

КНИГИ

С. С. Семенов, Е. М. Воронов, А. В. Полтавский, А. В. Крынев. «Методы принятия решений в задачах оценки качества и технического уровня сложных технических систем». Под редакцией доктора технических наук, профессора Е. Я. Рубинича. М., ООО «ЛЕНАНД», 2015, 520 стр.



# НАУКА ПРИНЯТИЯ ВЕРНЫХ РЕШЕНИЙ

Арсений ГРИШИН

Все выдающиеся главные конструкторы и ученые оборонно-промышленного комплекса, связанные с созданием образцов ПВН, руководствовались принципом: национальная безопасность России определяется научно-техническим уровнем вооружения и военной техники. Реформирование России в сторону рыночной системы хозяйствования привело к снижению интеллектуального потенциала во многих отраслях. Достигнутое ранее лидерство во многом утрачено. Образовался разрыв между фундаментальными знаниями, позволяющими на высоком научном уровне осуществлять перспективные разработки, и практикой проектирования.

В стране реализуется Государственная программа вооружения на 2011–2020 годы, поставлена задача довести уровень оснащенности Вооруженных Сил новыми образцами ВВТ до 70 процентов. Однако здесь важно вспомнить слова начальника кафедры танков (1938–1945 и 1947–1950) Военной академии инженерно-бронетанковых войск, доктора технических наук, профессора, генерал-майора Н. Груздева: «Если в ходе перевооружения создается техника, равная технике врага, то такое перевооружение следует считать неполноценным».

Коллективом ученых, являющихся авторами представляемой читателям монографии, предложен уникальный научный труд по системному изложению роли и сущности методов принятия решений в задачах оценки качества и технического уровня (ТУ) сложных технических систем (СТС).

Прежде всего здесь четко представлены процесс и основные фазы создания новой техники, прослежен уровень качества на различных этапах ее жизненного цикла. Авторы отмечают, что создание образцов, соответствующих мировому уровню, требует не только наличия высокопрофессиональных специалистов, современной технологической и испытательной базы, но и повышения значимости методического обеспечения в части своевременного принятия научно обоснованных решений при проектировании и производстве, когда важна роль лица, принимающего решение (ЛПР). При этом создание и совершенствование современных СТС рассматривается как процесс инженерного управления их качеством.

В работе изложены наиболее известные методы принятия управленческих решений в разработке СТС, приведена их классификация по уровням и задачам, сформулированы алгоритмические основы для принятия управленческих решений и оценки ТУ СТС. Отдельно рассмотрены методы оценки качества и ТУ СТС, в том числе особенности экспертных подходов. Приводится сравнительный анализ принятия управленческих решений при создании СТС и продукции двойного назначения. Таким образом, в зависимости от решаемой задачи исследователь может выбрать подходящий метод более чем из тридцати описанных.

Подробно рассмотрены методы многокритериальной оптимизации в задачах управления и принятия решений и примеры использования автоматизированных систем поддержки принятия управленческих решений, что является особенно ценным при создании высоко-

конкурентных СТС военного и гражданского назначения.

Исключительно ценным материалом для разработчиков новой техники можно считать предложенные авторами методы по определению функций ценности единичных показателей при оценке ТУ СТС, а также методические подходы к оценке качества и определению уровня разработкой многоуровневых СТС с использованием экспертных оценок:

– комбинированный метод оценки технического состояния и уровня разработки СТС;

– поэтапный метод оценки и определения ТУ многоуровневых СТС;

– комплексный подход к оценке качества и определению технического уровня иерархических СТС;

– метод оценки ТУ СТС с зарождающимися технологиями.

Помимо систематического изложения основных положений системного анализа, процедуры и математических методов принятия решений и оценки качества и ТУ СТС в монографии значительное внимание уделено научно-технической литературе по методам принятия решений, оценке качества продукции и ТУ СТС, в том числе с краткой характеристикой наиболее важной для разработчика (конструктора-проектанта) новой техники, что делает книгу особенно привлекательной.

По замыслу авторов, монография позволит разработчику, конструктору, исследователю не только представить в целом весь процесс жизненного цикла создаваемой или исследуемой СТС, но и понять роль процедуры принятия решений, а ЛПР – выбрать научно обоснованное и единственно верное решение, обеспечивающее мировой уровень разработки.

Все вышесказанное дает основание согласиться с мнением одного из рецензентов, заведующего кафедрой «Системы автоматизированного проектирования» МГТУ им. Баумана профессора А. Карпенко, который отметил, что представленные в монографии подходы, методики, модели, методы и алгоритмы принятия решений по оценке качества и ТУ СТС обладают высокой степенью научно-методической новизны и являются основой для формирования большого числа технологий, предназначенных для решения широкого круга прикладных задач в области СТС, в частности в области сложных систем вооружения. По мнению рецензента, в теоретическом плане монография охватывает все указанные подходы и в ответственной, и, вероятно, в мировой литературе, является беспрецедентной по широте охвата проблем проектирования СТС.

Книга написана на высоком профессиональном уровне, и несмотря на математическую строгость изложения, легко читается. Она будет полезна главным конструкторам, разработчикам и специалистам-проектантам при создании современных высокотехнологичных систем, а также представителям научно-исследовательских организаций Минобороны. Также книга представляет значительный интерес для профессорско-преподавательского состава вузов, аспирантов и студентов, специализирующихся в области системного анализа, оптимизации и принятия решений, слушателей, адъюнктов, преподавателей и профессоров военных учебных заведений.

ЦЕНА ВОПРОСА

# МУСОРНАЯ ГОЛОВОВОЛОНКА

Хью ЛЬЮИС, старший преподаватель кафедры авиа- и ракетостроения Университета Слутгемптон

В настоящее время политические деятели, ученые, технические специалисты и широкая общественность глубоко осознают проблему разрастания космического мусора. Благодаря фундаментальному труду Дж.К. Лиувилля и Николаса Джонсона, изданному в 2006 году, мы понимаем, что уровень засоренности скорее всего продолжит свой рост и в будущем, даже если прекратить все запуски. Причиной такого устойчивого роста являются столкновения, которые, по ожидаемым прогнозам, будут иметь место между спутниками и ступенями ракет, уже находящимися на орбите. Это сильно беспокоит многих операторов спутниковой связи, которые вынуждены принимать соответствующие меры для защиты своих активов.

Некоторые специалисты полагают, что эти инциденты станут всего лишь началом целой серии столкновений, которые сделают почти невозможным доступ к низкой околоземной орбите. Обычно это явление, которое впервые детально описал консультант НАСА Дональд Кесслер, называют синдромом Кесслера. Но реальность, вероятнее всего, будет сильно отличаться от подобных прогнозов или событий, показанных в художественном фильме «Гравитация». Действительно, результаты, представленные в Межведомственный координационный комитет по космическому мусору (МККМ) на шестой Европейской конференции по означенной теме, продемонстрировали ожидаемое увеличение количества мусора всего на 30 процентов в течение 200 лет при непрекращающихся запусках.

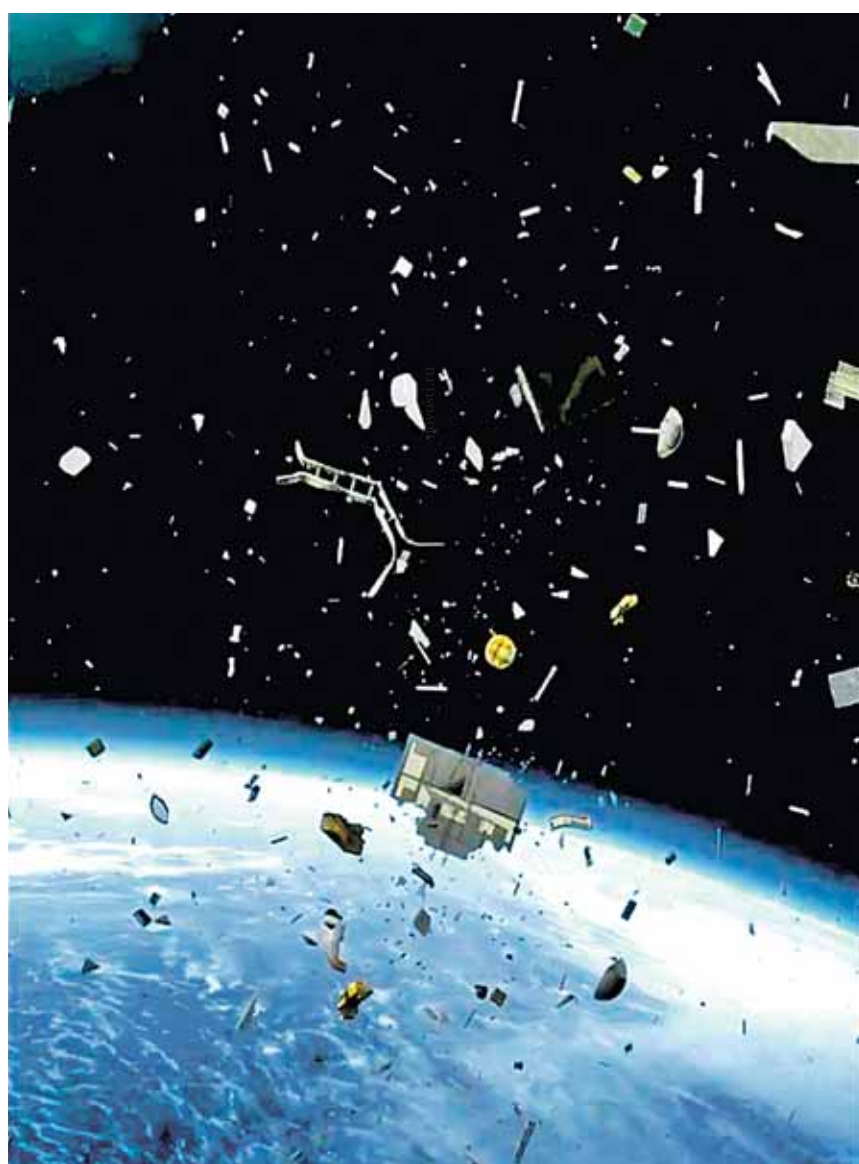
Столкновения все еще будут происходить, но реальность окажется далека от того катастрофического сценария, которого некоторые так опасаются. Рост количества космического мусора можно свести до вполне скромного уровня. Предложение МККМ состоит в широком распространении и четком соблюдении руководящих принципов предупреждения образования космического мусора, особенно в отношении нейтрализации источников энергии, которые к концу полета должны полностью выработаться, и утилизации после окончания полета. Тем не менее, с точки зрения МККМ, ожидаемый рост количества мусора, несмотря даже на предпринимаемые усилия, все-таки требует внедрения дополнительных мер по борьбе с имеющимися факторами риска.

## ПРОГРЕСС ОТСУТСТВУЕТ?

Значительный интерес, проявляемый к рекультикации космической среды, был отмечен спустя девять лет после публикации работы Лиувилля и Джонсона. В частности, по всему миру предпринимались определенные шаги для разработки методов удаления объектов с низкой околоземной орбиты. Европейское космическое агентство, например, недавно объявило о своем намерении добиться поддержки правительства с целью выведения с орбиты европейского космического летательного аппарата в следующем десятилетии. Агентство провело многочисленные исследования, чтобы определить рациональные и надежные способы для достижения цели. Ключевым элементом планирования послужили компьютерные модели засоренного пространства, показавшие, что рост популяции мусора можно предотвратить, если удалить определенный космический корабль или ступени ракеты. В компьютерных симуляциях эти объекты идентифицируются как наиболее подверженные столкновению, поэтому после их удаления с орбиты число столкновений должно резко сократиться, что предотвратит появление нового мусора в результате разлета обломков.

С момента публикации работы Лиувилля и Джонсона прошло уже почти десять лет, и удивительно, что

## ОЧИСТКА БЛИЖНЕГО КОСМОСА ГОРАЗДО СЛОЖНЕЕ, ЧЕМ КАЖЕТСЯ НА ПЕРВЫЙ ВЗГЛЯД



Проблема загрязнения космического пространства волнует все аэрокосмическое сообщество. Такое гипотетическое развитие событий на околоземной орбите, как синдром Кесслера, предвещающий вышедшее из-под контроля образование космического мусора, взбудоражило даже популярные средства массовой информации. Понятно, что назрела необходимость проведения фундаментальных исследований, чтобы понять, какую опасность в себе таит даже небольшой осколок, и подсчитать, сколько мы готовы заплатить за очистку космического пространства.

на международном или национальном уровне не представлены какие бы то ни было методологические принципы, четко определяющие мероприятия по ликвидации последствий загрязнения околоземного пространства. Кажется, что присутствует некоторая апатия в отношении разработки методики процедуры удаления мусора, несмотря на призывы к действию. Но так ли это на самом деле?

А на самом деле ситуация не так проста, как кажется. В отношении процедуры удаления космического мусора есть некоторые фундаментальные вопросы, на которые еще предстоит ответить. Особую озабоченность вызывают проблемы, связанные с собственностью, ответственностью и прозрачностью. Например, многие технологии, предлагаемые для удаления мусора, также можно использовать для удаления или отключения активного космического корабля. Следовательно, можно ждать обвинений, что эти технологии являются оружием. Есть также вопросы, касающиеся стоимости последовательной программы удаления мусора. Некоторые технические специалисты оценили ее в десятки триллионов долларов.

Однако, возможно, самая важная причина отсутствия адекватных методологических принципов кроется в том, что мы еще не знаем, как проводить рекультиацию, под которой на практике понимаем очистку космического пространства. Но это не означает, что мы не знаем, какие технологии нам нужны.

Практически уже разработаны алгоритмы для однократного применения. Реальная проблема возникает из простой, казалось бы, задачи: определить «правильный» мусор для удаления с орбиты. И пока мы не сможем решить эту проблему, похоже, рекультировать космос нам будет не по силам.

## ИГРАЕМ В ОБЛОМКИ

Чтобы осознать проблематичность решения такой простой с виду задачи, как выявление мусора, подлежащего удалению, мы используем аналогию игры с колодой из 52 обычных игральные карт. В этой аналогии каждая карта представляет собой объект, находящийся в космическом пространстве, который нам, возможно, захочется удалить, чтобы предотвратить столкновение. После сдачи карт мы кладем на стол каждую карту по отдельности лицом вниз. Наша цель сейчас – попытаться определить тузы и удалить их со стола, поскольку именно эти карты представляют собой спутники или другие крупные объекты космического мусора, которые могут стать участниками столкновения в какой-то момент в будущем. Мы можем удалить со стола столько карт, сколько захотим, но всякий раз, когда будем удалять одну карту, мы должны

заплатить 10 долларов. Кроме того, по мере удаления мы не имеем права смотреть на карту (если спутник удалится с орбиты, мы не можем с уверенностью сказать, что именно он мог бы стать участником столкновения). Наконец, мы должны заплатить 100 долларов за каждую тузу, что осталась на столе, который представляет собой потенциальные убытки, возникающие в результате столкновения с участием наших спутников (в реальности стоимость замены спутника может колебаться от 100 тысяч долларов до двух миллиардов).

Ну и как нам решить эту задачу? С обратной стороны все карты одинаковы, поэтому нет никакой возможности установить, где тузы, а единственный способ удостовериться, что мы сняли все тузы, – это убрать со стола все карты.

✓ Многие технологии, предлагаемые для удаления мусора, также можно использовать для отключения активного космического корабля

На нашем примере это будет стоить максимум 520 долларов. В космическом пространстве перед нами стоит такая же проблема: мы не знаем точно, какие объекты могут быть вовлечены в столкновения, но это слишком дорого, чтобы удалить их все, поэтому мы вынуждены выбирать. Давайте предположим, что мы решились на выбор: чтобы удалить одну карту на сумму 10 долларов, какова вероятность того, что мы сняли туз? Ну вероятность того, что карта является тузом, – четыре делится на 52, другими словами, примерно 0,08 или 8 процентов. Таким образом, вероятность того, что карта не является тузом, – 92 процента. Именно такая вероятность, что мы зря потратили наши 10 долларов.

Что произойдет, если на этот раз мы возьмем вторую карту (которая будет стоить нам еще 10 долларов)? Вероятность того, что вторая карта – туз, зависит от факта, была ли тузом первая карта. Если бы это было так, то вероятность того, что вторая карта также является тузом, – три делим на 51 (потому что сейчас остались только три туза в колоде, которая уменьшилась на одну карту). Если первая карта не туз, то вероятность того, что вторая карта является тузом: четыре делим на 51 (потому что в уменьшившейся колоде остались еще четыре туза).

Мы можем использовать этот метод для определения вероятности того, что мы сняли оба туза, – просто умножаем вероятности, чтобы найти ответ: 4/52

умножаем на 3/51, что дает нам вероятность 0,0045 или 0,45 процента стоимости 20 долларов за две удаленные карты. Не очень обнадеживающе.

Тем не менее мы также можем определить вероятность удаления минимума одного из тузов. После снятия двух карт существует вероятность 15 процентов, что мы успешно удалили по крайней мере один из тузов. Это звучит более обнадеживающе, но шансы и теперь не особо хороши.

Оказывается, чтобы увеличить шансы снятия хотя бы одного из тузов, нам нужно удалить более девяти карт (стоимостью 90 долларов) или более чем 22 карты (стоимостью 220 долларов), если мы хотим быть уверены на 90 процентов, что мы сняли одного из тузов. Даже если мы добьемся успеха, три туза до сих пор все еще остаются на столе, так что в общей сложности нам все равно придется заплатить 520 долларов, которые по совпадению составляют ту же сумму, что нам пришлось заплатить, если бы мы выбрали вариант с удалением всех карт.

## ИГРЫ КОНЧИЛИСЬ

По возвращении из нашей аналогии обратно в реальную космическую среду ситуация представляется более тревожной. В настоящее время с помощью сети станций США для наблюдения за космическим пространством на орбите отслеживается примерно 20 000 объектов, причем около шести процентов из них являются объектами с массой более одной тонны, которые гипотетически могут участвовать в столкновении и которые мы, возможно, захотели бы удалить. В карточной аналогии наша проблема заключается в том, что «рубашка» всех карт одинакова и вероятность того, что одна является тузом пик, такая же, как и вероятность того, что другая тоже туз. Здесь нет способа определить нужные карты и удалить их со стола. В действительности наши шансы предотвращения столкновения намного выше, чем в карточной игре, потому что на орбите просматривается вероятность вовлеченности некоторых объектов в столкновения и мы можем сосредоточить свое внимание на них. Например, объекты, которые находятся на густонаселенных орбитах, таких как геостационарные, на высотах между 600 и 900 километрами наиболее вероятно будут вовлечены в столкновения из-за перегруженности этой зоны. Если мы сфокусируем свое внимание на подобных объектах (и других на аналогично перегруженных орбитах) и учтем прогнозы возможности их столкновения, то получится, что мы должны удалить около 50 объектов в целях сокращения ожидаемого числа катастрофических столкновений всего на одну единицу, что следует из результатов исследования, предпринятых членами космического агентства МККМ.

И выходит, что даже если несколько объектов могут подлежать удалению одним космическим кораблем-«чистильщиком» (а пять целевых объектов представляются универсальной альтернативой), множество полетов – часто сложных и претенциозных – предстоит предпринять только для предотвращения одного столкновения.

Почему мы не в состоянии более точно спрогнозировать вероятность столкновений и удалять только те объекты, которые, как мы знаем наверняка, будут опасны? Существует множество параметров, которые могут повлиять на траекторию спутника, в том числе ориентация спутника, будь то беспорядочное движение или космическая погода (которые могут повлиять на аэродинамическое сопротивление, испытываемое спутником). Даже небольшие погрешности в начальных значениях могут привести к большим расхождениям в результатах расчета положения спутника по сравнению с реальностью, причем после относительно короткого периода. На самом деле мы пользуемся той же методикой, что и синоптики: мы задействуем модели для генерации вероятности конкретных результатов, но не факт, что эти результаты когда-либо будут получены.

Таким образом, мы располагаем технологиями, которые от случая к случаю можно использовать для удаления космического мусора. Такова позиция, занимаемая Европейским космическим агентством с их плановой миссией e.Deorbit, но остались еще проблемы, которые необходимо решить для выявления объектов, наиболее пригодных для удаления. Эти проблемы должны быть решены до того, как необходимые директивы и методологические принципы смогут быть предоставлены тем, кто заинтересован в подготовке долгосрочной программы удаления космического мусора, которая необходима для эффективного восстановления окружающей среды.

Методологические принципы с точки зрения конкретных объектов, их количества, требований и ограничений имеют важное значение для повышения вероятности того, что усилия, предпринимаемые с целью восстановления окружающей среды, будут эффективны и целесообразны. Для выработки подобных методологических принципов мы должны пересмотреть наши необоснованные ожидания благоприятного исхода.

Материал опубликован в международном журнале ROOM (главный редактор – Игорь АШУРБЕЙЛИ)

**АО «Арзамасский приборостроительный завод имени П. И. Пландина»**

**ПРИБОРЫ ДЛЯ АВИАЦИИ**

**Гироскопические датчики первичной информации**  
Динамически настраиваемый гироскоп с датчиком положения ДНГДП-3001  
Динамически настраиваемый гироскоп ДНГ-2001  
Микромеханический акселерометр ММА

**Привода**  
Механизм исполнительный МИ-2  
Механизм исполнительный МИ-1  
Привод газовый ПГ-15; ПГ-25  
Блок рулевых электроприводов машин БРЭМ-Э  
Блок рулевых приводов БРП-19, БРП-17-1  
ДБМ38-двигатель с возбуждением  
от постоянных магнитов электроприводов

**Системы предупреждения об обледенении**  
Комплексный автомат управления по температуре нагревателей КВАНТ-1М  
Сигнализатор обледенения со-121М, 121ВМ

Россия, 607220, Нижегородская область, г. Арзамас, ул. 50 лет ВЛКСМ, д. 8А  
Телефоны: +7 (83147) 7-91-21, 7-91-20  
Факс: +7 (83147) 7-91-25  
E-mail: apz@oaoapz.com  
www.oaoapz.com