е., Макаренко С. И. Повышение устойчивости автоматизированной системы управления комплекса с беспилотными летательными аппаратами в условиях воздействия средств физического поражения и радиоэлектронного подавления // Системы управления, связи и безопасности. 2022. № 2. С. 92-134. DOI: 10.24412/2410-9916-2022-2-92-134.

10. Чиров Д. С., Хрипунов С. П. Интеллектуальные методы распознавания тактических ситуаций в условиях автономного применения робототехнических комплексов военного назначения // Вопросы безопасности. 2017. № 1. С. 22-34.

11. Why air launched effects and long-range missiles are critical to US Army // FlightGlobal [Электронный ресурс]. 07.08.2026. – URL: <https://www.flightglobal.com/flight-international/why-air-launched-effects-and-long-range-missiles-are-critical-to-us-army/137809.article> (дата обращения: 07.08.2026).

12. Королевские ВВС Великобритании впервые успешно запустили дроны-камикадзе с вертолета «Чинук» // Hi-Tech Mail: российский медиаресурс [Электронный ресурс]. 07.08.2026. – URL: <https://hi-tech.mail.ru/news/127042-korolevskie-vvs-velikobritanii-vpervye-uspeshno-zapustili-drony-kamikadze-s-vertolet-a-chinuk> (дата обращения: 07.08.2026).

13. В Иране показали новый БПЛА, ... // Telegram-канал «Военный обозреватель» [Электронный ресурс]. 07.08.2026. – URL: <https://t.me/milinfoolive/99418?ysclid=mi3hoz0bvvh661317797> (дата обращения: 07.08.2026).

14. Беспилотный летательный аппарат «Тянь И» / SW6 (Китай) // Военное обозрение: сетевое издание [Электронный ресурс]. 07.08.2026. – URL: <https://topwar.ru/103440-bespilotnyy-letatelnyy-apparat-tyan-i-sw6-kitay.html> (дата обращения: 07.08.2026).

15. Появилось первое видео применения нового дрона «Дань-М» с вертолета Ми-8 // Дзен: российская контентная платформа [Электронный ресурс]. 07.08.2026. – URL: <https://dzen.ru/a/aDltVUdGhATcfcz6?ysclid=mhca5zqevz227777077> (дата обращения: 07.08.2026).

16. Хильченко Р. Г., Неугомонов С. Р., Мусатов В. Н. Имитационная модель процесса функционирования дозорного беспилотного летательного аппарата с учетом возможного радиоэлектронного и огневого противодействия // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2021617992, 21.05.2021. Заявка № 2021615461 от 13.04.2021.

17. Козирацкий Ю. Л., Козирацкий А. Ю., Иванцов А. В. и др. Модели информационного конфликта средств поиска и обнаружения: монография / под ред. Ю. Л. Козирацкого. М.: Радиотехника. 2013. 232 с.

18. Ципкин Я. З. Основы теории автоматических систем. М.: Наука, 1977. 560 с.

19. Козирацкий Ю. Л., Донцов А. А., Иванцов А. В. и др. Модели пространственного и частотного поиска: монография / под ред. Ю. Л. Козирацкого. М.: Радиотехника, 2014. 344 с.

References

1. Shipko V. V., Samoilin E. A., Bel'skii A. B. Perspektivy razvitiia i primeneniia bortovykh kompleksov vertoletov armeiskoi aviatsii [Prospects for the development and application of onboard systems for army aviation helicopters]. *Military Thought*, 2021, no. 7, pp. 78-87 (in Russian).

2. Khilchenko R. G., Nazarchuk S. V., Zaitsev A. S. Obosnovanie sposoba informatsionnogo obespecheniya udarnoi vertoletnoi gruppy na osnove primeneniya BpLA vozdushnogo starta [Justification of the method for providing information support to a strike helicopter group based on the use of air-launched UAVs]. *Geomatika v zadachakh ekologicheskogo i spetsialnogo monitoringa s primeneniem BpLA: sbornik nauchnykh statei XIII Nauchno-prakticheskoi konferentsii "Molodezhnye chteniya, posvyashchennye pamyati Iu. A. Gagarina"* [XIII Scientific and Practical Conference "Youth Readings Dedicated to the Memory of Y. A. Gagarin"]. Voronezh, Military Educational and Scientific Center of the Air Force "N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy", 2026. pp. 154-163 (in Russian).

3. Khilchenko R. G. O napravleniyakh sovershenstvovaniya sposobov boevogo primeneniya udarnykh aviatsionnykh grupp armeiskoi aviatsii v usloviyakh kompleksnogo protivodeistviya so storony protivnika [On the directions for improving the methods of combat employment of attack aviation groups of army aviation in conditions of comprehensive countermeasures by the enemy]. *Proceedings*

of the A. F. Mozhaysky Military Space Academy, 2025, no. 696, pp. 437-449 (in Russian).

4. Koziratskiy Yu. L., Butuzov V. V., Khilchenko R. G. Zhivuchest' vertoletov armeiskoi aviatsii kak odin iz osnovnykh faktorov povysheniya boevykh vozmozhnostei udarnykh vertoletnykh grupp [The survivability of army aviation helicopters as one of the key factors in enhancing the combat capabilities of attack helicopter groups]. *Military Thought*, 2017, no. 4, pp. 19-25 (in Russian).

5. Semakin I. G., Shcherbakov S. A., Romanov I. L., Nosov A. A., Koziratskiy Yu. L., Kuleshov P. E., Khilchenko R. G. *Sposob primeneniya bespilotnykh letatelnykh apparatov vozdushnogo starta* [The method of using unmanned aerial vehicles with air-launch capability]. Patent Russia, no. RU 2862201 C1, 18.05.2026 (in Russian).

6. Koziratskiy Yu. L., Dontsov A. A., Ivantsov A. V., Kil'diushevskii V. M. Modelirovanie protsessa boevogo konflikta s uchastiem prostranstvenno-rasprelennoi informatsionnoi podsistemy na vozdushnykh dozornykh nositelyakh [Modeling the process of a combat conflict involving a spatially distributed information subsystem on aerial reconnaissance platforms]. *Modelirovanie aviatsionnykh sistem: materialy II Vserossiiskoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii* [II all-Russian scientific and technical conference]. Moscow, State Scientific Research Institute for Aviation Systems, 2013. pp. 52-53 (in Russian).

7. Khilchenko R. G. *Imitatsionnaya model' protsessa funktsionirovaniya dozornogo bespilotnogo letatel'nogo apparata s uchetom vozmozhnogo radioelektronnogo i ogneвого protivodeistviya. Svidetel'stvo ob ofitsial'noi registratsii programm dlya EVM* [A simulation model of the operational process of a patrol unmanned aerial vehicle, taking into account possible electronic warfare and firepower countermeasures. The Certificate on Official Registration of the Computer Program]. No. 2021617992, 2021.

8. Makarenko S. I., Kozlov K. V. Avtomatizirovannaya sistema upravleniya bespilotnymi letatel'nymi apparatami pri sovместnom reshenii imi spetsialnykh zadach [Automated control system for unmanned aerial vehicles when they jointly figure out combat missions]. *Systems of Control, Communication and Security*, 2025, no. 1, pp. 131-155. DOI: 10.24412/2410-9916-2025-1-131-155 (in Russian).

9. Ivanov M. S., Afonin I. E., Makarenko S. I. Povyshenie ustoychivosti avtomatizirovannoi sistemy upravleniya kompleksa s bespilotnymi letatel'nymi apparatami v usloviyakh vozdeistviya sredstv fizicheskogo porazheniya i radioelektronnogo podavleniya [Increasing stability of the control system of unmanned aerial vehicles in the conditions of fire damage and electronic warfare]. *Systems of Control, Communication and Security*, 2022, no. 2, pp. 92-134. DOI: 10.24412/2410-9916-2022-2-92-134 (in Russian).

10. Chirov D. S., Hripunov S. P. Intellekturnye metody raspoznavaniya takticheskikh situatsiy v usloviyakh avtonomnogo primeneniya robototekhnicheskikh kompleksov voennogo naznacheniya [Intelligent methods for recognizing tactical situations in the conditions of autonomous use of military robotic complexes]. *Security Issues*, 2017, no. 1, pp. 22-34 (in Russian).

11. Why air launched effects and long-range missiles are critical to US Army. *FlightGlobal*, 7 August 2026. Available at: <https://www.flightglobal.com/flight-international/why-air-launched-effects-and-long-range-missiles-are-critical-to-us-army/137809.article> (accessed 7 August 2026).

12. Korolevskie VVS Velikobritanii vpervye uspeshno zapustili drony-kamikadze s vertoleta "Chinuk" [The Royal Air Force has successfully launched kamikaze drones from a Chinook helicopter for the first time]. *Hi-Tech Mail*, 7 August 2026. Available at: <https://hi-tech.mail.ru/news/127042-korolevskie-vvs-velikobritanii-vpervye-uspeshno-zapustili-drony-kamikadze-s-vertoleta-chinuk> (accessed 7 August 2026) (in Russian).

13. V Irane pokazali novyi BpLA, ... [Iran has unveiled a new UAV, ...]. *Voennyyi obozrevatel'*, 7 August 2026. Available at: <https://t.me/milinfoLive/99418?ysclid=mi3hoz0bv661317797> (accessed 7 August 2026) (in Russian).

14. Bepilotnyi letatel'nyi apparat "Tian' I" / SW6 (Kitai) [The Tian Yi/SW6 unmanned aerial vehicle (China)]. *Voennoe obozrenie*, 7 August 2026. Available at: <https://topwar.ru/103440-bepilotnyy-letatelnyy-apparat-tyan-i-sw6-kitay.html> (accessed 7 August 2026) (in Russian).

15. Poiavilos' pervoe video primeneniia novogo drona «Dan'-M» s vertoleta Mi-8 [The first video showing the use of the new Dan-M drone from a Mi-8 helicopter has been released]. *Dzen*, 7 August 2026. Available at: <https://dzen.ru/a/aDltVUdGhATcfz6?ysclid=mhca5zqevz227777077> (accessed 7 August 2026) (in Russian).

16. Khilchenko R. G., Neugomonov S. R., Musatov V. N. *Imitatsionnaia model' protsessa funktsionirovaniia dozornogo bepilotnogo letatel'nogo apparata s uchetom vozmozhnogo radioelektronnogo i ogneвого protivodeistviia. Svidetel'stvo ob ofitsial'noi registratsii programm dlya EVM* [A simulation model of the operational process of a patrol unmanned aerial vehicle, taking into account possible electronic warfare and firepower countermeasures. The Certificate on Official Registration of the Computer Program]. No. 2021617992, 2021.

17. Koziratskiy Yu. L., Koziratskiy A. Yu., Ivantsov A. V. *Modeli informatsionnogo konflikta sredstv poiska i obnaruzheniia. Monografiia* [Models of information conflict in search and detection tools. Monography]. Moscow, Radiotekhnika Publ, 2013. 232 p. (in Russian).

18. Tsipkin Ia. Z. *Osnovy teorii avtomaticheskikh system* [Fundamentals of the Theory of Automatic Systems]. Moscow, Nauka Publ, 1977. 560 p. (in Russian).

19. Koziratskiy Yu. L., Dontsov A. A., Ivantsov A. V., *Modeli prostranstvennogo i chastotnogo poiska. Monografiia* [Models of spatial and frequency search. Monography]. Moscow, Radiotekhnika Publ, 2014. 344 p. (in Russian).

Статья отправлена 27 сентября 2026 г.
Одобрена после рецензирования 21 октября 2026 г.
Принята к публикации 21 октября 2026 г.

Информация об авторах

Козирацкий Юрий Леонтьевич – доктор технических наук, профессор. Профессор кафедры радиоэлектронной борьбы (и технического обеспечения частей радиоэлектронной борьбы). Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина». Область научных интересов: конфликтология в радиоэлектронной борьбе, развитие перспективных военных технологий информационного обеспечения радиоэлектронного поражения и радиоэлектронной защиты. E-mail: urleo13@bk.ru

Хильченко Роман Геннадьевич – доктор военных наук. Доцент кафедры наземных систем комплексов воздушной разведки. Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина». Область научных интересов: эффективность комплексного (радиоэлектронного и огневого) поражения противника в условиях активного противодействия. E-mail: hrg-1984@yandex.ru

Адрес: 394052, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, д. 54А.

Зайцев Андрей Сергеевич – соискатель ученой степени кандидата военных наук. Старший преподаватель 2 кафедры боевого применения авиационного вооружения. Сызранское высшее военное авиационное училище летчиков. Область научных интересов: вертолеты, боевое применение авиационного вооружения, информационное обеспечение вертолетов. E-mail: andrztstv@mail.ru

Адрес: 446007, Россия, г. Сызрань, ул. Маршала Жукова, д. 1.

A probabilistic model of the process by which a tactical aviation group of army aviation overcomes a potentially hazardous area using an air-launched unmanned aerial vehicle

Yu. L. Koziratskiy, R. G. Khilchenko, A. S. Zaitsev

Purpose. The experience of armed conflicts in recent years has shown that, in conditions of rapidly changing combat situation along the line of contact, tactical aviation groups of army aviation often have to carry out tasks involving prompt response to emerging threats from the enemy, operating in potentially dangerous areas where the enemy may set up anti-helicopter ambushes. The problem of information support in overcoming these challenges is proposed to solve by using an air-launched unmanned aerial vehicle. However, the study of the proposed method of information provision assumes the existence of a model that reproduces the complex, multifactorial, and highly dynamic process of helicopters overcoming a potentially hazardous area and takes into account the influence of a number of important emerging situations (unsuccessful air start, missed targets by reconnaissance means of an unmanned aerial vehicle, etc.) on the outcome of the flight stage under consideration. Such a model should form the basis of a methodological framework for assessing the effectiveness of a helicopter group overcoming a potentially hazardous area using an air-start reconnaissance unmanned aerial vehicle and equipped with various weapons. The purpose of the article is to develop a probabilistic model of the process by which a tactical aviation group of army aviation overcomes a potentially hazardous area using an air-launched unmanned aerial vehicle, which will make it possible to assess the effectiveness of implementing the proposed method from a probabilistic perspective, taking into account the significant situations that may arise. **Results.** A comprehensive four-level probabilistic model has been proposed (descriptive → dynamic model based on state graphs → analytical → computer-based), which describes the process of overcoming a potentially hazardous area by a

tactical air group of army aviation, taking into account significant emerging situations (failure of unmanned aerial vehicle equipment, missed threat detected by unmanned aerial vehicle reconnaissance, unconfirmed threat detected by unmanned aerial vehicle reconnaissance, confirmed threat not destroyed by air-based weapons). **Novelty.** The transition from the state graph to a closed analytical form was carried out through the sequential application of the apparatus of transfer functions (Laplace transform), followed by factorization and convolution of the elements. By means of the algebraicization of the semi-Markov process, which makes it possible to obtain the final probability distribution of overcoming a potentially hazardous area in an explicit form (via the inverse Laplace transform), the transition from qualitative assessments to quantitative distribution functions was ensured. An element of novelty is also overcoming the regulatory limitations on the use of the analytical model when the "convolution" of transfer functions becomes mathematically incorrect or excessively cumbersome (in particular, in the presence of feedback loops or variability in failure scenarios). In this regard, an alternative computational loop based on the MATLAB Simulink programming environment has been proposed and rigorously substantiated; it does not duplicate the analytical approach but replaces the "convolution" stage with direct numerical integration of stochastic differential equations in the SCOPE block. This makes it possible to obtain identical probabilistic-temporal dependencies without losing accuracy, which has not previously been used in engineering practice for modeling combat operations. **Practical relevance.** The developed model can be used in developing methods for engaging the enemy with fire by tactical aviation groups of army aviation when overcoming potentially hazardous areas; additionally, when combined with other models and methodologies, it will make it possible to formulate a list of operational and tactical requirements for the armament system of army aviation helicopters, specifically regarding the implementation of rational methods for engaging enemy targets that pose a threat to tactical aviation groups.

Key words: army aviation, helicopter, tactical aviation group, air-launch unmanned aerial vehicle, potentially hazardous area, probabilistic model.

Information about Authors

Yuriy Leontievich Koziratskiy – Dr. habil. of Engineering Sciences, Full Professor. Professor at the Department of Electronic Warfare (and Technical Support of Electronic Warfare Units). Military educational scientific center air force "air force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin". Field of research: conflictology in electronic warfare; development of promising military technologies for information support of electronic attack and electronic protection. E-mail: urleo13@bk.ru

Roman Gennadievich Khilchenko – Dr. habil. of Military Sciences. Associate Professor at the Department of Ground-Based Systems of Airborne Reconnaissance Systems.). Military educational scientific center air force "air force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin". Field of research: the effectiveness of integrated (electronic warfare and firepower) engagement of the enemy under conditions of active countermeasures. E-mail: hrg-1984@yandex.ru

Address: 394064, Russia, Voronezh, Old Bolsheviki str. 54A.

Andrei Sergeevich Zaitsev – Doctoral Student. Senior Lecturer at the 2nd Department of Combat Use of Aviation Weapons. Syzran Air Force School. Field of research: helicopters; combat use of aviation weapons; information support for helicopters. E-mail: andrztstv@mail.ru

Address: 446007, Russia, Syzran, Marshala Zhukova str, 1.