

К вопросу о терминологии живучести авиационных конструкций

Вадим В. Ефимов, Московский государственный технический университет гражданской авиации, Российская Федерация, Москва



Вадим В. Ефимов

Резюме. Цель. Рассмотрены существующие определения живучести и эксплуатационной живучести авиационных конструкций. Сделана попытка дать однозначное определение живучести авиационных конструкций, которое в дальнейшем можно будет распространить и на летательный аппарат в целом и на другие сложные технические объекты. Основная задача настоящей работы состоит в том, чтобы четко разделить понятия надежности и живучести. Для обеспечения эффективности эксплуатации и безопасности полетов летательный аппарат должен обладать летной годностью – комплексной характеристикой летательного аппарата, определяемой реализованными в его конструкции принципами и решениями, позволяющей совершать безопасные полеты в ожидаемых условиях и при установленных методах эксплуатации. Ожидаемые условия эксплуатации описаны в Авиационных правилах – Нормах летной годности. Несмотря на то, что выполнение требований Норм летной годности обеспечивает достаточно высокий уровень безопасности полетов, особо ответственные элементы конструкции выполняют так, чтобы они оставались работоспособны даже в экстремальных условиях, выходящих за рамки ожидаемых условий эксплуатации. Но надежность не может отвечать за работоспособность вне ожидаемых условий эксплуатации. Напрашивается вывод о том, что в экстремальных условиях, выходящих за рамки ожидаемых условий эксплуатации, за работоспособность должно отвечать другое свойство, а именно живучесть. **Методы.** При проведении настоящего исследования были использованы логический и вероятностный подходы. Были исследованы литературные источники, посвященные в основном проблемам надежности и живучести авиационных конструкций, а также других сложных технических объектов. Для наилучшего понимания различий и взаимосвязи понятий надежности и живучести был использован вероятностный подход. **Результаты.** После проведенного анализа литературных источников было сформулировано определение живучести как свойства объекта сохранять во времени способность выполнять требуемые функции в экстремальных условиях, выходящих за рамки ожидаемых условий эксплуатации, при установленных методах технического обслуживания, хранения и транспортирования. Кроме того, было предложено определение эксплуатационной живучести как свойства объекта сохранять во времени способность выполнять требуемые функции в экстремальных условиях, выходящих за рамки ожидаемых условий эксплуатации, в зависимости от методов технического обслуживания, хранения и транспортирования. При рассмотрении вероятностного подхода к разделению понятий надежности и живучести авиационных конструкций был использован известный ранее показатель реальной эффективности транспортного летательного аппарата, который представляется в виде математического ожидания показателя эффективности. Летательный аппарат может находиться либо в ожидаемых условиях эксплуатации, либо в экстремальных условиях, выходящих за рамки ожидаемых условий эксплуатации, третьего не дано. Тогда сумма вероятностей попадания летательного аппарата в эти условия должна равняться единице. Вероятность безотказной работы можно вычислить через вероятность противоположного события – вероятность отказа, которую можно представить в виде произведения вероятности попадания летательного аппарата в соответствующие условия эксплуатации и вероятности отказа в данных условиях. Для экстремальных условий, выходящих за рамки ожидаемых, можно использовать доработанные автором известные понятия поражаемости и уязвимости. **Выводы.** Получено определение живучести, имеющее четкое отличие от понятий надежности и отказобезопасности. Кроме того, предложено понятие эксплуатационной живучести, которое введено по аналогии с ранее введенным понятием эксплуатационной надежности.

Ключевые слова: живучесть, эксплуатационная живучесть, надежность, отказ, безотказность, отказобезопасность, авиационная конструкция, летательный аппарат.

Формат цитирования: Ефимов В.В. К вопросу о терминологии живучести авиационных конструкций // Надежность. 2019. №2. С. 42-47. DOI: 10.21683/1729-2646-2019-19-2-42-47

Введение

Любой летательный аппарат (ЛА) характеризуется широким набором свойств и параметров, среди которых присутствуют эксплуатационные свойства – совокупность свойств ЛА, которые проявляются в процессе эксплуатации. К ним относятся: надежность, живучесть, безопасность и эксплуатационная технологичность. Если термины надежности, безопасности и эксплуатационной технологичности рассмотрены в специальной литературе достаточно подробно и последовательно, а по некоторым терминам существуют даже соответствующие стандарты, то термин «живучесть» не имеет однозначной и общепринятой формулировки. Это относится не только к терминологии живучести ЛА, но и к терминологии живучести других объектов [1–5].

В настоящей работе сделана попытка дать однозначное определение живучести авиационных конструкций, которое в дальнейшем можно будет распространить и на ЛА в целом и на другие сложные технические объекты. Основная задача настоящей работы состоит в том, чтобы четко разделить понятия надежности и живучести, провести между ними четкую границу.

Основные понятия и определения теории живучести авиационных конструкций

Для обеспечения эффективности эксплуатации и безопасности полетов ЛА должен обладать летной годностью, которая закладывается при его создании и поддерживается в эксплуатации. *Летная годность* – это комплексная характеристика ЛА, определяемая реализованными в его конструкции принципами и решениями, позволяющая совершать безопасные полеты в ожидаемых условиях и при установленных методах эксплуатации [6]. В Нормах летной годности самолетов транспортной категории [7] дается определение *ожидаемым условиям эксплуатации* – это условия, которые известны из практики или возникновения которых можно с достаточным основанием предвидеть в течение срока службы ЛА с учетом его назначения. Эти условия включают в себя параметры состояния и факторы воздействия на ЛА внешней среды, эксплуатационные факторы, влияющие на безопасность полета.

Ожидаемые условия эксплуатации не включают в себя:

- экстремальные условия, встречи с которыми можно надежно избежать путем введения эксплуатационных ограничений и правил;

- экстремальные условия, которые возникают настолько редко, что требование выполнять Нормы летной годности в этих условиях привело бы к обеспечению более высокого уровня летной годности, чем это необходимо и практически обосновано.

Летная годность зависит от *надежности* ЛА, в том числе от надежности его конструкции, которая, в свою очередь, определяется прочностью конструкции.

На этапе проектирования ЛА его летная годность по условию прочности обеспечивается правильным выбором конструктивных решений, выполнением расчетов на прочность, жесткость и усталость, проведением соответствующих испытаний.

В процессе эксплуатации ЛА из-за усталостных и коррозионных повреждений, деструкции неметаллических материалов, попадания в экстремальные условия эксплуатации, выходящие за рамки ожидаемых условий, возможна потеря летной годности по условию прочности конструкции. В связи с этим при эксплуатации ЛА необходимо поддержание его летной годности путем проведения соответствующих мероприятий при техническом обслуживании и ремонте.

Несмотря на то, что выполнение требований Норм летной годности обеспечивает достаточно высокий уровень безопасности полетов, особо ответственные элементы конструкции выполняют так, чтобы они оставались работоспособны даже в экстремальных условиях, выходящих за рамки ожидаемых условий эксплуатации. Но надежность не может отвечать за работоспособность вне ожидаемых условий эксплуатации, поскольку в соответствии с ГОСТ 27.002-2015 «Надежность в технике. Термины и определения» [8] надежность – это свойство объекта сохранять во времени способность выполнять требуемые функции в *заданных режимах и условиях применения*, технического обслуживания, хранения и транспортирования, а соответствии с терминологией Норм летной годности под заданными режимами и условиями применения следует понимать *ожидаемые условия эксплуатации*. Напрашивается вывод о том, что в экстремальных условиях, выходящих за рамки ожидаемых условий эксплуатации, за работоспособность должно отвечать другое свойство, а именно *живучесть*. Но подходит ли для этого какое-либо из существующих определений живучести? Рассмотрим существующую терминологию живучести авиационных конструкций и ЛА в целом.

В настоящее время терминология живучести не отражена в каком-либо ГОСТе. В предыдущей редакции вышеупомянутого ГОСТа по терминологии надежности (ГОСТ 27.002 – 89, [9]) существовало приложение, где было дано определение живучести, но не одно, а сразу три, что не способствовало однозначному пониманию этого термина. Приведем эти определения. Под живучестью понимают:

- 1) свойство объекта, состоящее в его способности противостоять развитию критических отказов из дефектов и повреждений при установленной системе технического обслуживания и ремонта,

или

- 2) свойство объекта сохранять ограниченную работоспособность при воздействиях, не предусмотренных условиями эксплуатации,

или

3) свойство объекта сохранять ограниченную работоспособность при наличии дефектов или повреждений определенного вида, а также при отказе некоторых компонентов. Примером служит сохранение несущей способности элементами конструкции при возникновении в них усталостных трещин, размеры которых не превышают заданных значений.

Это своеобразная классификация существующих определений живучести. В литературе, посвященной живучести авиационных конструкций, нашли то или иное отражение все эти три типа определений, но наибольшее распространение получил третий из них. Приведем для примера определения живучести этого типа:

– живучесть – свойство конструкции сохранять прочность при наличии повреждений (в том числе усталостных) [10];

– живучесть – свойство конструкции выполнять свои функции, несмотря на полученные повреждения различной природы [11];

В соответствии с этими определениями, если возникло какое-либо повреждение, то работоспособность конструкции будет зависеть от ее свойства живучести. Но повреждение конструкции вполне может возникнуть в ожидаемых условиях эксплуатации. Это могут быть частичные отказы, причины которых кроются, например, в ошибках проектирования, некачественном изготовлении элементов конструкции. В качестве примера можно привести усталостные разрушения элементов, возникшие по причине ошибок в расчетах усталостной долговечности или по причине нанесения дефектов при изготовлении деталей, которые явились концентраторами напряжений.

Если конструкция имеет резервные элементы, т.е. создана с использованием принципа безопасного разрушения, то оставшиеся элементы конструкции обеспечат восприятие расчетной нагрузки, а значит, конструкция в целом останется работоспособной. Но тогда понятие живучести пересекается с понятием безотказности, которое является составной частью надежности. В соответствии с [8] *безотказность* – это свойство объекта непрерывно сохранять способность выполнять требуемые функции в течение некоторого времени или наработки в заданных режимах и условиях применения, т.е. в ожидаемых условиях эксплуатации, если использовать терминологию Норм летной годности. Как известно, одним из самых простых способов повышения безотказности является резервирование элементов. Если один или даже несколько параллельно работающих элементов (в случае многократного резервирования) откажут, то оставшиеся элементы обеспечат работоспособность объекта или его системы. Тогда в чем разница между вышеприведенными определениями живучести и безотказности? Очевидно, что разница может быть только в условиях эксплуатации, при которых возник дефект или частичный отказ. Если это произошло в ожидаемых условиях

эксплуатации, то за работоспособность должна отвечать надежность (безотказность), если это произошло в экстремальных условиях эксплуатации, выходящих за рамки ожидаемых условий, то за работоспособность должна отвечать живучесть. Но об этом в вышеприведенных определениях живучести ничего не говорится.

В некоторых работах вместе или вместо термина «живучесть» используется термин «эксплуатационная живучесть». Причем в это понятие также вкладывается различный смысл. Рассмотрим следующие определения:

– эксплуатационная живучесть – свойство, обеспечивающее нормальное выполнение заданных функций всеми системами ЛА в полете при наличии отказов или повреждений отдельных агрегатов, элементов, узлов [12];

– эксплуатационная живучесть авиационных конструкций – свойство конструкций ЛА обеспечивать безопасность эксплуатации по условиям прочности при частичном или полном разрушении силовых элементов из-за усталостных, коррозионных, случайных повреждений при эксплуатации, либо повреждений в процессе производства и ремонта [13].

Данные определения по смыслу ничем не отличаются от вышеприведенных определений живучести, а слово «эксплуатационная», по-видимому, используется для того, чтобы указать на то, что в данном случае речь не идет о боевой живучести, т.е. о живучести, связанной с воздействием боевых поражающих средств, а лишь о живучести, связанной с «обычной» эксплуатацией.

Но в некоторых работах [10, 11] в понятие «эксплуатационная живучесть» вкладывается иной смысл: эксплуатационная живучесть – обобщенный термин, характеризующий свойства конструкции и способы обеспечения ее безопасности по условиям прочности и включающий в себя допустимость повреждения и безопасность разрушения (повреждения). *Допустимость повреждения* – свойство конструкции и способ обеспечения ее безопасности по условиям прочности путем установления сроков первого и последующих осмотров конструкции в эксплуатации с целью обнаружения возможного повреждения и последующего ремонта конструкции или замены поврежденного элемента до наступления того состояния, когда снижение прочности окажется недопустимым. *Безопасность разрушения* (повреждения) – свойство конструкции и способ обеспечения ее безопасности по условиям прочности путем создания такой конструкции, при которой после возможного существенного повреждения или разрушения одного из основных силовых элементов остаточная прочность, несмотря на неотреставрированное состояние, не снизится более чем до допустимого уровня за интервал времени, в течение которого повреждение (разрушение) будет заведомо обнаружено.

Это определение достаточно громоздко и сложно для восприятия, но суть его сводится к тому, что живучесть – это свойство, обеспечивающее безопасность за счет

способности противостоять развитию критических отказов из возникших дефектов. Такое понятие эксплуатационной живучести можно отнести к первому типу определений в вышеприведенной классификации определений живучести. Но в данном случае оно пересекается с гостированным понятием *отказобезопасности* – свойства воздушного судна в целом и/или его функциональных систем, характеризующего способность обеспечивать безопасное завершение полета в ожидаемых условиях эксплуатации при возможных отказах на борту воздушного судна [14].

В связи со всем вышеизложенным наиболее логичным и последовательным представляется второй тип определений живучести. В работе [15] дается наиболее близкое ко второму типу определение: живучесть – свойство самолета сохранять работоспособное состояние при воздействии поражающих средств и нерасчетных нагрузок, а также при наличии накопившихся повреждений.

Если из данного определения исключить слова «а также при наличии накопившихся повреждений», то его можно считать вполне приемлемым.

Таким образом, по аналогии с вышеприведенным определением надежности можно дать следующее определение живучести: *живучесть* – это свойство объекта сохранять во времени способность выполнять требуемые функции в экстремальных условиях, выходящих за рамки ожидаемых условий эксплуатации, при установленных методах технического обслуживания, хранения и транспортирования.

Итак, любой объект и ЛА, в частности, может находиться либо в ожидаемых условиях эксплуатации, либо в экстремальных условиях эксплуатации, выходящих за рамки ожидаемых, третьего не дано. В ожидаемых условиях эксплуатации за работоспособность объекта отвечает надежность, в экстремальных – живучесть.

Понятие «эксплуатационная живучесть» также имеет право на существование. Если рассмотреть определение надежности и вышеприведенное рекомендуемое в настоящей работе определение живучести, то и в том и в другом случае рассматриваются установленные методы технического обслуживания, хранения и транспортирования. Но реальные условия эксплуатации характеризуются значительным разнообразием и нестабильностью из-за различия климатических условий, уровня подготовки летного и технического состава, материально-технической базы, организации технического обслуживания и ремонта и др. Таким образом, методы и условия технического обслуживания, хранения и транспортирования объекта могут отличаться от заданных. В связи с этим в работе [16] было введено понятие *эксплуатационной надежности*, которое можно сформулировать следующим образом: это свойство объекта сохранять во времени способность выполнять требуемые функции в ожидаемых условиях эксплуатации в зависимости от методов и условий технического обслуживания, хранения и транспортирования. По аналогии с данным определением можно сформулировать

определение *эксплуатационной живучести* – свойства объекта сохранять во времени способность выполнять требуемые функции в экстремальных условиях, выходящих за рамки ожидаемых условий эксплуатации, в зависимости от методов технического обслуживания, хранения и транспортирования.

Таким образом, надежность и живучесть оказываются взаимосвязанными, но четко разделенными понятиями, каждое из которых имеет свою зону ответственности.

Для лучшего понимания этого разделения рассмотрим различие и взаимосвязь надежности и живучести, используя вероятностный подход.

Вероятностный подход к разделению понятий надежности и живучести авиационных конструкций

Для того чтобы лучше разобраться в различии и взаимосвязи понятий надежности и живучести, используем подход, описанный в работе [15].

Рассмотрим показатель реальной эффективности транспортного ЛА, который можно представить в виде математического ожидания:

$$W = W_0 P_{\text{над}} P_{\text{жив}},$$

где W_0 – показатель исходной эффективности, определяемый функциональными свойствами ЛА (в основном, его летно-техническими характеристиками), при его абсолютной надежности и живучести. Это может быть, например, показатель производительной отдачи [17] $W_0 = m_{\text{ком}} L / m_0$, где $m_{\text{ком}}$ – максимальная масса коммерческой нагрузки, L – дальность полета при максимальной массе коммерческой нагрузки, m_0 – максимальная взлетная масса ЛА;

$P_{\text{над}}$ – показатель надежности (вероятность сохранения работоспособности в ожидаемых условиях эксплуатации);

$P_{\text{жив}}$ – показатель живучести (вероятность сохранения работоспособности в экстремальных условиях, выходящих за рамки ожидаемых условий эксплуатации).

Показатель надежности можно представить в виде произведения вероятностей:

$$P_{\text{над}} = P_{\text{г}} P_{\text{п}} P_{\text{б/отк}},$$

где $P_{\text{г}}$ – коэффициент готовности;

$P_{\text{п}}$ – вероятность выполнения полета при условии нахождения ЛА в работоспособном состоянии;

$P_{\text{б/отк}}$ – вероятность безотказной работы за время выполнения полета в ожидаемых условиях эксплуатации.

Рассмотрим последовательно эти вероятности.

Для того чтобы ЛА мог выполнить полетное задание, изначально он должен находиться в работоспособном состоянии, что зависит от его свойства готовности. Количе-

ственно это оценивается соответствующей вероятностью P_p , которая называется коэффициентом готовности.

Чтобы выполнить полетное задание, ЛА, будучи в работоспособном состоянии, должен выполнять полет. Это зависит от многих причин, в том числе организационного характера, но если говорить только о свойствах ЛА, то это зависит, например, от технических возможностей его пилотажно-навигационного оборудования (возможность обеспечения полета в темное время суток, в сложных метеоусловиях). Возможность выполнения полета при условии нахождения ЛА в работоспособном состоянии оценивается соответствующей условной вероятностью $P_{п}$.

Однако в полете могут возникнуть *особые ситуации* – ситуации, возникающие в полете в результате воздействия неблагоприятных факторов или их сочетаний и приводящие к снижению безопасности полета [7], в том числе к авариям и катастрофам, в результате чего полетное задание не может быть выполнено. К неблагоприятным факторам относят отказы, экстремальные условия эксплуатации, ошибки экипажа и обслуживающего персонала.

В данной классификации неблагоприятных факторов под отказами обычно понимают нарушения работоспособности, возникающие в ожидаемых условиях эксплуатации. Это могут быть отказы, причины которых кроются в ошибках проектирования, некачественном изготовлении элементов конструкции и оборудования ЛА. Возможность появления подобных отказов оценивается соответствующей вероятностью $Q_{отк}$, а вероятность безотказной работы в ожидаемых условиях эксплуатации определяется по формуле:

$$P_{\text{ботк}} = 1 - Q_{\text{отк}} \quad (1)$$

где $Q_{\text{отк}}$ – вероятность попадания ЛА в ожидаемые условия эксплуатации.

Поскольку, как было сказано выше, ЛА может находиться либо в ожидаемых условиях эксплуатации, либо в экстремальных условиях, выходящих за рамки ожидаемых условий эксплуатации, а третьего не дано, то сумма вероятностей попадания ЛА в эти условия должна равняться единице:

$$Q_{\text{отк}} + Q_{\text{эз}} = 1,$$

где $Q_{\text{эз}}$ – вероятность попадания ЛА в экстремальные условия эксплуатации.

К счастью, $Q_{\text{отк}} \gg Q_{\text{эз}}$, причем $Q_{\text{отк}} \cong 1$, в связи с чем в формуле (1) ее обычно опускают.

Но отказы могут быть также следствием попадания ЛА в экстремальные условия, выходящие за рамки ожидаемых условий эксплуатации. То есть отказы могут являться следствием нерасчетных внешних воздействий (например, воздействие одиночных порывов ветра, скорость которых превосходит значения, установленные Нормами летной годности, что может привести к

разрушению элементов конструкции или появлению остаточных деформаций, воздействию повышенной непрерывной атмосферной турбулентности, параметры которой также указаны в Нормам летной годности, что может привести к преждевременному израсходованию ресурса и, как следствие, к усталостному разрушению элемента конструкции, воздействию боевых поражающих средств), ошибок экипажа (например, грубая посадка или превышение максимально допустимого полетного значения перегрузки при маневре, что может привести к разрушению элементов конструкции или появлению остаточных деформаций) или ошибок обслуживающего персонала (например, нанесение дефектов на элементы конструкции при неаккуратном выполнении работ по техническому обслуживанию и ремонту и, как следствие, к преждевременному усталостному разрушению). В данном случае за выполнение полетного задания отвечает уже живучесть.

В соответствии с [15] живучесть ЛА определяется поражаемостью и уязвимостью. Доработаем формулировки этих понятий в соответствии с вышеизложенными соображениями. Тогда *поражаемость* – это свойство ЛА, характеризующее возможность его попадания в экстремальные условия, выходящие за рамки ожидаемых условий эксплуатации (показателем поражаемости является вероятность попадания ЛА в экстремальные условия эксплуатации – $Q_{\text{эз}}$). *Уязвимость* – это свойство ЛА, характеризующее возможность нарушения его работоспособного состояния в результате воздействий, не предусмотренных ожидаемыми условиями эксплуатации (показателем уязвимости является вероятность потери работоспособности ЛА при условии воздействия, не предусмотренного ожидаемыми условиями эксплуатации – $Q_{\text{уяз}}$). С учетом этого по аналогии с формулой (1) выражение для показателя живучести, т.е. вероятности сохранения работоспособности в экстремальных условиях, имеет вид:

$$P_{\text{жив}} = 1 - Q_{\text{эз}} Q_{\text{уяз}}$$

Заключение

В настоящей работе сделана попытка дать однозначное определение живучести авиационных конструкций. Полученное определение можно распространить на ЛА в целом, а также на другие сложные технические объекты.

Выделять боевую живучесть в отдельное понятие не имеет смысла, т.к. воздействие на объект поражающих средств вполне укладывается в понятие воздействия неблагоприятных факторов.

Достоинством полученного определения живучести является его четкое отличие от гостированных понятий надежности и отказобезопасности.

Кроме того, предложено понятие эксплуатационной живучести, которое введено по аналогии с понятием эксплуатационной надежности.

По мнению автора настоящей работы, назрела необходимость закрепить понятие живучести в соответствующем ГОСТе или, по крайней мере, выпустить приложение к ГОСТ 27.002-2015, подобно приложению к ранее действовавшему ГОСТ 27.002-89, но с учетом изложенных в настоящей работе предложений.

Библиографический список

1. **Черкесов Г.Н.** Анализ функциональной живучести структурно-сложных технических систем [Текст] / Г.Н. Черкесов, А.О. Недосекин, В.В. Виноградов // *Надежность*. – 2018. – №18(2). – С. 17-24. DOI:10.21683/1729-2646-2018-18-2-17-24
2. **Черкесов Г.Н.** Описание подхода к оценке живучести сложных структур при многоразовых воздействиях высокой точности [Текст] / Г.Н. Черкесов, А.О. Недосекин // *Надежность*. – 2016. – № 16(2). – С. 3-15. DOI:10.21683/1729-2646-2016-16-2-3-15
3. **Зарубский В.Г.** Особенности организации процесса функционального диагностирования управляющего компьютера повышенной живучести [Текст] / В.Г. Зарубский // *Надежность*. – 2016. – № 16(3). – С. 35-38. DOI:10.21683/1729-2646-2016-16-3-35-38
4. **Юркевич Е.В.** Особенности информационной поддержки в обеспечении живучести космического аппарата при электрофизических воздействиях [Текст] / Е.В. Юркевич, Л.Н. Крюкова, С.А. Салтыков // *Надежность*. – 2016. – № 16(4). – С. 30-35. DOI:10.21683/1729-2646-2016-16-4-30-35
5. **Климов С.М.** Методика повышения отказоустойчивости сетей спутниковой связи в условиях информационно-технических воздействий [Текст] / С.М. Климов, С.В. Поликарпов, А.В. Федченко // *Надежность*. – 2017. – № 17(3). – С. 32-40. DOI:10.21683/1729-2646-2017-17-3-32-40
6. **Смирнов Н.Н.** Сохранение летной годности воздушных судов [Текст] / Н.Н. Смирнов Н.Н., Ю.М. Чинючин, С.П. Тарасов. – М.: МГТУ ГА, 2005. – 78 с.
7. **Авиационные правила.** Часть 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории: утв. Постановлением 23-ей сессии Совета по авиации и использованию воздушного пространства 5 сентября 2003 года. – М.: ОАО «Авиаиздат», 2004. – 237 с.
8. **ГОСТ 27.002-2015.** Надежность в технике. Термины и определения [Текст]. – Введ. 2016–06–21. – М.: Стандартинформ, 2016. – IV, 27 с.
9. **ГОСТ 27.002-89.** Надежность в технике. Термины и определения [Текст]. – Введ. 1990-07-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1990. – 38 с.
10. **Арепьев А.Н.** Вопросы эксплуатационной живучести авиаконструкций [Текст] / А.Н. Арепьев, М.С. Громов, В.С. Шапкин. – М.: Воздушный транспорт, 2002. – 424 с.
11. **Бутушин С.В.** Обеспечение летной годности воздушных судов гражданской авиации по условиям прочности [Текст] / С.В. Бутушин, В.В. Никонов, Ю.М. Фейгенбаум, В.С. Шапкин. – М.: МГТУ ГА, 2013. – 772 с.
12. **Смирнов Н.Н.** Основы теории технической эксплуатации летательных аппаратов [Текст]: Часть 2 / Н.Н. Смирнов. – М.: МГТУГА, 2003. – 87 с.
13. **Авиация: энциклопедия** / Гл. ред. Г. П. Свищев. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1994. – 736 с.
14. **ГОСТ Р 56079-2014.** Изделия авиационной техники. Безопасность полета, надежность, контролепригодность, эксплуатационная и ремонтная технологичность. Номенклатура показателей [Текст]. – Введ. 2014-07-14. – М.: Стандартинформ, 2014. – II, 14 с.
15. **Анциелиович Л.Л.** Надежность, безопасность и живучесть самолета [Текст] / Л.Л. Анцелиович. – М.: Машиностроение, 1985. – 296 с.
16. **Герасимова Е.Д.** Эксплуатационная надежность и режимы технического обслуживания ЛА и АД [Текст] / Е.Д. Герасимова, Н.Н. Смирнов, И.Ф. Полякова. – М.: МГТУГА, 2002. – 58 с.
17. **Шейнин В.М.** Весовое проектирование и эффективность пассажирских самолетов. Т. 2. Расчет центровки и моментов инерции самолета. Весовой анализ [Текст] / В.М. Шейнин, В.И. Козловский. – М.: Машиностроение, 1977. – 208 с.

Сведения об авторе

Вадим В. Ефимов – доктор технических наук, доцент, профессор Московского государственного технического университета гражданской авиации, Российская Федерация, Москва, e-mail: efimowww@yandex.ru

Поступила: 19.11.2018