



УДК 629.735:681.518:311.2  
ГРНТИ 73.37.01

## ФОРМУЛА ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

*В.А. ЗАГОРСКИЙ*, доктор технических наук, профессор  
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)  
*Е.В. ФЕТИСОВ*, кандидат технических наук, доцент  
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)  
*Д.В. БОГОМОЛОВ*, кандидат физико-математических наук, доцент  
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)  
*М.В. БЛЕДНЫХ*  
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

В статье проанализирован алгоритм действий, выполняемых оператором в процессе диагностики технического состояния объекта авиационной техники. Предложена авторская формула диагностики, позволяющая получать адекватные результаты оценки технического состояния объектов, сравнивая значения диагностических показателей со значениями диагностических параметров, установленных для них. Определён ряд предварительных действий, описанных авторами в виде формулы диагностики. К таким действиям относится оценка точности измерения (определения) количественных значений диагностических признаков, их осреднение и нормализация, т.е. приведение к установленной номенклатуре режимов работы объектов диагностики при стандартных атмосферных условиях.

*Ключевые слова:* авиационная техника, объект, техническое состояние, диагностический признак, диагностический параметр, измеренное значение, действительное значение, осредненное значение, нормализованное значение, опорное значение, номинальное значение, случайная величина, вероятность, точность, допустимая ошибка, повторяемость, достоверность, математическое ожидание, дисперсия, среднеквадратическое отклонение.

### FORMULA FOR DIAGNOSTICS THE TECHNICAL CONDITION OF AN AIRCRAFT OBJECT

*V.A. ZAGORSKIY*, Doctor of Technical sciences, Professor  
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)  
*E.V. FETISOV*, Candidate of Technical sciences, Associate Professor  
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)  
*D.V. BOGOMOLOV*, Candidate of Physical and Mathematical sciences, Associate Professor  
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)  
*M.V. BLEDNYKH*  
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)

The article analyzes the algorithm of actions performed by the operator in the process of diagnosing the technical condition of an aircraft object. The author's diagnostic formula is proposed, which allows to obtain adequate results of assessing the technical condition of objects by comparing the values of diagnostic indicators with the values of diagnostic parameters set for them. A number of preliminary actions described by the authors in the form of a diagnostic formula are defined. Such actions include assessing the accuracy of measuring (determining) the quantitative values of diagnostic signs, averaging and normalizing them, i.e. bringing them to the established nomenclature of the operating modes of diagnostic objects under standard atmospheric conditions.



*Keywords:* aviation equipment, object, technical condition, diagnostic feature, diagnostic parameter, measured value, real value, averaged value, normalized value, reference value, nominal value, random variable, probability, accuracy, permissible error, repeatability, reliability, mathematical expectation, variance, standard deviation.

**Введение.** В течение жизненного цикла авиационной техники (АТ) происходит постоянное изменение ее технического состояния (ТС), а также состояния средств ее эксплуатации и технического обслуживания (СЭ и ТО). В соответствии с определением [1] техническое состояние (ТС) – это совокупность подверженных изменению в процессе производства или эксплуатации свойств объекта, характеризуемая в каждый момент времени признаками, установленными технической документацией на этот объект [1]. Под объектом в дальнейшем будем понимать изделие и (или) его составные части, подлежащие (подвергаемые) диагностированию (контролю) [2].

Для поддержания и восстановления работоспособного состояния объекта авиационной техники на ней проводятся работы по техническому обслуживанию. Результаты этих работ проверяются в ходе диагностирования ТС АТ. Техническое диагностирование (диагностирование технического состояния) – это процесс определения технического состояния изделия с определенной точностью, результатом которого является заключение о техническом состоянии объекта с указанием при необходимости места, вида и причин дефектов [1].

**Актуальность.** Термин «техническое диагностирование» применяется в наименованиях и определениях понятий, когда решаемые задачи технического диагностирования равнозначны или основной задачей является поиск места и определение причин отказа (неисправности). Термин «контроль технического состояния» применяется, когда основной задачей технического диагностирования является определение вида технического состояния [2]. При техническом диагностировании (контроле технического состояния) АТ проверяется соответствие в данный момент времени значений ее диагностических показателей значениям, установленным параметрам нормативно-технической документацией. Под диагностическими показателями понимается текущее измеренное (определенное) количественное значение диагностических признаков. Под диагностическими параметрами понимается количественное значение диагностических признаков, установленное нормативно-технической документацией.

Диагностирование (контроль технического состояния) АТ всегда осуществляется по заранее установленным нормативно-технической документацией алгоритмам, как правило, определяющим состав и порядок проведения элементарных проверок объекта и правила анализа их результатов. При выполнении набора установленных алгоритмом диагностирования контрольных проверок каждый раз получают конкретные значения диагностических показателей. На основании сравнения (сопоставления) полученных при контроле ТС АТ диагностических показателей со значениями установленных нормативно-технической документацией диагностических параметров определяется вид технического состояния авиационной техники. Таким образом, в настоящее время процедуру определения ТС АТ можно охарактеризовать, как определенную алгоритмом диагностирования последовательность действий оператора, заключающуюся в измерении (определении) текущих значений диагностических показателей и их сравнении (сопоставлении) с диагностическими параметрами. Запишем эту процедуру в виде формализованного описания, т.е. в виде применяемой на практике рутинной формулы диагностики. В данном случае определение «рутинной» используется в смысле обычного, общепринятого, повседневно используемого метода (способа) определения технического состояния объекта АТ [3].

Рутинная формула диагностики: «Техническое диагностирование объекта АТ – это определение его текущего технического состояния на основе сравнения (сопоставления) измеренных (определенных) значений диагностических показателей с установленными нормативно-технической документацией значениями соответствующих диагностических параметров» [3].



Рутинная формула диагностики выглядит весьма простой и не отражает всех сложностей реальных процессов, протекающих при диагностировании технического состояния объекта АТ. На самом деле этот процесс является весьма сложным многофакторным процессом, требующим при его организации и проведении квалифицированных действий. Рассмотрим порядок и основные особенности этих действий.

Предположим, что в некотором, наиболее простом случае нам необходимо выполнить диагностику и определить техническое состояние объекта АТ по какому-либо одному диагностическому признаку. Первое, что необходимо сделать, это измерить (определить) количественное значение диагностического признака, т.е. перейти от анализа диагностического признака к анализу диагностического показателя.

В большинстве случаев в процессе диагностики происходит измерение динамических физических величин, т.е. величин, изменяющихся во времени в связи с изменением условий и режимов эксплуатации АТ, а также ее технического состояния. Таким образом, в процессе диагностики ТС объектов АТ мы имеем дело с оценкой значений случайных величин. Обозначим текущее значение случайной величины диагностического показателя, как  $X_i$ .

Текущее значение случайной величины  $X_i$  должно быть измерено с определенной точностью. Возникает вопрос о том, какова должна быть эта определенная точность. На практике определенная точность измерения величины характеризуется метрологическими свойствами средств и методик измерения. Однако с точки зрения технической эксплуатации авиационной техники этого не достаточно для обеспечения заданной надежности АТ и достоверности процесса диагностики ее технического состояния.

В соответствии с [4] «точность – это степень близости результата измерений к принятому опорному значению». Поэтому для оценки точности измерения (определения) значения диагностического показателя нам следует выбрать опорное значение этой величины. Принятое опорное значение – это значение, которое служит в качестве согласованного значения для сравнения [4]. Поскольку на практике получение истинного значения измеряемой величины затруднено, то в качестве опорного значения выбирается не истинное значение, а действительное значение измеряемой величины. Действительное значение измеряемой величины – это значение величины, полученное экспериментальным путем и настолько близкое к истинному значению, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо него [5]. Степень близости действительного значения измеренной величины к его истинному значению определяется погрешностью измерения. Под погрешностью результата измерения понимается разность между измеренным значением величины и опорным значением величины. Текущее значение случайной величины, измеренное с установленной погрешностью, становится текущим действительным значением  $X_{Di}$  этой случайной величины.

Текущее, измеренное с определенной точностью, действительное значение случайной величины  $X_{Di}$  является ее приближенным значением лишь в конкретный момент времени и является наблюдаемым значением случайной величины, т.е. значением исследуемой величины, полученным в результате единичного наблюдения [6]. Наблюдаемое значение случайной величины может изменяться в достаточно широких пределах. Для того, чтобы определить эти пределы одной точности измерения случайной величины не достаточно. Необходимо учесть возможную вариацию  $v_{X_{Di}}$  этой величины. Для этого на достаточно малом интервале времени требуется выполнить ряд равноточных измерений. Равноточным называется ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности средствами измерений в одних и тех же условиях с одинаковой тщательностью [5]. В результате выполнения необходимого количества измерений текущего  $X_i$ , действительного значения случайной величины  $X_{Di}$  за достаточно короткий интервал времени  $\Delta t$ , получается случайная выборка измеряемой величины. На основе случайной выборки определяется осредненное текущее действительное значение случайной величины  $X_{DiCP}$ .



Требуемое количество равнозначных измерений зависит от требуемых значений точности и достоверности измеряемой случайной величины, а также от наличия сведений о величине ее вариации. Например, если требуется определить среднее действительное значение самой измеряемой величины  $X_{дiCP}$  с заданной достоверностью и точностью, а при этом не известен коэффициент ее вариации  $v_{X_{дi}}$ , то можно воспользоваться краткой таблицей достаточно больших чисел (таблица 1) [7].

Таблица 1 – Краткая таблица достаточно больших чисел для определения величины  $X_{дiCP}$  с заданной достоверностью и точностью

Допустимая ошибка $\delta_{X_{дiCP}}$	Требуемая достоверность определения $X_{дiCP}$					
	0,85	0,90	0,95	0,99	0,995	0,999
	Требуемое количество равнозначных измерений, n					
0,05	207	270	384	663	787	1082
0,04	323	422	600	1036	1231	1691
0,03	575	751	1067	1843	2188	3007
0,02	1295	1691	2400	4146	4924	6767
0,01	5180	6764	16587	16587	19699	27069

Из данных таблицы 1 следует, например, что если необходимо определить величину  $X_{дiCP}$  с достоверностью  $P_{X_{дiCP}} = 0,90$  и точностью  $\delta_{X_{дiCP}} = 0,05$ , то требуется выполнить 270 равнозначных измерений.

Данные таблицы 1 показывают необходимость замены отдельных единичных наблюдений достаточно большими массивами данных равнозначных измерений. Эти массивы данных в итоге могут сформировать требуемую генеральную выборку, обеспечивающую получение значений интересующей нас случайной величины с точностью и достоверностью, достаточной для ее сравнения с диагностическим параметром, установленным нормативно технической документацией.

Количество равнозначных измерений может быть существенно уменьшено, если известен коэффициент вариации  $v_{X_{дi}}$ . Например, для того чтобы определить величину  $X_{дiCP}$  с достоверностью  $P_{X_{дiCP}} = 0,99$  и точностью  $\delta_{X_{дiCP}} = 0,05$  при значении коэффициента вариации  $v_{X_{дi}} = 10\%$  можно воспользоваться соответствующей номограммой достаточно больших чисел [7]. В этом случае, для решения поставленной задачи достаточно выполнить 30 равнозначных измерений.

Задача определения средних значений искомых статистик несколько усложняется в случае, когда требуется с заданной точностью и достоверностью определять не только среднее текущее действительное значение случайной величины  $X_{дiCP}$ , но, например, оценить с заданной достоверностью и точностью значение ее среднеквадратического отклонения  $\sigma_{X_{дiCP}}$  от математического ожидания  $\mu_{X_{дiCP}}$ . В этом случае также можно воспользоваться соответствующими таблицами в сочетании с интерполяцией полученных результатов [8].

Например, для вычисления величины среднеквадратического отклонения  $\sigma_{X_{дiCP}}$  с достоверностью  $P_{\sigma_{X_{дiCP}}} = 0,90$  и точностью  $\delta_{X_{дiCP}} = 0,05$  потребуется выполнить уже 2300 равнозначных измерений.

К осредненному текущему действительному значению случайной величины  $X_{дiCP}$  могут быть применены известные методы статистической обработки (вычислений) и получены ее статистические характеристики такие, как математическое ожидание  $\mu_{X_{дi}}$ , дисперсия  $D_{X_{дi}}$ , среднеквадратическое отклонение  $\sigma_{X_{дi}}$  и вариация  $v_{X_{дi}}$ . При помощи этих статистик можно контролировать точность, сходимость, повторяемость, воспроизводимость и достоверность измеряемого диагностического показателя [5]. Однако выполнить необходимое число измерений за короткий промежуток времени можно лишь при использовании современных автоматизированных (автоматических) средств измерения и регистрации диагностических показателей АТ. В большинстве случаев в эксплуатации таких современных средств диагностики пока явно не достаточно.



Текущее измеренное действительное осредненное значение случайной величины  $X_{дср}$  в большинстве случаев не может быть непосредственно использовано для сравнения (сопоставления) с заданным нормативно-технической документацией значением диагностического параметра  $X_{л}$ . Исключением является измерение (определение) величины  $X_{дср}$ , выполненное на номинальном режиме в стандартных атмосферных условиях. Диагностический параметр  $X_{л}$  является номинальным опорным значением, используемым в качестве начальной точки отсчета отклонения от него диагностического показателя. Диагностический параметр определен для гостированных значений условий и режимов работы авиационной техники, к каковым относятся стандартные атмосферные условия и конкретные режимы работы, определенные номенклатурой режимов, установленных нормативно-технической документацией. Диагностические показатели получены в произвольных текущих условиях при произвольных режимах работы АТ. Эти условия и режимы работы, как правило, отличаются от нормализованных условий и режимов работы АТ, для которых получены диагностические параметры. Следовательно, перед сравнением диагностических показателей с диагностическими параметрами необходимо диагностические показатели также нормализовать, т.е. привести к стандартным атмосферным условиям и установленным нормативно-технической документацией режимам работы. Такая нормализация чаще всего производится на основании комплексного использования теории подобия, характеристик и номограмм, учитывающих особенности работы АТ на установленных нормативно-технической документацией эксплуатационных режимах работы. Причем, если теория подобия с учетом особенностей автомодельности носит достаточно общий характер, особенности работы конкретных образцов АТ на эксплуатационных режимах и их характеристики являются индивидуальными.

После приведения текущего измеренного действительного осредненного значения случайной величины  $X_{дср}$  к установленному нормативно-технической документацией режиму работы и стандартным атмосферным условиям она становится измеренной действительной осредненной случайной нормализованной величиной  $X_{дсрн}$ . Величина  $X_{дсрн}$  является диагностическим показателем, который можно сравнивать с величиной диагностического параметра  $X_{л}$ , установленного нормативно-технической документацией. На основании этого сравнения может быть дано объективное заключение о техническом состоянии диагностируемого объекта АТ.

Таким образом, коротко рассмотренные выше процедуры перехода от текущего значения случайной величины  $X_i$  к измеренной действительной осредненной случайной нормализованной величине  $X_{дсрн}$  позволяют уточнить рутинную формулу диагностики и записать ее в следующем виде: техническое диагностирование объекта АТ – это определение его текущего технического состояния на основе сравнения (сопоставления) измеренных (определенных) действительных осредненных случайных нормализованных значений диагностических показателей с установленными нормативно-технической документацией значениями соответствующих диагностических параметров.

Уточненная формула диагностики подразумевает достаточно сложные действия по преобразованию случайной измеренной величины в диагностический показатель. В процессе этих преобразований могут возникать и накапливаться случайные и систематические ошибки. Существующие методы статистических вычислений позволяют минимизировать и практически исключить их появление. При достаточных объемах статистических данных точность получаемых значений диагностических показателей может достигать требуемых для практических и научных исследований значений. Под ошибками оценки величины диагностического показателя понимается разность между его точечной оценкой и диагностическим параметром, характеризующим свойства генеральной совокупности [6].

На практике допустимые ошибки (точность оценки) могут составлять от 1 % до 5 % для научных исследований и от 5 % до 10 % для инженерных оценок. Пределы ошибок зависят от природы наблюдаемых объектов АТ, процессов, протекающих в них и точности средств



измерения и обработки контролируемых диагностических признаков. Наряду с точностью получения диагностических показателей постоянно возникает вопрос об их достоверности: «Теория может предлагать только те или другие меры риска, но она не может установить, какую степень риска должно принять допустимую» [9].

В случае реализации предлагаемой авторами уточненной формулы диагностики стандартная оценка достоверности получаемых при ее использовании результатов, т.е. результатов сравнения величин диагностических показателей  $X_{ДКСРН}$  с величиной диагностического параметра  $X_{П}$ , дает возможность установить верный диагноз с вероятностью в пределах  $P \approx 0,95 - 0,99$ . Данная вероятность является очень высокой по сравнению с вероятностью установки диагноза на основании простого сравнения текущего значения случайной величины  $X_i$  с величиной диагностического параметра  $X_{П}$ . Очевидно, что в большинстве случаев эти две величины ( $X_i$  и  $X_{П}$ ) просто нельзя сравнивать, поскольку они являются величинами, взятыми из разных совокупностей случайных величин, т.е. из разных множеств рассматриваемой случайной величины, имеющих место при различных условиях окружающей среды и разных режимах работы объекта диагностики.

Однако на практике кроме вопросов о точности и достоверности диагноза технического состояния объекта авиационной техники практически всегда стоит вопрос о достоверности предсказания вероятности возникновения внезапного отказа  $P_{ВНО}(t)$  на ближайшем предстоящем интервале времени, например, во время выполнения полета. Предложенная формула диагностики основывается на стандартных подходах к требованиям, предъявляемым к величинам дисперсии  $D_{X_{ДКСРН}}$ , среднеквадратического отклонения  $\sigma_{X_{ДКСРН}}$  и вариации  $v_{X_{ДКСРН}}$  рассматриваемых диагностических показателей, поэтому вероятность возникновения внезапного отказа на ближайшем предстоящем интервале времени  $\Delta t$  составляет рутинную величину  $P_{ВНО}(\Delta t) \approx 0,6827$ , лежащую в пределах диапазона изменения величины  $X_{ДКСРН} \pm \sigma_{X_{ДКСРН}}$ . Такой безотказности явно не достаточно для организации удовлетворительной эксплуатации современной дорогостоящей авиационной техники. В результате в эксплуатации достаточно часто происходят внезапные отказы АТ, которые не были предсказаны на основе прогнозирования, использующего стандартные методики. Исследования, проведенные авторами, показывают, что вероятность предсказания возникновения внезапных отказов на предстоящем интервале времени при использовании современных и перспективных объектов АТ и соответствующей им методики диагностики технического состояния может быть увеличена до значения  $P_{ВНО}(\Delta t) \approx 0,9973$  в пределах диапазона изменения величины  $X_{ДКСРН} \pm 3\sigma_{X_{ДКСРН}}$ . Очевидно, что это существенным образом может повысить безопасность полетов при одновременном снижении эксплуатационных затрат на ремонт и восстановление внезапно отказавшей авиационной техники.

**Выводы.** Определение текущего технического состояния объекта АТ следует выполнять на основе сравнения (сопоставления) измеренных (определенных) действительных осредненных случайных нормализованных значений его диагностических показателей с установленными нормативно-технической документацией значениями соответствующих диагностических параметров. Применение предложенной авторами формулы диагностики открывает возможности разработки новых подходов к определению предотказных состояний объектов АТ, существенно повышающих вероятность возникновения внезапных отказов на ближайшем предстоящем интервале времени, т.е. при выполнении подготовки к применению и во время применения авиационной техники по назначению.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 55255–2012. Национальный стандарт Российской Федерации. Воздушный транспорт. Система технического обслуживания и ремонта авиационной техники. Организация работ по диагностике технического состояния авиационной техники. М.: Стандартинформ, 2014. 22 с.



2. ГОСТ Р 20911–89. Техническая диагностика. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2009. 26 с.
3. ГОСТ Р ИСО 5725–6–2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Использование значений точности на практике. М.: Стандартинформ, 2009. 88 с.
4. ГОСТ Р ИСО 5725–1–2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1. Основные положения и определения. М.: Стандартинформ, 2009. 45 с.
5. РМГ 29–2013. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения. М.: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2014. 121 с.
6. ГОСТ Р ИСО 3534–1–2019. Статистические методы. Словарь и условные обозначения. Ч. 1. Общие статистические термины и термины, используемые в теории вероятностей. М.: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2019. 70 с.
7. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. М.: Физматлит, 1961. 479 с.
8. Марков А.А. Исчисление вероятностей. М.: ГИЗ, 1924. 155 с.
9. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. М.: «Наука», 1983. 416 с.

#### REFERENCES

1. GOST R 55255–2012. Nacional'nyj standart Rossijskoj Federacii. Vozdushnyj transport. Sistema tehničeskogo obsluživaniya i remonta aviacionnoj tehniki. Organizaciya rabot po diagnostike tehničeskogo sostoyaniya aviacionnoj tehniki. М.: Standartinform, 2014. 22 p.
2. GOST R 20911–89. Tehničeskaya diagnostika. Terminy i opredeleniya. М.: Standartinform, 2009. 26 p.
3. GOST R ISO 5725–6–2002. Točnost' (pravil'nost' i precizionnost') metodov i rezul'tatov izmerenij. Ispol'zovanie znachenij točnosti na praktike. М.: Standartinform, 2009. 88 p.
4. GOST R ISO 5725–1–2002. Točnost' (pravil'nost' i precizionnost') metodov i rezul'tatov izmerenij. Chast' 1. Osnovnye položeniya i opredeleniya. М.: Standartinform, 2009. 45 p.
5. RMG 29–2013. Rekomendacii po mezghosudarstvennoj standartizacii. Gosudarstvennaya sistema obespečeniya edinstva izmerenij. Metrologiya. Osnovnye terminy i opredeleniya. М.: FGUP «STANDARTINFORM», 2014. 121 p.
6. GOSTR ISO 3534–1–2019. Statisticheskie metody. Slovar' i uslovnye oboznacheniya. Ch. 1. Obschie statisticheskie terminy i terminy, ispol'zuemye v teorii veroyatnostej. М.: FGUP «STANDARTINFORM», 2019. 70 p.
7. Mitropol'skij A.K. Tehnika statističeskikh vychislenij. М.: Fizmatlit, 1961. 479 p.
8. Markov A.A. Ischislenie veroyatnostej. М.: GIZ, 1924. 155 p.
9. Bol'shev L.N., Smirnov N.V. Tablicy matematičeskoj statistiki. М.: «Nauka», 1983. 416 p.

© Загорский В.А., Фетисов Е.В., Богомолов Д.В., Бледных М.В., 2021

Загорский Владимир Алексеевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры эксплуатации авиационной техники, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, z\_t58@mail.ru.

Фетисов Евгений Вячеславович, кандидат технических наук, доцент, начальник кафедры эксплуатации авиационной техники, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, nurad@yandex.ru.

Богомолов Дмитрий Валерьевич, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры эксплуатации авиационной техники, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная



академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, bogomolov.77@mail.ru.

Бледных Михаил Владимирович, адъюнкт, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, Vlednyhmihail84@gmail.com.