

УДК 629.735.33.01 + 510.3

С.Н. Вознюк,
Л.И. Курпа, канд. физ.-мат. наук,
Е.А. Мураховская,
А.И. Рыженко, д-р техн. наук

ФАКТОР МНОГОВАРИАНТНОСТИ ПРИ ВЫБОРЕ МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОБЛЕМ ВЫЖИВАЕМОСТИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ САМОЛЕТОВ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Обеспечение требуемого, достаточно высокого уровня безопасности полетов, в первую очередь, надежности и эксплуатационной живучести проектируемого самолета или вертолета – одна из основных задач создания авиационной техники (АТ) как гражданского, так и военного назначения. При создании АТ военного назначения (пилотируемой и беспилотной) **актуальность** и, вместе с тем, сложность решения этой задачи существенно возрастают в связи с необходимостью дополнительно обеспечить требуемый уровень боевой живучести (а в общем случае – выживаемости). При этом необходимо подчеркнуть, что обеспечение высокой выживаемости военного летательного аппарата (ЛА) не снижает актуальности первой группы задач: неумолимая статистика показывает, что даже в период ведения активных боевых действий потери авиатехники в результате аварий и катастроф вполне соизмеримы с боевыми потерями. Например, в ходе вооруженного конфликта в районе Персидского залива в январе-феврале 1991 г. боевые потери Вооруженных сил США составили 28 самолетов и 6 вертолетов, а небоевые – 6 самолетов и 14 вертолетов. Поэтому анализ, проведенный для случая проектирования воздушных судов гражданского назначения, совокупность неопределенностей и критериальная база, актуальны и применимы при решении проблем проектирования боевых ЛА. **Цель** данной статьи – проанализировать дополнительные особенности информационного обеспечения работ по исследованию проблем выживаемости боевой АТ, связанные с этим неопределенности и сформулировать укрупненные требования для выбора метода таких исследований, а также исследовать значимость отдельных требований и выявить среди них основные, которым при обработке методами нечеткой логики должны быть присвоены максимальные весовые коэффициенты.

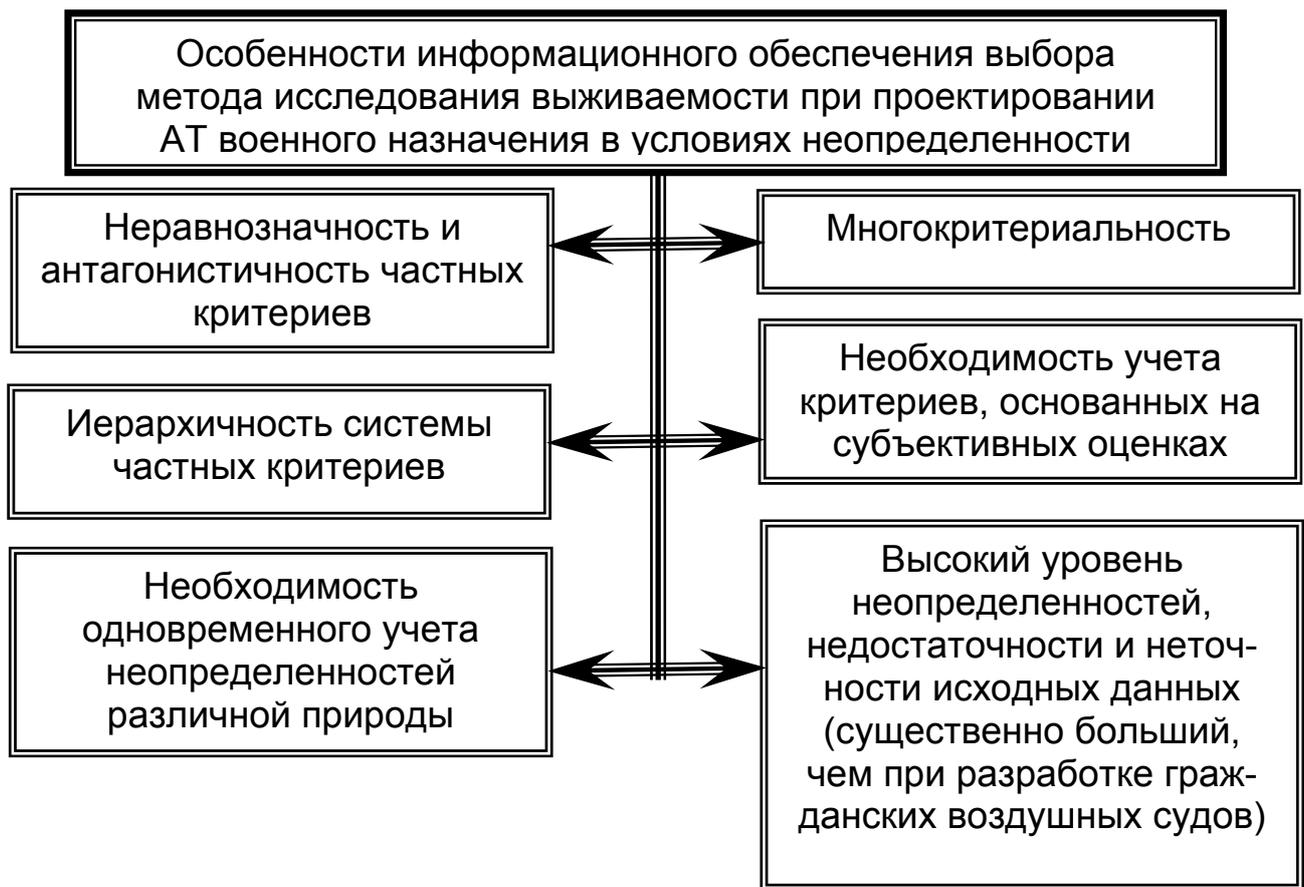
Предварительно следует уточнить используемый терминологический аппарат. Под **боевой живучестью** ЛА понимают способность его планера и бортовых систем сохранять работоспособное состояние несмотря на воздействие поражающих факторов средств противовоздушной обороны (ПВО) противника. В отличие от боевой живучести **эксплуатационная живучесть** – это способность планера и бортовых систем ЛА сохранять работоспособное состояние несмотря на дефекты,

повреждения и отказы его элементов, воздействие нерасчетных условий, а также ошибки технического персонала и летного состава, которые могут иметь место в ходе изготовления, эксплуатации и ремонта ЛА. Проблемы повышения уровня боевой живучести решаются как традиционными методами дублирования, резервирования, бронирования, взаимного экранирования, так и новыми методами, основанными на высокотехнологичных процессах. Однако по мере развития авиационной науки и техники возникала потребность в более общем термине, поскольку целый ряд методов, требующих существенных затрат материальных и интеллектуальных ресурсов и обеспечивающих значительное увеличение эффективности применения ЛА, не мог быть отнесен к его боевой живучести. **Выживаемость** ЛА – его способность избежать воздействия средств поражения или снизить эффективность этого воздействия [1]. Это свойство учитывает не только способность ЛА выполнять свои функции после получения боевых повреждений (живучесть), но и возможность уклониться от воздействия поражающих факторов или вообще не быть обнаруженным в ходе выполнения боевой задачи и, следовательно, не подвергнуться их воздействию, а в общем случае и то, что ЛА может быть уничтожен или приведен в небоеспособное состояние не только в полете, но и на земле. Например, вывод из строя системы навигации или взлетно-посадочной полосы аэродрома переводит базирующуюся на нем АТ в небоеспособное состояние, если при ее проектировании не приняты специальные меры по повышению выживаемости. В некоторых случаях затраты средств и увеличение массы ЛА, направленные непосредственно на увеличение его боевой живучести, могут оказаться менее эффективными, чем мероприятия, касающиеся других способов повышения выживаемости. Решение о реализации того или иного способа принимается на основе тщательного сопоставления затрат массы, времени и средств и получаемого в результате изменения выживаемости по данным физического или компьютерного моделирования с учетом особенностей информационного обеспечения проводимых исследований (рисунок). При этом от осуществимости и достоверности таких исследований зависит успех реализации всего комплекса мероприятий, а значит, и создания нового ЛА.

Следует отметить, что типовые проектно-конструкторские и системные решения, методы экспериментального и, в особенности, расчетно-теоретического исследования их эффективности и компьютерного моделирования происходящих при этом процессов во многом аналогичны используемым при создании гражданских воздушных судов. Однако практически любой процесс разработки интеллектуальной продукции осуществляется **в условиях неопределенности**, и именно совокупности неопределенностей, сопровождающих решение проблем в указанных областях, определяют значительные отличия в методах их решения

и, соответственно, критериях выбора этих методов при общности методов многокритериального анализа результатов экспертной оценки.

Задачи принятия решений в условиях неопределенности сейчас решаются с использованием специально разработанного для этого аппарата теории нечетких множеств [2 – 4] и методов алгебры логики. Нечетко-множественный подход позволяет задавать параметры объектов не только численно, но и на уровне словесных описаний. Это особенно удобно в тех случаях, когда дать точное количественное описание системы либо слишком сложно, либо вообще невозможно по различным причинам.



Классификация особенностей информационного обеспечения выбора метода исследования выживаемости

Разработка АТ военного назначения, обладающей высокой выживаемостью, характеризуется своей **спецификой**:

1. Опыт боевого применения авиации в локальных войнах (в частности во вьетнамской войне) показал, что мероприятия по обеспечению выживаемости АТ должны осуществляться в течение всего жизненного цикла самолета. Начинать эти работы надо с самых первых этапов концептуального проектирования и формирования облика будущего ЛА и продолжать во время его изготовления и эксплуатации.

Срочные доработки техники в ходе боевых действий нерациональны. Они ведут к недопустимому ухудшению летно-тактических характеристик.

2. Рассматриваемые мероприятия должны осуществляться комплексно. Рационально стремиться повысить как надежность, отказобезопасность, эксплуатационную и боевую живучесть, так и выживаемость ЛА в целом.

3. Необходимо учитывать возможность поступления на вооружение противника принципиально новых систем (таких, как лазерное вооружение, взрыво-магнитные генераторы и т.п. [5]).

4. Для современных самолетов увеличилась роль планера как объекта поражения. С одной стороны, современные подходы к проектированию систем позволяют обеспечить высокую надежность, пожаробезопасность, отказобезопасность и живучесть¹. С другой стороны, крыло, фюзеляж и хвостовое оперение, имеют большую площадь. Для них невозможно бронирование. Они имеют острые передние кромки, тонкие профили, что объективно снижает уровень аэродинамической живучести ЛА и повышает вероятность развития опасных аэроупругих процессов.

5. Для современных военных самолетов характерно увеличение маневренности, высотности, скоростных напоров, обеспечение возможности полета на малых и сверхмалых высотах в режиме следования рельефу местности и, следовательно, в условиях интенсивной атмосферной турбулентности.

6. Особенностью создания военной техники являются чрезвычайно высокие темпы выполнения работ. Чтобы избежать морального старения разрабатываемой АТ еще на стадии ее проектирования, весь комплекс работ должен быть выполнен в кратчайшие сроки. Для этого необходимо, в частности, заранее провести фундаментальные, теоретические и методические разработки в области надежности и выживаемости.

Эти особенности процесса проектирования самолетов и вертолетов военного назначения (как пилотируемых, так и беспилотных) определяют **комплексы неопределенностей**, объективное существование которых необходимо учитывать при выборе методов исследования проблем выживаемости создаваемой АТ:

1. Разработка мероприятий по обеспечению требуемого уровня выживаемости осуществляется в темпе, опережающем разработку аэродинамической конфигурации, конструкции и бортовых систем создаваемого ЛА, а также комплектующих, так как стоимость их реализации существенно зависит от сложности внесения изменений в проект (а тем

¹ В соответствии с Техническим заданием на стратегический бомбардировщик Rockwell International B-1A, он способен продолжать управляемый полет и выполнить боевую задачу при попадании двух снарядов в одну и ту же систему, а попадание трех снарядов в одну и ту же систему может привести к срыву боевого задания, но самолет способен продолжить управляемый полет и вернуться на базу.

более в опытные образцы и серийные ЛА). Поэтому работы неизбежно ведутся в условиях недостаточной информации об исследуемом самолете или вертолете.

2. Сведения об используемой вероятными противниками технике, естественно, еще более ограничены и неполны. Если создается ударный самолет (бомбардировщик, носитель крылатых ракет и т.п.), данные о комплексах ПВО стран-вероятных противников крайне ограничены. Не исключено, что часть имеющейся о них информации правильнее отнести к дезинформации. Если создается истребитель, то ограничены и неполны сведения как о характеристиках и конструкции аэродинамических целей, для уничтожения которых он создается, так и об уязвимости и оборонительном вооружении этих целей.

3. Процесс создания нового военного самолета обычно занимает 5 - 10 лет. Примерно столько же лет требуется для его серийного производства в количестве, необходимом для обеспечения обороноспособности страны. После этого желательно, чтобы самолет в течение 10 - 15 лет оставался эффективным, обеспечивая эту обороноспособность. Таким образом, от разработчиков нового военного самолета требуется обеспечить его эффективность, в частности выживаемость, на 30 - 35 лет. Естественно, решение этой задачи характеризуется весьма высоким уровнем неопределенности.

3а. Эффективное разрешение охарактеризованной в предыдущем пункте группы неопределенностей возможно путем более или менее глубокой модернизации авиационной техники. При этом необходимо оперативное проведение комплекса многопараметрических исследований по определению уровня выживаемости, причем исследования эти осуществляются для целого ряда альтернативных вариантов модернизации АТ, из которых только один или несколько наиболее эффективных будут реализованы в металле.

4. Многочисленные и трудно предсказуемые неопределенности связаны, как отмечалось выше, с возможностью поступления на вооружение противника принципиально новых систем поражения ЛА, таких, как лазерное вооружение, взрыво-магнитные генераторы, системы психического и психотропного вооружения и т.п. [5].

5. Симметричная группа неопределенностей связана с возможностью разработки принципиально новых отечественных средств поражения ЛА (как для истребителей, так и ударных самолетов). Проектировщики должны учитывать возможность такой модернизации создаваемой ими АТ.

6. Обычно по прошествии 10 - 15 лет после начала разработки самолета или вертолета при условии выпуска их количества, необходимого для обеспечения обороноспособности страны, уровень секретности его снижается и разрешается экспорт этого самолета или его специально разработанных для экспорта модификаций. Реализация такой воз-

возможности, естественно, привлекательна с финансовой точки зрения, но означает целый комплекс неопределенностей, связанных с эксплуатацией самолета в природно-климатических условиях регионов, которые на момент проектирования АТ неизвестны.

7. Существенные неопределенности связаны с «человеческим фактором», наличием в авиационном комплексе, прежде всего, летного состава, а также операторов наземных средств наведения и навигации, метеослужбы и т.п. При проведении исследований выживаемости и эффективности авиационного комплекса необходимо учитывать возможность их ошибок, утомляемость экипажа (особенно в условиях низковысотного полета при высокой атмосферной турбулентности), а также возможность недостаточной квалификации.

8. Практика последних лет показала, что, несмотря на общее «потепление» политического климата, сохраняется вероятность провокационных полетов зарубежных самолетов. Они могут выполнять разведывательные функции, но при этом иметь на борту гражданских пассажиров (как это имело место в печально известном случае полета южнокорейского самолета над Камчаткой и Сахалином). Для гуманного разрешения таких конфликтных ситуаций рационально иметь возможность принудительной посадки самолета-нарушителя без его уничтожения.

Проведенный авторами анализ специфики процесса создания ЛА военного назначения, а также комплекса объективно существующих при этом неопределенностей, кратко изложенный в настоящей статье, позволяет сформировать **критериальную базу** для ранжирования возможных методов экспериментального и расчетно-теоретического исследования, представляющую собой конкретизацию **комплекса укрупненных требований** к используемым при этом методам:

1. Необходимость адекватного отображения в ходе исследования энергичного маневрирования и сложного пространственного движения получившего повреждения ЛА. Исследование осложняется возникающей в результате повреждения асимметрией аэродинамической схемы и развитием в отдельных зонах срывного обтекания.

2. Если при исследовании безопасности полетов гражданских самолетов первоочередное внимание уделялось режимам взлета и посадки, т.е. полету с явно дозвуковыми скоростями, то применение боевых самолетов связано, как правило, с трансзвуковыми скоростями (максимальными, на которых еще возможно маневрирование пилотируемого аппарата), что еще больше усложняет экспериментальное исследование таких режимов.

3. Острые передние кромки, малая строительная высота несущих агрегатов увеличивают вероятность развития в случае повреждения опасных явлений аэроупругости, что требует при исследовании моделирования жесткостных и частотных характеристик натурального ЛА в неповрежденном и, особенно, в поврежденном состояниях. Возможно разви-

тие как явлений статической аэроупругости (реверса, дивергенции), так и колебательных процессов флаттерной природы (включая срывной флаттер и маховую тряску).

4. Для современных боевых ЛА характерны длинные и тонкие фюзеляжи, отдельно расположенные мотогондолы с многочисленными люками и вырезами, снижающими жесткость, а также широкое распространение интегральной аэродинамической схемы («концепции крыла, объединенного с фюзеляжем»). Из-за этого при исследовании необходимо учитывать упругие и частотные характеристики не только несущих, но и корпусных агрегатов.

5. Возможность повреждения системы управления или связанных с ее работой систем и элементов (датчиков обратной связи, гидросистемы и т.п.) увеличивает вероятность развития опасных явлений автоаэроупругости.

6. Возможность реализации метода в условиях неопределенностей информационного обеспечения: неполной и неточной информации как об исследуемом самолете, так и о воздействиях поражающих факторов на его агрегаты и системы.

7. Оперативность проведения исследований, получение достаточно полной и достоверной информации в кратчайшие сроки, необходимой для выполнения следующих требований:

а) минимизации затрат времени для выполнения исследований по выживаемости, как и всего комплекса работ по проектированию нового ЛА в целях предотвращения его морального старения;

б) сокращения времени таких исследований в ходе модернизации находящегося в эксплуатации ЛА и разработки его модификаций (как связанных с повышением выживаемости, так и направленных на другие способы повышения эффективности: применение новых видов вооружения, маневров и тактических приемов и т.п.);

в) оперативность проведения таких исследований применительно к специфическим природно-климатическим условиям региона предполагаемого экспорта ЛА или специально разрабатываемой для этого модификации;

г) выполнение таких исследований в кратчайшие сроки в ходе расследований летных происшествий и разработки (выборе наиболее эффективных) методов их предотвращения в ходе дальнейшей эксплуатации ЛА.

8. Последняя группа требований объективно противоречива с требованием проведения широких параметрических исследований, изучения процессов и явлений при многочисленных вариантах как повреждений, так и исходного режима полета и действий экипажа.

Конкретизация приведенных укрупненных требований позволяет сформировать **критериальную базу** для выбора наиболее рационального метода (или совокупности двух-трех методов со взаимодополняю-

щими возможностями и преимуществами) экспериментального и расчетно-теоретического исследования проблем повышения выживаемости создаваемой АТ военного назначения

Типовые данные для выбора метода
при проектировании ударного беспилотного летательного аппарата

Исследуемые явления	Динамика полета		Аэроупругость и автоаэроупругость	
	Минимальное	Нормальное	Минимальное	Нормальное
Количество исследуемых вариантов				
Степень (величина) повреждения агрегата или системы	4	7	4	9
Исходный режим полета:				
скорость,	4	4	7	9
высота полета,	3	4	3	4
угол тангажа	3	5	3	3
угол крена	3	5	2	2
перегрузка в момент повреждения	3	6	4	8
Действия экипажа	4	7	3	3
Ошибки экипажа	3	6	2	2
Работа САУ штатная	1	1	1	1
Повреждения САУ	3	5	5	8
Работа САУ с учетом работы бортовой системы диагностики и коррекции законов управления	4	7	6	9
Жесткость несущих агрегатов	—	—	4	5
Жесткость корпусных агрегатов	—	—	4	5
Жесткость проводки управления	—	—	4	6
Частотные характеристики несущих агрегатов	—	—	3	6
Частотные характеристики корпусных агрегатов	—	—	2	4
Частотные характеристики проводки управления	—	—	4	6
Общее потребное количество экспериментов	$18 \cdot 10^4$	$26 \cdot 10^6$	$56 \cdot 10^7$	$15 \cdot 10^{10}$

Значимость отдельных требований, а также конкретизирующих их критериев выбора методов исследования, выражающаяся в присваиваемых им весовых коэффициентов, существенно зависит от конкретных условий проведения исследований – назначения ЛА, накопленного опыта создания ЛА такого назначения, этапа жизненного цикла, на котором проводятся исследования, а в целом – от совокупности неопределенностей, имеющих место в конкретном рассматриваемом случае. Не существует единого, самого рационального метода. Анализ по приведенной методике рационально выполнять для каждой конкретной решаемой задачи. Весьма рациональным представляется проведение такого анализа заранее для ряда наиболее характерных случаев.

При этом следует подчеркнуть высокую значимость для проводимого анализа возможности использовать метод оперативно, его приспособленность к анализу многочисленных ситуаций при варьируемых параметрах. Получить представление о необходимом количестве экспериментов при исследовании проблем повышения выживаемости АТ позволяет приведенная ниже в качестве примера таблица типовых данных для выбора метода при проектировании ударного беспилотного летательного аппарата. Общее количество потребных экспериментов может быть получено по известной формуле прямого декартового произведения:

$$n(A \times B) = n(A) \cdot n(B),$$

где $n(A)$ и $n(B)$ — количества элементов множеств A и B соответственно.

Приведенные в таблице данные показывают, что минимальное количество экспериментов при исследовании проблем, связанных с динамикой полета, составляет 180 тысяч (!!!), а нормальное, достаточно полное исследование требует получения данных о 26 миллионах (!!!) вариантов повреждений и условий их получения. Еще сложнее ситуация при исследовании последствий повреждений АТ, приводящих к развитию явлений аэроупругости и автоаэроупругости. В этом случае минимальное количество анализируемых вариантов составляет $56 \cdot 10^7$, а достаточно полное исследование требует получения данных о $15 \cdot 10^{10}$ вариантах. Такое гигантское количество вариантов при выборе используемого метода или их совокупности выдвигает на передний план критерии стоимости, трудоемкости проведения одного эксперимента, потребных для выполнения программы средств, интеллектуальных и материальных ресурсов и сроков, что выражается в соответствующих значениях весовых коэффициентов критериев.

Выводы

1. Методы, применяемые при исследовании выживаемости самолетов и вертолетов военного назначения, должны обеспечивать возможность учета сложного комплекса факторов, включающих в себя трехмерное пространственное движение, срывное обтекание, явления аэроупругости и автоаэроупругости, отделение частей ЛА и аварийный сброс подвесных грузов, работу САУ и ее возможные повреждения, действия экипажа и его ошибки пилотирования.

2. Определяющей при выборе метода является возможность его применения в условиях проанализированной совокупности неопределенностей, свойственной процессу создания нового образца авиационной техники военного назначения.

3. Проведенный анализ показал чрезвычайно высокую степень многовариантности исследований. Поэтому при выборе наиболее рационального метода исследования или их совокупности первоочередное внимание (выражающееся в высоком весовом коэффициенте) должно быть уделено минимизации затрат времени и средств на анализ одного варианта, возможности оперативного анализа большого их количества.

4. Степень соответствия каждого метода совокупности критериев оценивается весовыми коэффициентами, назначаемыми группой экспертов, включающей в себя специалистов разного профиля. Для обработки и согласования результатов их работы эффективно использовать нечетко-множественный подход.

Список использованных источников

1. Рыженко, А.И. Живучесть авиационных силовых установок [Текст]: учеб. / А.И. Рыженко, В.С. Кривцов. — Х.: Нац. аэрокосм. ун-т "Харьк. авиац. ин-т", 2004. — 659 с.

2. Демидова, Л.А. Принятие решений в условиях неопределенности [Текст] / Л.А. Демидова, В.В. Кираковский, А.Н. Пылькин. — М.: Горячая линия – Телеком, 2012. — 288 с.

3. Борисов, А.Н. Принятие решений на основе нечетких моделей. Примеры использования [Текст] / А.Н. Борисов, О.А. Крумберг, И.П. Федоров. — Рига: Зинатне, 1990. — 184 с.

4. Мураховська, О.А. Управління складними системами в умовах невизначеності [Текст]: навч. посіб. / О.А. Мураховська. — Х.: Нац. аерокосм. ун-т «Харк. авіац. ін-т», 2010. — 88 с.

5. Рыженко, А.И. Причины авиационных происшествий с гражданскими и военными самолетами [Текст]: учеб. пособ. / А.И. Рыженко, В.И. Рябков. — Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1997. — 208 с.

Поступила в редакцию 14.11.2012.

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.В. Бетин,
Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков.*