

УДК 629.7.017

Устройство защиты воздушных судов от механического воздействия поражающих элементов

Трофимчук М.В.*, **Кровяков В.Б.****, **Березовский Д.В.*****, **Андреев М.В.******

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), ВУНЦ ВВС «ВВА», ул. Старых Большевиков, 54 А, Воронеж, 394064, Россия

**e-mail: trofim109@mail.ru*

***e-mail: vlkrov@rambler.ru*

****e-mail: berezovsk-mig@mail.ru*

*****e-mail: andree_maksim@rambler.ru*

Аннотация

В работе представлены проблемы обеспечения боевой живучести воздушных судов военного назначения при воздействии на них средств дистанционного поражения. Дан анализ применяемых методов обеспечения боевой живучести объектов вооружения, военной и специальной техники. Предложена конструкция устройства защиты воздушных судов от механического воздействия поражающих элементов, которая может быть с большой степенью эффективности использована и для защиты других подвижных и неподвижных технических объектов.

Ключевые слова: поражающий элемент, бронезащита, устройство защиты, боевая живучесть, воздушное судно.

Введение

Повышение уровня боеспособности военно-воздушных сил (ВВС) возможно за счет увеличения качественных показателей стоящих на вооружении и вновь проектируемых образцов авиационной техники (АТ). При этом уровень эффективности образцов АТ зависит от умелого внедрения результатов проводимых в данной области научных исследований [1, 2].

Среди таких показателей воздушного судна (ВС), как тактические, летно-технические, эксплуатационные, экономические и пр. для ВС военного назначения важнейшим является его боевая эффективность (БЭ). В достижении высокой боевой эффективности военных ВС важную роль играет повышение их выживаемости как способности выполнять поставленные боевые задачи в условиях противодействия средств поражения противника [3]. То есть боевая живучесть (БЖ) это свойство ВС продолжать полёт в соответствии с боевым заданием в условиях состоявшегося воздействия по нему средств поражения противника [4] при имеющем место повреждении отдельных агрегатов, систем и планера. На рисунке 1 представлены характерные повреждения обшивки и агрегатов ВС от попадания поражающих элементов боевой части ракеты.

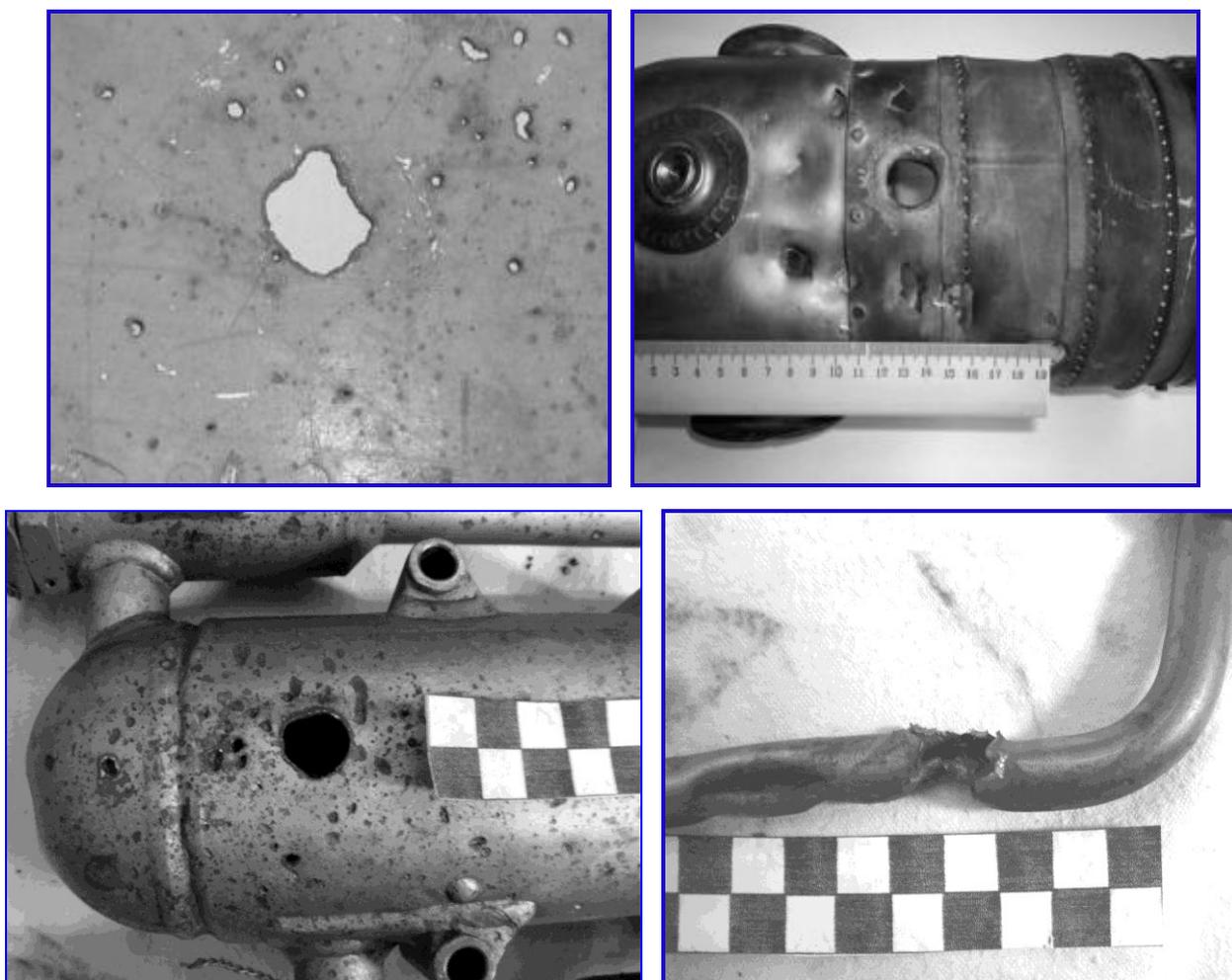


Рисунок 1. Повреждения обшивки и агрегатов воздушного судна
от поражающих элементов боевой части ракеты

Выполнение требований по обеспечению требуемого уровня живучести связано с определенными массовыми затратами, поэтому наибольший уровень БЖ может быть достигнут рациональной совокупностью располагаемых средств и способов ее обеспечения. Нерациональный выбор может привести либо к существенным массовым затратам, либо к недостаточному уровню БЖ. Наибольший эффект по достижению необходимого уровня БЖ ВС закладывается на стадиях проектирования, когда принимаются основные конструктивно-компоновочные решения, в том числе связанные с обеспечением надежности

отдельных систем и агрегатов [5], значительная часть из которых не может быть существенно изменена в дальнейшем.

В связи с тем, что развитие средств противовоздушной обороны идет зачастую опережающими темпами в сравнении с развитием самой АТ, возникает насущная необходимость обеспечения БЖ не только вновь создаваемых, но и повышение БЖ уже эксплуатируемых ВС.

То есть существует техническое противоречие между необходимостью максимальной защиты ВС с использованием самых современных разрабатываемых под новые авиационные комплексы средств защиты от новейших средств поражения и большими сложностями их применения в конструкциях уже эксплуатируемых ВС.

Опыт военных конфликтов показывает, что среди всей совокупности поражаемых агрегатов ВС существует жизненно важное меньшинство и тривиальное большинство. Жизненно важное меньшинство агрегатов составляет менее 20% от всей совокупности агрегатов систем планера и двигателя. Однако, поражение жизненно важных агрегатов (ЖВА) систем планера и двигателя: топливной системы, системы управления, гидравлической системы, топливной и масляной систем двигателя часто является основной причиной возникновения внештатной ситуации [6] и поражения ВС. Это объясняется следующим [7, 8]:

- для поражения ЖВА достаточно одного точного попадания осколочного поражающего элемента (ОПЭ) либо нескольких вторичных ОПЭ;
- повреждение одного жизненно важного агрегата чаще всего приводит к нарушению работоспособности системы ВС и к поражению его в целом;

- жизненно важные агрегаты, в основном однородны по своей уязвимости, и, как правило, выполняют одну функцию, но очень важную.

Отсюда следует вывод, что для минимизации массово-габаритных затрат на обеспечение БЖ ВС становится достаточным обеспечить или усилить защиту современными вновь разрабатываемыми средствами лишь ЖВА. При этом, если на стадии проектирования ВС, ЖВА можно поместить вглубь объема фюзеляжа (или крыла, мотогондолы и пр.), «прикрыв» их менее важными агрегатами, что наименее затратно, то на уже эксплуатируемой АТ остается лишь возможность обеспечить их дополнительное локальное экранирование от внешних средств поражения.

Анализ применяемых средств локальной защиты жизненно-важных агрегатов воздушных судов

Применяемые на практике средства локальной защиты ЖВА и экипажа ВС укрупненно можно подразделить на три конструктивно-компоновочных направления:

1. Закладываемое при проектировании ВС выполнение элементов обшивки напротив ЖВА из броневых сталей [9]. Недостатком такого решения является значительное утяжеление конструкции, достоинством – соблюдение аэродинамических обводов ВС.

2. Установка в местах расположения ЖВА броневых листов снаружи фюзеляжа ВС. Такое техническое решение может быть обеспечено как на стадии проектирования, так и применительно к уже эксплуатируемым ВС. Однако к недостатку в виде утяжеления конструкции при таком решении добавляется

нарушение аэродинамических обводов ВС, то есть ухудшение их аэродинамического качества. Поэтому практическое применение это решение находит применительно к малоскоростным ВС, а именно к вертолетам [10].

3. Установка в местах расположения ЖВА броневых листов внутри фюзеляжа - между обшивкой и защищаемым объектом [11]. Недостатки такого технического решения – затруднительность реализации на эксплуатируемых ВС, утяжеление конструкции и «съедание» полезного объема фюзеляжа, крыла, мотогондол и пр.

Таким образом, недостатками применяемых методов и средств локальной защиты ЖВА ВС является:

- ухудшение аэродинамических характеристик при размещении броневых элементов снаружи фюзеляжа;

- уменьшение полезных объемов ВС при размещении броневых элементов внутри фюзеляжа;

- существенное увеличение весовых характеристик ВС.

Существуют технические решения, позволяющие несколько уменьшить весовые параметры броневой защиты при сохранении сопоставимых показателей боевой живучести [12, 13]. Их суть заключается в том, что устройства защиты выполняются двухслойными с промежутком между слоями. Однако постоянное совершенствование средств поражения требует дальнейшего повышения надежности защиты, которое в этих решениях возможно за счет наращивания толщины брони и (или) увеличения величины промежутка, что приводит к

последующему ухудшению характеристик объектов защиты, включая и их весовые и габаритные параметры.

В настоящее время широкое применение для облегчения и упрочнения конструкции ВС находят композиционные материалы. При одинаковых, и даже лучших, нежели у традиционных авиационных сталей прочностных характеристиках, композиционные материалы обладают меньшей плотностью и соответственно массой [14]. Поэтому внимание исследователей естественным образом было обращено на возможность их использования для обеспечения или повышения БЖ ВС. В частности, исследованиями, проведенными в ВУНЦ ВВС «ВВА» подтверждена возможность применения для обеспечения БЖ ВС ранее используемых в средствах индивидуальной защиты личного состава Вооруженных Сил композиционных материалов на основе углеродного, борного, арамидного волокна и стекловолокна.

Эти исследования согласуются с результатами исследований по обеспечению БЖ других объектов вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ). Так, для защиты личного состава в транспортном модуле разработано устройство [15], состоящее из пространственного каркаса защищаемого транспортного средства, с которым соединен слой наружной защиты, выполненной в виде металлических броневых листов, и слой внутренней защиты, расположенный на расстоянии от слоя наружной защиты. Слой внутренней защиты выполнен из отдельных элементов – экранов гибкой брони, каждый из которых растянут по своему периметру и закреплен на пространственном каркасе внутри модуля. Этому техническому решению присущи общие недостатки аналогичных конструкций: утяжеление

конструкции защищаемого объекта, так как слой внешней защиты выполнен из металлических броневых листов, а для ВС дополнительно – ухудшение аэродинамических характеристик, так как броневые листы внешней защиты расположены снаружи защищаемого объекта.

Разработка технического решения устройства защиты воздушных судов от механического воздействия поражающих элементов

Проведенными специалистами ВУНЦ ВВС «ВВА» экспериментальными исследованиями установлено, что для обеспечения живучести ВС не обязательно абсолютное (полное) предотвращение механического воздействия поражающих элементов на его агрегаты и системы, достаточно снижения силовой возможности их пробивного действия, т. е. уменьшения действия суммарного импульса поражающих элементов на агрегаты и системы.

Каждый элемент (агрегат) имеет запас прочности, которому соответствует предельный импульс воздействия $I_{Пред}$, превышение которого приводит к срыву выполнения заданных функций агрегата. То есть, снижение первоначального импульса поражающего элемента $I_{0ПЭ} = m_{0ПЭ} V_{0ПЭ}$, где $m_{0ПЭ}$ – масса поражающего элемента, $V_{0ПЭ}$ – его начальная скорость, до величины $I_{Пред}$ не приводит к выводу из строя защищаемого агрегата объекта защиты и самого объекта в целом. Некоторое снижение импульса $I_{0ПЭ}$ обеспечивает сама обшивка защищаемого объекта без использования дополнительных преград. Однако, этого снижения зачастую недостаточно. Кроме этого, взаимодействие поражающего элемента с

обшивкой вызывает ее дробление на вторичные осколки, которые разлетаются в конусе с углом разлета $40^{\circ} - 75^{\circ}$, в зависимости от толщины обшивки [16], становясь вторичными поражающими факторами воздействия с импульсом I_{BO} . То есть, для решения поставленной задачи необходимо обеспечение снижения суммарного импульса воздействия до величины $I_{\Sigma} = I_{0ПЭ} + \sum I_{BO} \leq I_{Пред}$.

Из повседневной практики, подтверждаемой источниками [17, 18, 19] известно, что гибкий материал, широко применяемый в разных отраслях промышленности, имеет свойство увеличения стойкости (прочности) на прокол в свободном, ненапрянутом состоянии при сохранении прочностных характеристик в продольном и поперечном направлениях.

Суть разработанного технического решения заключается в том, что по периметру участка обшивки ВС с ее внутренней стороны в зоне расположения ЖВА закрепляется гибкая преграда, при этом ее площадь превышает площадь защищаемого участка [20]. Таким образом, решается задача закрепления ее в конструктивном состоянии «ненапрянутости» (провисания), чем и достигается эффект повышения ее стойкости на ударное воздействие поражающих элементов.

На рисунке 2 представлена схема разработанного устройства защиты. Устройство состоит из гибкой преграды 1, закрепленной по периметру участка обшивки 2 ВС в зоне расположения его функциональных элементов 3. Позицией 4 на рисунке обозначен первичный осколочный элемент поражения, $S_{ГП}$ и $S_{УО}$ – соответственно площадь гибкой преграды 1 и площадь участка обшивки 2.

В качестве материала гибкой преграды 1 устройства используют любой известный материал, установленный, по меньшей мере, в один слой с требуемыми характеристиками прочности и гибкости, например, широко применяемые кевларовая ткань, тварон или ткани из параарамидных волокон, характеризующиеся высокими прочностными (кевлар в 3 – 5,5 раза прочнее стали) и весовыми свойствами (кевлар в 5,4 раза легче стали) [21].

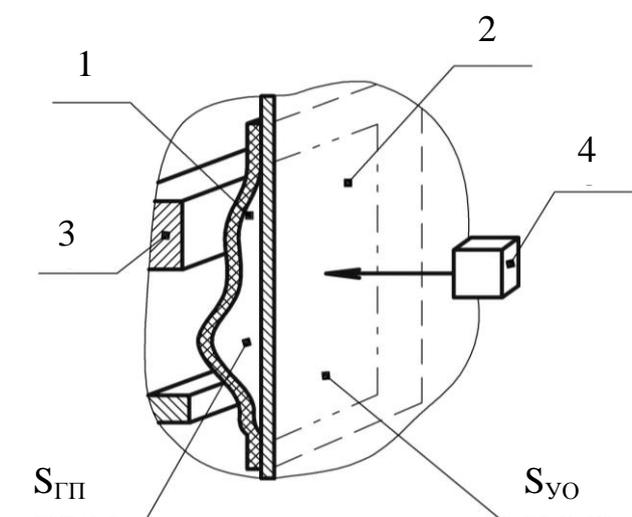


Рисунок 2 - Схема устройства защиты

Гибкая преграда 1 может быть закреплена на участке 2 обшивки непосредственно или через промежуточные конструктивные элементы, в качестве которых могут быть использованы как элементы силового набора корпуса ВС, так и специальные конструктивные элементы, выполненные с учетом целесообразности их установки в конкретных конструктивных условиях места расположения устройства на корпусе защищаемого ВС.

Соединение гибкой преграды 1 и участка 2 обшивки (в том числе и через дополнительные конструктивные элементы) осуществлено известными приемами и

(или) их комбинацией – клепкой, сваркой, клейкой, использованием клееклепальных, болтовых, болт-заклепочных и прочих применяемых в промышленности технологий. Таким образом, принципиальная возможность осуществления разработанного технического решения обеспечена общеизвестными техническими средствами.

На рисунке 3 представлена кинематическая схема, иллюстрирующая последовательность взаимодействия поражающего элемента и защищаемого с использованием предлагаемого устройства объекта.

При движении к участку 2 обшивки объекта защиты (рисунок 3а) поражающий элемент 4 имеет первоначальный импульс $I_{0ПЭ} = m_{0ПЭ}V_{0ПЭ}$, где $m_{0ПЭ}$ – масса поражающего элемента, $V_{0ПЭ}$ – его скорость при приближении к обшивке (начальная скорость). Участок 2 обшивки при соприкосновении с поражающим элементом 4 (рисунок 3б) воспринимает на себя часть его ударной энергии, под воздействием ударного нагружения элементом 4 разрушается, дробится на вторичные осколки 5. При этом элемент 4 теряет скорость до значения $V_{1ПЭ} < V_{0ПЭ}$, импульс его ударного воздействия уменьшается до величины $I_{1ПЭ} = m_{0ПЭ}V_{1ПЭ} < I_{0ПЭ}$. Вторичные осколки 5 получают импульс $I_{1ВО} = m_{ВО}V_{1ВО}$, где $m_{ВО}$ – масса вторичного осколка, $V_{1ВО}$ – его скорость. При этом, за счет затрат энергии на разрушение поражающим элементом обшивки, суммарный импульс вторичных осколков $\sum I_{1ВО} < I_{0ПЭ}$. Далее поражающий элемент 4 вместе с

образовавшимися вторичными осколками 5 продолжает движение к гибкой преграде 1 устройства.

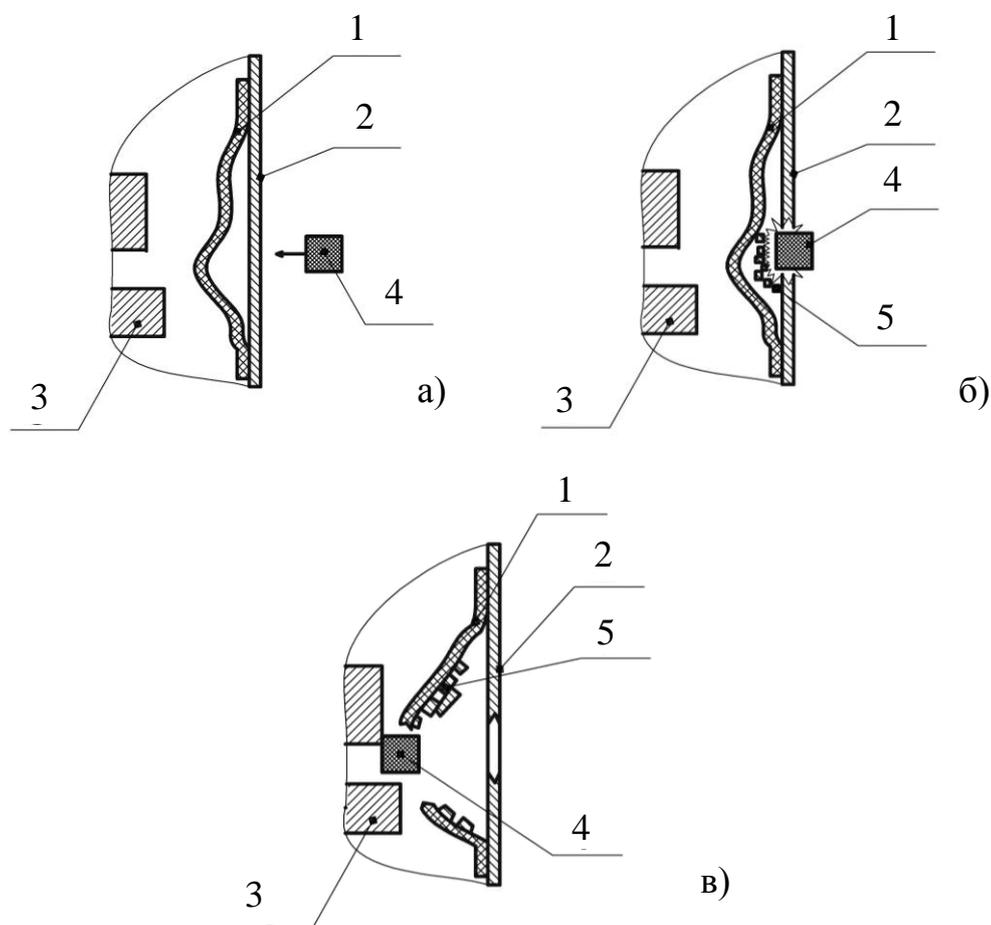


Рисунок 3 – Кинематическая схема механического воздействия поражающих элементов на защищаемый объект

Гибкая преграда 1 устройства, соприкоснувшись с поражающим элементом 4 (рисунок 3в), гасит его скорость до нулевого значения $V_{2ПЭ} = 0$, соответственно погасив и импульс до $I_{2ПЭ} = 0$, или существенно уменьшает скорость до значения $V_{2ПЭ} < V_{1ПЭ} < V_{0ПЭ}$, соответственно уменьшая и импульс до значения $I_{2ПЭ} = m_{0ПЭ} V_{2ПЭ} < I_{1ПЭ} < I_{0ПЭ}$. Вторичные осколки 5 либо полностью теряют свою

энергию на гибкой преграде 1 устройства до значения $I_{1BO} = 0$, либо большая часть их энергии рассеивается, снижая их ударное воздействие на защищаемые агрегаты 3 ($I_{2BO} < I_{1BO}$, а $\sum I_{2BO} \ll \sum I_{1BO}$ за счет уменьшения скорости и количества вторичных осколков, часть из которых остается на гибкой преграде 1, и уменьшения энергии прорвавшихся сквозь преграду 1 осколков).

Данные обстоятельства приводят к снижению суммарного импульса поражающего элемента 4 и вторичных осколков 5 до значения $I_{\Sigma} = I_{2ПЭ} + \sum I_{2BO} < I_{Пред}$, которого не достаточно для пробития защищаемых агрегатов 3 объекта. Жизненно важные агрегаты 3 получают незначительные повреждения, не приводящие к срыву выполнения заданных функций. Таким образом, повышается боевая живучесть защищаемого объекта при воздействии поражающих элементов по его функциональным агрегатам.

Экспериментальными исследованиями [16] на фронтальном истребителе подтверждено, что применение гибкой преграды, выполненной из кевларового материала, установленного в натянутом состоянии, уменьшает количество вторичных осколков поражающих элементов, воздействующих на агрегаты на 85 %, тем самым повышая вероятность выполнения боевой задачи летательным аппаратом на 13 – 16 %.

Установка преграды из кевларовой ткани с аналогичными характеристиками в соответствии с разработанным техническим решением, то есть когда ее площадь превышает площадь защищаемого участка обшивки, обеспечивая ее «ненатянность» (провисание), существенно уменьшает количество и энергию

вторичных осколков, воздействующих на агрегаты и снижает энергию самого поражающего элемента. При этом оптимальный эффект достигается, когда площадь гибкой преграды превышает площадь защищаемого участка не менее, чем на 15 %, то есть при выполнении условия $S_{ГП} \geq 1,15 S_{УО}$. В этом случае количество вторичных осколков, воздействующих на агрегаты, уменьшается на 95 – 97 %, энергия самого поражающего элемента уменьшается до величины, достаточной только для образования вмятин на жизненно важных агрегатах, не приводящих к выходу их из строя. Вероятность выполнения боевой задачи воздушным судном повышается при этом на 15 – 18 %.

Выводы

Разработанное устройство защиты может быть заложено в конструкцию ВС на стадии проектирования и без существенных затрат может быть установлено на уже готовые, находящиеся в эксплуатации изделия.

Применение устройства не нарушает композиционную целостность аэродинамических обводов ВС, заложенную при его проектировании.

Существенным преимуществом предложенного устройства является возможность его применения как к отдельным цельным элементам конструкции ВС, например, мотогондолам, навесным контейнерам, фюзеляжу в целом, так и локально на корпусе – в местах расположения агрегатов, требующих повышенной защищенности, как представлено на рисунке 4.

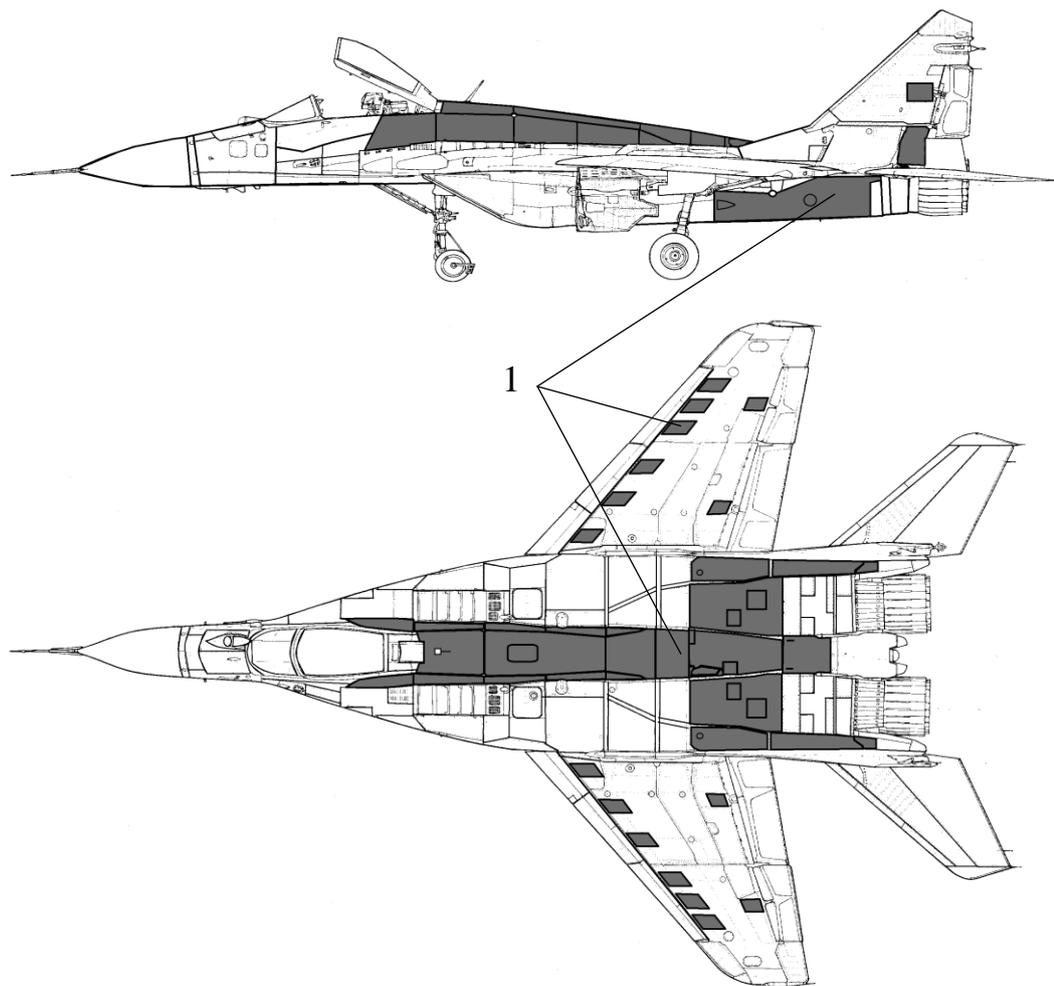


Рисунок 4 - Повышение боевой живучести самолета-истребителя с использованием устройств защиты 1 (экранирование жизненно важных систем и агрегатов)

Использование разработанного устройства защиты обеспечивает заданный уровень боевой живучести ВС при механическом воздействии поражающих элементов при сохранении его заданных тактико-технических характеристик и меньших, в сравнении с аналогами, массово-габаритных затратах. С не меньшей эффективностью разработанное устройство защиты может быть применено и к другим подвижным и неподвижным объектам ВВСТ, требующим обеспечения БЖ.

Конструкция разработанного устройства защищена патентом РФ № 2628415 «Устройство защиты технических объектов от механического воздействия поражающих элементов», опубл. 26.08.2017 г.

Библиографический список

1. Москвителев Н.И., Таммеоя Л.Ю., Таммеоя В.А. Прикладные методы сравнительной оценки и боевые потенциалы авиационной военной техники. Задачи, принципы методология. - М.: Вооружение. Политика. Конверсия, 2000. - 222 с.
2. Марковский В.Ю. Жаркое небо Афганистана. - М.: Изд-во Техника молодежи, 2000. - 90 с.
3. Березовский Д.В., Васютов А.В. Применение композиционных материалов в конструкции воздушного судна для повышения его боевой живучести. Перспективы развития авиационных комплексов государственной авиации и их силовых установок // V Международная научно-практическая конференция «Академические Жуковские чтения». Сборник научных статей. (Воронеж, 22–23 ноября 2017), ВУНЦ ВВС «ВВА», 2018. - 516 с.
4. Болховитинов О.В., Вольнов И.И. и др. Конструкция и прочность летательных аппаратов: учебник для вузов ВВС. – М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2004. – 678 с.
5. Лубков Н.В., Спиридонов И.Б., Степанянц А.С. Влияние характеристик контроля на показатели надежности систем // Труды МАИ. 2016. № 85. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=67501>

6. Тишков В.В., Фирсанов В.В. Расчетный метод для прогнозирования безопасности авиационных объектов при внештатных ситуациях // Труды МАИ. 2007. № 26. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=34028>
7. Туркин К.Д. и др. Конструкция летательных аппаратов. - М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1972. - 532 с.
8. Болховитинов О.В. Боевые авиационные комплексы и их эффективность. - М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2008. – 226 с.
9. Растренин О. Штурмовик Ил-2. "Летающий танк". - М.: Коллекция, Яуза, ЭКСМО, 2007. - 182 с.
10. Михеев В. Ми-8. 40 лет. Полет нормальный. – М.: Полигон-пресс, 2001. - 52 с.
11. Exterior armor for use on bottom of helicopter (Броня для использования на днище вертолета). Патент США № US 6523450 В 1, МПК F 41 Н 5/04, 25.02.2003. URL: [http://appft.uspto.gov/netacgi/nph-Parser?Sect1=PTO1&Sect2=HITOFF&d=PG01&p=1&u=%2Fnetacgi%2FPTO%2Fsrchnum.html&r=1&f=G&l=50&s1="20050257677".PGNR.&OS=DN/20050257677&RS=DN/20050257677/](http://appft.uspto.gov/netacgi/nph-Parser?Sect1=PTO1&Sect2=HITOFF&d=PG01&p=1&u=%2Fnetacgi%2FPTO%2Fsrchnum.html&r=1&f=G&l=50&s1=)
12. Галуза И.Я. Броня. Авторское свидетельство СССР № 66138. Кл. 72g 3/01. Оpubл. 30.04.1946. - 4 с.
13. Ballistic armor (Баллистическая броня). Патентная заявка США № US 2005/0257677 А 1, МПК F 41 Н 5/02, опубл. 24. 11.2005. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2295464>.
14. Мышкин Л.В. Прогнозирование развития авиационной техники: теория и практика. - М.: Физматлит, 2006. - 304 с.

15. Мирошниченко А.В., Коростылев С.И., Киселев С.А. и др. Способ формирования легкой противорикошетной и противоосколочной защиты транспортного модуля и устройство для его осуществления. Патент РФ № 2295464. Оpubл. 20.03.2007. - 8 с.
16. Березовский Д.В., Беляев В.П. Исследование запреградного действия потока вторичных осколков дистанционных средств поражения по агрегатам систем воздушного судна // IX международная конференция «Авиация и космонавтика – 2010», Тезисы докладов. (Москва, 16-18 ноября 2010). – СПб.: Мастерская печати, 2010. - 354 с.
17. Пленочные полимерные материалы и искусственные кожи. Метод определения стойкости к проколу. ГОСТ 12.4.118-82. 1982. - 19 с.
18. Leopold T. Folienherstellung: Anlagenvarianten fur hauchdunnen Schutz. Kunststoffe. 2012. Bd. 102/ Nr. 7. pp. 64 - 68.
19. Эдерле Л., Бергман Т., Путш И. Современные экструзионные технологии // Полимерные материалы. 2014. № 11. С. 12 - 17.
20. Трофимчук М.И., Кровяков В.Б., Березовский Д.В. и др. Устройство защиты технических объектов от механического воздействия поражающих элементов. Патент РФ № 2628415. Оpubл. 26.08.2017. - 8 с.
21. Дж. Любин, Геллер А.Б., Гельмонт М.М. Справочник по композиционным материалам: в 2-х кн. – М.: Машиностроение, 1988. Кн. 1- 448 с.