

Н.Ю.Комраков, кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
С.Ю.Коростелев, кандидат технических наук

Автоматизированная информационно-расчетная система для прогнозирования характеристик уязвимости летательных аппаратов

Статья посвящена обоснованию необходимости разработки автоматизированной информационно-расчетной системы для прогнозирования характеристик уязвимости летательных аппаратов к действию поражающих факторов боеприпасов. Приведены структура и принципы построения автоматизированной информационно-расчетной системы.

Основные направления совершенствования методического аппарата исследования уязвимости летательных аппаратов (ЛА) определяются, в первую очередь, теми противоречиями, которые появляются в практике проектирования огневых средств ПВО и разработки исходных данных для теоретической оценки законов поражения ЛА. Под уязвимостью ЛА понимается свойство цели, характеризующее степень ее чувствительности к воздействию поражающих факторов боеприпасов [1].

Методический аппарат (M_Y) разработки характеристик уязвимости летательных аппаратов представляет собой совокупность взаимосвязанных теоретических и экспериментальных методов (методик, моделей), обеспечивающих с заданным качеством ($K_{Y_{зад}}$) отображение множества данных (X_1) о характеристиках ЛА как объектов поражения и множества данных (X_2) о характеристиках средств поражения и условиях их воздействия по летательному аппарату на множество характеристик уязвимости (Ω_S) при ограничениях на время разработки прогноза ($t_{зад}$) и ресурсы ($C_{Y_{зад}}$):

$$M_Y: X_1 \times X_2 \rightarrow \Omega_S$$

при $K_Y K_{Y_{зад}}, t_Y \leq t_{Y_{зад}}, C_Y \leq C_{Y_{зад}}$.

Разработка исходных данных по уязвимости ЛА проводится, как правило, при дефиците информации об их облике и характери-

сти в условиях неопределенности, характерных для развития процессов поражения летательных аппаратов при воздействии по ним поражающих факторов боеприпасов. Разработка исходных данных связана с необходимостью анализа большого объема информации, проведения расчетов, математических и физических экспериментов, экспертных оценок, принятия решений в условиях неопределенности. Такую работу способен провести подготовленный исследователь, обладающий определенной базой знаний и навыками по использованию имеющейся в банках данных информации по облику и характеристикам ЛА, их зарубежным и отечественным аналогам, критериям поражения, особенностям и количественным оценкам процессов поражающего действия по ним поражающих факторов боеприпасов. Трудоемкость разработки исходных данных по уязвимости летательных аппаратов без доработки методического аппарата по американским оценкам составляет [2]:

- самолет-бомбардировщик – 10 человеко/месяцев;
- самолет-истребитель – 6 человеко/месяцев;
- крылатая ракета – 2 человеко/месяца.

Увеличивается количество ЛА, применительно к которым разрабатываются исходные данные по уязвимости. Существенно усложняются и сами цели. Если к концу 70-х годов ис-

ходные данные цели включали не более 20-ти исходных отсеков, поражаемых при взрыве осколочно-фугасной боевой части различными видами поражающего действия, то в современных исходных данных их число может превышать 50. Следовательно, увеличивается пропорционально объем оцениваемых параметров. Если тридцать лет назад исходные данные по уязвимости ЛА разрабатывались к действию только осколочно-фугасных боевых частей, то в настоящее время и к действию боевого снаряжения малогабаритных зенитных управляемых ракет, стержневых и других типов боевых частей (БЧ).

Таким образом, исходные данные по уязвимости ЛА, для обеспечения проведения теоретических оценок эффективности стрельбы на различных этапах создания и эксплуатации огневых комплексов ПВО и их боевого снаряжения, должны представлять собой иерархическую систему понятий, частных и обобщенных показателей, параметров и функций, структурно и функционально изменяющуюся, адекватно развитию ЛА и огневых средств борьбы с ними.

Вместе с тем число специалистов, привлекаемых к разработке исходных данных по уязвимости ЛА, как в головном научно-исследовательском учреждении, так и в организациях-контрагентах за последнее время уменьшилось в несколько раз.

Поэтому, с одной стороны, возрастают объем и сложность информации, которую необходимо анализировать и дополнять при разработке исходных данных по уязвимости ЛА, а, с другой стороны, уменьшаются необходимые для этого возможности. Кроме этого, технология разработки исходных данных, опирающаяся на высококвалифицированных специалистов и использование их знаний и опыта, за последние десятилетия практически не изменилась, за исключением создания баз данных по отдельным аспектам исследований.

Для разрешения этого противоречия, в условиях сокращения числа исследователей,

работающих по этой проблеме, ограничения ресурсов, выделяемых на разработку исходных данных по уязвимости, существенной эвристической составляющей этого процесса, необходимо, опираясь на имеющиеся значительный опыт и информационную базу, уменьшить трудоемкость разработки и требования к квалификации разработчиков исходных данных. Для этого должен быть автоматизирован сам процесс разработки исходных данных с использованием современных информационных технологий и вычислительных средств.

Таким образом, целью данной статьи является обоснование необходимости автоматизации процесса прогнозирования характеристик уязвимости летательных аппаратов и разработка предложений по ее осуществлению.

Автоматизация процесса прогнозной оценки характеристик уязвимости ЛА может быть решена путем создания автоматизированной информационно-расчетной системы (АИРС) с элементами искусственного интеллекта, которая должна включать как структурированные и формализованные информационные базы по информационно-описательным моделям ЛА как объектам поражения, критериям их поражения, закономерностям поражающего действия боеприпасов по ЛА, так и базу знаний для решения неопределенных и плохо структурированных задач на основе дедуктивных рассуждений с привлечением эвристик.

Для определения структуры АИРС и принципов ее построения необходимо проанализировать технологию исследований и прогнозирования характеристик уязвимости ЛА. Для прогнозирования характеристик уязвимости на первом этапе исследований необходимо разработать прогнозную модель облика ЛА как объекта поражения. Информационной основой для этого является база данных (БД) по информационно-описательным моделям (ИОМ) ЛА, содержащая структурированные сведения как об объекте поражения, так и

близких к нему по характеристикам аналогов. Сведения, содержащиеся в БД по ИОМ, могут быть неполными, противоречивыми, содержать как вполне достоверную, так и недостоверную информацию.

Разработка прогнозной модели облика ЛА как объекта поражения представляет собой процесс, заключающийся в преобразовании исходного описания объекта в окончательное описание на основе выполнения комплекса работ исследовательского, расчетного и конструкторского характера.

Преобразование исходного описания в окончательное порождает промежуточные описания (прогнозные решения), которые являются предметом рассмотрения с целью определения окончания прогнозирования или выбора путей его продолжения.

Поражающие факторы боеприпасов воздействуют, как правило, по отдельным отсекам (агрегатам) ЛА. А результат воздействия оценивается по состоянию ЛА в целом. Это обстоятельство определяет структуру исходных данных по уязвимости, а также необходимость структурированного описания и расчленения представлений об объекте прогнозирования на иерархические уровни и аспекты. Разделение описаний по степени детализации отображаемых свойств и характеристик объекта лежит в основе блочно-иерархического подхода к прогнозированию и приводит к появлению иерархических уровней (уровней абстрагирования) в представлениях о прогнозируемом объекте.

Таким образом, в основе разработки АИРС лежит принцип иерархичности, означающий структурированное представление об объектах прогнозирования по степени детальности описаний, и принцип декомпозиции – разбиение представлений каждого уровня на ряд составных частей с возможностью отдельного прогнозирования их характеристик.

Так блочно-иерархическая структура автоматизированной бортовой системы управления полетом (АБСУП) описывается следую-

щим образом. В качестве элемента низшего уровня системы выбирается агрегат, обладающий следующими свойствами:

- выполнен в едином конструктиве и имеет геометрию и компоновку, при которых для оценки вероятностных характеристик его поражения можно использовать известный математический аппарат;
- выполняет минимально необходимые функции, которые могут быть математически описаны.

Результат воздействия поражающих факторов оценивается, в конечном счете, не по состоянию собственно управляющей системы и ее агрегатов, а по состоянию летательного аппарата, обладающего свойствами, которые придает ему функционирующая на борту АБСУП. Причем ее состояние должно описываться такими показателями, которые можно связать с элементами, характеризующими конечную цель воздействия среды по ЛА. Эти обстоятельства определяют верхний (по вертикали) уровень системы как объекта поражения, который может быть определен категориями «управляемый летательный аппарат», «авиационный комплекс» и т.п.

На промежуточных вертикальных уровнях, в частности на уровне системы, оценивается состояние агрегатов с учетом их сопряжения, а, следовательно, и системы в целом. На уровне объекта управления определяется реакция ЛА, выраженная в летно-технических категориях, например, уровень пилотажных характеристик. Таким образом, при прогнозировании характеристик уязвимости АБСУП выделяется четыре иерархических уровня: уровень агрегатов, уровень системы, уровень объекта управления и уровень ЛА.

При выборе границ по горизонтали критерием принадлежности элементов к АБСУП как объекту поражения является наличие у них общей цели, общего назначения и участия данного элемента в процессе, приводящем к получению результата. Исходя из этих соображений, в состав уязвимых агрегатов АБСУП включаются распределительные

устройства системы электроснабжения и гидромагистрالی до отсекающего клапана, которые непосредственно энергетически обеспечивают функционирование собственно агрегатов АБСУП.

Кроме расчленения описаний по степени подробности отражения свойств объекта, порождающего иерархические уровни, используется декомпозиция описаний по характеру отображаемых свойств объекта. Так, применительно к АБСУП на трех низших уровнях использован принцип стратифицированного описания и ее представление семейством относительно самостоятельных технической, ресурсной, организационной и функциональной структур, в рамках которых изучается и прогнозируется процесс поражения агрегатов, системы и объекта управления. Для их формализованного описания используются унифицированные математические схемы (агрегативные модели функционирования системы как объекта поражения).

В технической структуре определяются координаты центра отсека в целевой системе, геометрическая форма, линейные размеры и т.п., необходимые для вероятностной оценки параметров поля поражения, воздействующего на агрегаты.

В рамках ресурсной структуры определяются состояния агрегатов системы как потребителей различных видов энергии, в основном электрической и гидравлической. Поэтому агрегаты, функционально слабо связанные или даже вообще не связанные, но энергетически зависимые (входящие в один фидер, подключенные к одному распределительному устройству), следует рассматривать как уязвимые агрегаты системы управления, так же как и коммутационно-защитное устройство фидера.

В организационной структуре определяются режимы функционирования поврежденного и неповрежденного агрегатов и системы в целом с учетом ее способности к самоорганизации, диагностике состояния (работоспособности) агрегатов и в зависимости от

уровня механического ущерба и ресурсообеспечения.

В рамках функциональной структуры формируется собственно управляющий сигнал системы, определяемый ее функциональным назначением в зависимости от уровня повреждения, ресурсного и организационного состояния агрегатов.

Аспекты определяются не только свойствами объекта прогнозирования, но и физическими эффектами, которые имеют место при воздействии по ним поражающих факторов боеприпасов.

Разработка прогнозной модели облика ЛА как объекта поражения представляет собой процесс, который структурируется посредством прогнозных процедур и прогнозных операций. Прогнозная процедура заканчивается получением прогнозного решения. Прогнозные операции являются более мелкими составными частями процесса прогнозирования, входящими в состав прогнозных процедур. Прогнозная процедура определяется как совокупностью прогнозных процедур, так и решением по определенным правилам задачи выбора лучшей альтернативы.

Если при наличии информации о системе сведения о ее элементах носят предположительный характер, то процесс прогнозирования является нисходящим, в противном случае – восходящим. На практике обычно сочетаются восходящее и нисходящее прогнозирование. Причем, поскольку прогнозные решения в процессе прогнозирования могут не оправдываться, часто требуется повторное выполнение прогнозных процедур предыдущих этапов после выполнения прогнозных процедур последующих этапов. Такие повторения обуславливают итерационный характер прогнозирования. Поэтому итерационность является необходимым принципом построения АИРС по прогнозированию характеристик уязвимости ЛА.

Важным принципом построения АИРС является типизация и унификация прогнозных решений и средств прогнозирования. Исполь-

зование этого принципа позволяет упростить и ускорить процесс прогнозирования. Примером типизации прогнозных решений могут быть базы данных по прогнозным оценкам параметров облика типовых элементов ЛА или рассчитанных заранее зависимостей. Примером унификации прогнозных процедур и операций могут служить расчетные алгоритмы для оценки вероятностей поражения типовых элементов при заданных значениях параметров поражающих факторов, операции по построению графических функций одного или нескольких аргументов.

Типовые процедуры и операции должны структурироваться. По функциональному назначению различаются прогнозные процедуры структурного и параметрического синтеза, заключающиеся в определении перечня типов элементов, способа связи между ними в составе объекта и в определении значений параметров элементов при заданной структуре и условиях работоспособности, а также процедуры анализа, заключающиеся в исследовании свойств объекта и его работоспособности в некоторой области пространства внутренних параметров. По способу представления свойств объекта типовые процедуры и операции делятся на формальные (аналитические, алгоритмические, имитационные) и неформальные, для применения которых необходимо привлечение специалиста (эксперта).

При использовании АИРС для прогнозирования характеристик уязвимости ЛА могут разрабатываться новые операции и процедуры или модифицироваться известные. Включение их в число типовых возможно только после проверки адекватности.

Последовательность применения прогнозных процедур и операций определяется маршрутами прогнозирования. Маршруты имеют разветвленную структуру. Причем последовательность дальнейших действий (выбор пути) в каждом узле маршрута определяется по логическим правилам. Как в самих маршрутах, так и в правилах следования

по маршрутам отражен накопленный опыт прогнозирования характеристик уязвимости ЛА. Логические правила могут быть многовариантными, нечеткими. Следовательно, многовариантными могут быть и прогнозные решения, в том числе и относительно прогнозного облика ЛА как объекта поражения.

Прогнозный облик ЛА, базы данных по критериям поражения целей, закономерностям поражающего действия боеприпасов по их агрегатам составляют информационную основу для прогнозирования исходных данных по уязвимости ЛА. При этом могут использоваться те же типовые прогнозные решения, процедуры и описания, что и при прогнозировании облика ЛА. Отличительной особенностью маршрутизации процесса прогнозирования и правил следования по маршруту может быть вывод о необходимости проведения дополнительных экспериментальных исследований по уточнению критериев поражения ЛА и их агрегатов и закономерностей поражающего действия по ним поражающих факторов боеприпасов. При этом в типовых процедурах должны содержаться предложения по планам таких экспериментов.

Исходные данные по уязвимости ЛА и базы данных по характеристикам боеприпасов служат информационной основой для проведения прогнозных оценок обобщенных показателей характеристик уязвимости ЛА. При этом прогнозные процедуры, по сути, являются имитационными математическими моделями (ИММ) для расчета условных вероятностей поражения ЛА. В качестве исходных данных для расчета условных вероятностей поражения цели используются: условия встречи ракеты с целью; закон распределения ошибок наведения зенитных управляемых ракет (ЗУР) и его числовые характеристики; характеристики уязвимости целей; отражательные характеристики целей в виде "блестящих точек", по которым срабатывает неконтактный взрыватель; параметры БЧ, задаваемые в виде годографа, т.е. в виде рас-

пределения плотностей, масс, коэффициентов формы и начальных скоростей осколков по зонам, на которые делится поле разлета поражающих элементов БЧ в статике.

Комплекс ИММ состоит из библиотек объектно-ориентированных математических моделей, необходимых для решения различных задач в процессе оценки законов поражения цели. Комплекс представляет собой единую систему для анализа и синтеза боево-

го снаряжения боеприпасов на различных этапах исследования, позволяющую гибко создавать различные имитационные математические модели подсистем системы «боеприпас – летательный аппарат».

Исходя из выше изложенного, обобщенная структура АИРС по прогнозированию характеристик уязвимости ЛА при действии боеприпасов с обычным оснащением будет иметь вид, приведенный на рисунке 1.

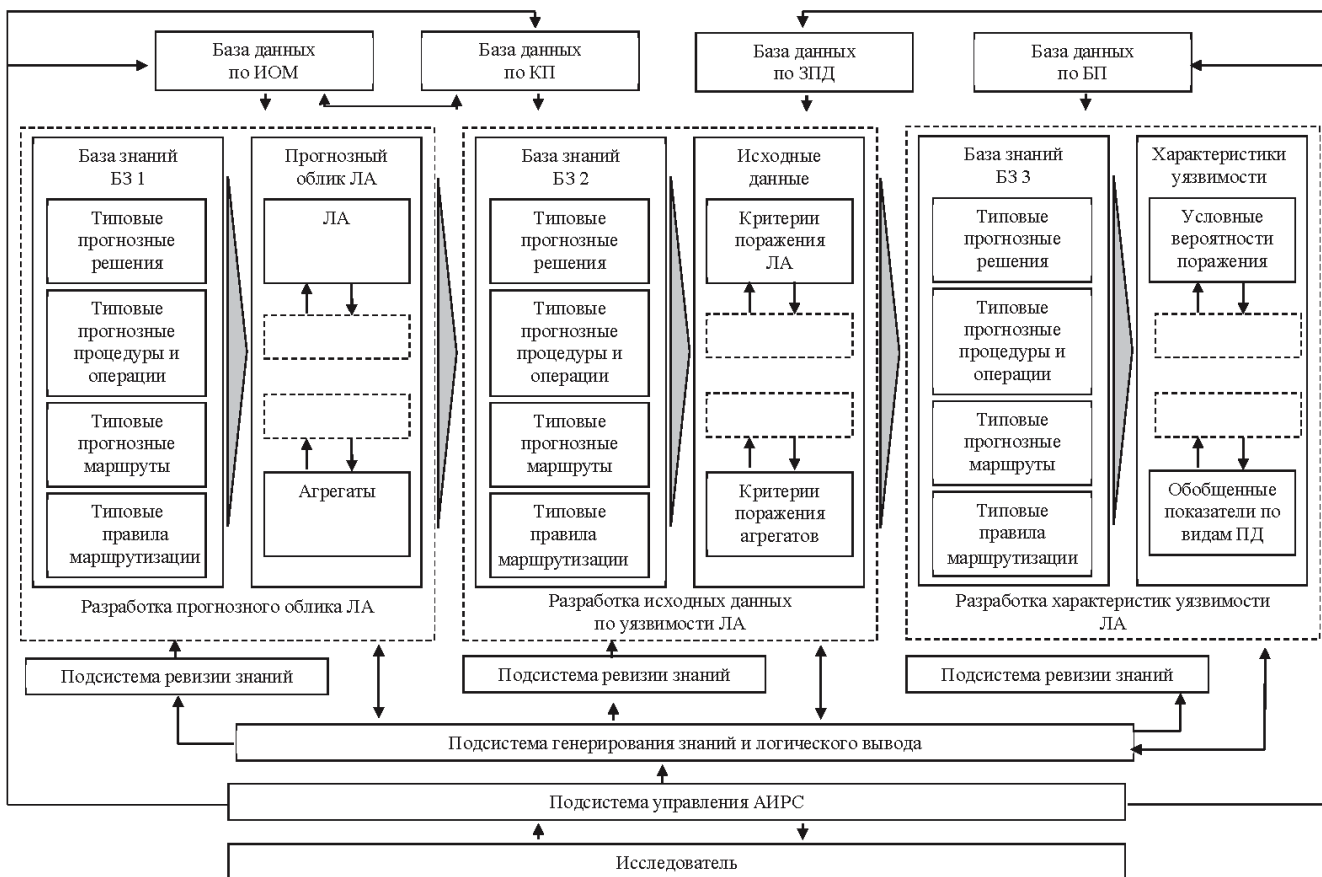


Рисунок 1 – Обобщенная структурная схема АИРС

Подсистема управления АИРС обеспечивает интерактивный режим процесса прогнозирования, а также выполняет функции управления базами данных и базами знаний.

Подсистема генерирования знаний и логического вывода, по сути, является «творческой лабораторией» исследователя. Степень ее использования зависит от его квалификации. В этой подсистеме должен быть необходимый набор инструментальных средств для разработки, в случае необходимости, новых прогнозных процедур, операций, маршрутов,

правил маршрутизации и получения прогнозных решений. Кроме этого в подсистеме генерируются рекомендации по решению задач прогнозирования характеристик уязвимости ЛА и принятия решений. Она позволяет адаптировать АИРС в процессе функционирования к условиям и характеру процесса прогнозирования.

Таким образом, разработка автоматизированной информационно-расчетной системы по прогнозированию характеристик уязвимости летательных аппаратов при действии бое-

припасов должна осуществляться на основе сочетания формализованных и эвристических представлений знаний с возможностью их

развития пользователями и экспертами без участия разработчиков, начиная с определенного момента жизни системы.

Список использованных источников

1. Военный энциклопедический словарь. – М.: Воениздат, 1984.
2. Comparison of US and Swedish aerial target vulnerability assessment methodologies. – National Defense research institute. Stockholm, Sweden, 1981.