



## Беспилотные авиационные системы. Проблема идентификации\*

Совместно с Г.М. Алакозом, В.П. Кутаховым, С.И. Пляской

### Введение

Несмотря на эпизоды эффективного использования беспилотных летательных аппаратов (БЛА) и беспилотных авиационных систем (БАС), в состав которых БЛА входят в качестве основных компонентов, следует признать, что призывы к их массовому применению и серийному производству вплоть до отказа от пилотируемой авиации чаще всего носят эмоциональный характер, что неоправданно увеличивает риски вложения всех видов ресурсов на их создание.

В результате увеличение объемов финансирования на создание широкого спектра БАС различного функционального назначения с неясными пока целями может оказаться не только малоэффективным, но и даже вредным для других направлений развития отечественной авиации как крупномасштабной системы.

Аналогичные ситуации в развитии нашей авиации случались неоднократно, и все они были обусловлены информационной, а по существу, провокационной составляющей конкурентной борьбы за сохранение научно-технического превосходства и соответствующих рынков сбыта авиационной техники. По этой причине, почти все призывы к созданию отечественной авиационной техники по прямой аналогии с авиационными комплексами ведущих зарубежных стран следует считать, мягко говоря, ошибочными. Это утверждение относится ко *всей авиационной технике* – военного, специального и гражданского назначения, так как авиация во всей своей совокупности представляет обязательную компоненту обеспечения национальной безопасности страны, а ее беспилотная составляющая является неотъемлемой частью развития робототехники.

В этой связи следует по максимуму использовать опыт развития отечественной авиации, которая всегда обеспечивала удовлетворение двух главных и взаимно противоречивых требований: опережающий инновационный характер развития всей промышленности и достаточный уровень национальной безопасности государства в каждый момент времени.

Чтобы удовлетворить эти требования, в первую очередь необходимо провести четкую научно обоснованную грань между сферами использования пилотируемой и беспилотной авиацией, а также между человеком-оператором и автоматом.

Внедрение всякого научно-технического достижения начинается с его идентификации, то есть с определения положительных, отрицательных и, может быть, еще непонятных признаков и последствий его применения. В большинстве случаев такая идентификация происходит в неформализованном виде и под влиянием так или иначе организованного общественного мнения. Очень редко научно-техническая полемика достигает уровня *системной идентификации*, столь необходимой для удовлетворения общественных потребностей в интересах государства.

В нашей стране инновационный уклад экономики и промышленности находится в стадии формирования и поэтому проведение опережающих исследований по системной идентификации передовых достижений представляется обязательной процедурой в перспективной системе государственного технического регулирования. Безоглядное подражание зарубежному опыту развития сложной техники, вплоть до реализации массовых импортных поставок, приводит, как показала практика, к невосполнимой потере времени и, что еще хуже, к вынужденной перестройке промышленности для решения проблемы импортозамещения.

\* Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2016): труды Девятой междунар. конфер., 3-5 окт. 2016 г., Москва: в 2-х т. – Т. 2:– М.: ИПУ РАН, 2016, с. 48-55.



Общепринятый подход к организации работ по системной идентификации отсутствует. Отечественные наработки по внедрению научной организации труда забыты. Заимствование иностранного опыта в организации военного строительства во многом по разным причинам неприемлемо. Творческие процессы по распознаванию отличительных признаков явлений и объектов, что по существу является идентификацией последних, достаточно разносторонне и успешно применяются в естественных науках. Специально проведенные исследования творческих процессов естествознания показали, что они упорядочены, универсальны и их можно *структурировать*, отвечая на шесть главных вопросов [1]:

- а) каковы особенности целевых назначений и решаемых задач инновационных проектов;
- б) в чем заключается принципиальная новизна конструктивных решений и качественного совершенства образцов техники;
- в) откуда можно взять необходимые ресурсы для их создания и внедрения;
- г) в чем существо проблемных аспектов конструирования, испытаний и серийного производства;
- д) каковы особенности процедур поставки, хранения и сервисного обслуживания;
- е) есть ли возможности оптимизации процесса создания и развития искусственного объекта (в нашем случае – БАС).

Витасистемный анализ [2] ответов на эти вопросы при создании и использовании сложных технических систем, включая и БАС, указывает, что все полученные варианты ответов на каждый вопрос взаимосвязаны и должны быть согласованы. Необходимое и достаточное число таких взаимных согласований равно десяти. Только при положительном согласовании результатов пяти стадий по десяти отношениям становится возможным принятие интегрального решения – «делать» или «не делать». Это, в принципе, позволяет оценить риски интуитивных решений типа «пока надо делать, а там посмотрим» или «подождем – пока не горит».

Если взглянуть на сложившуюся ситуацию по идентификации БАС и БЛА с (вита)системных позиций, то можно убедиться, что она по объективным и субъективным причинам пока носит незаконченный и неупорядоченный характер.

*Цель настоящей работы* – оценить состояние и указать проблемы, которые свойственны поиску ответов на каждый из перечисленных выше вопросов идентификации и в целом для принятия интегральных решений.

## **1. Задачи и возможности БЛА**

Понятие «беспилотный летательный аппарат» не является новым. Оно образовалось практически одновременно с появлением авиации, означая летательный аппарат, способный совершать полет без пилота на борту. По мере того, как появлялись новые типы подобных ЛА, указанное понятие насыщалось и дополнялось новыми аспектами. Так, например, беспилотными ЛА называются авиационные модели, пилотируемые с земли в пределах прямой видимости. Таким же термином именуются, например, воздухоплавательные шары с регистрирующей аппаратурой, уносимые воздушными течениями на десятки тысяч километров.

Классическими образцами современных типов БЛА можно считать управляемые крылатые ракеты (УКР), которые могут запускаться с пилотируемых ЛА, с наземных неподвижных и мобильных средств, с кораблей и подводных лодок. В настоящее время им присущи высокоинтеллектуальные формы автономного выбора наилучших вариантов полета [3].

Одновременно существует большое количество ЛА, полеты которых частично осуществляются без вмешательства пилотов (полеты воздушных судов на «автопилоте», программируемые полеты пилотируемых самолетов-мишеней в зоне поражения после покидания их экипажем и т. п.). На современном этапе развития техники к беспилотникам



можно отнести все многообразие образцов высокоточного оружия, для которых в значительной степени все более характерными становятся признаки самонаведения за счет использования аэродинамических сил. Многие космические типы ЛА можно считать беспилотными. Развитие парашютных систем приводит к появлению БЛА на основе дельтапланов и парапланов.

Учитывая существенное многообразие целевых и конструктивных особенностей использования перспективных БЛА целесообразно для начала провести их системную идентификацию только в *пределах сферы авиационной деятельности*, что не исключает, а, наоборот, будет способствовать развитию дальнейшей системной идентификации БЛА в других сферах применения.

Первоначально нужно выявить те принципиально новые признаки БЛА, которые ориентированы на новый уровень решения авиационных задач. Это предполагает необходимость проведения анализа по следующим направлениям:

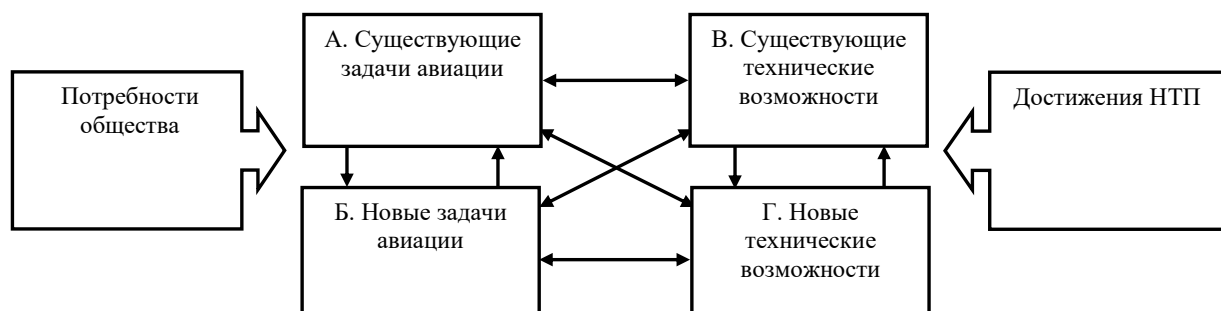
- какую нишу БЛА занимали и будут занимать в общей структуре авиационной техники;
- какими принципиальными преимуществами и недостатками обладают и будут обладать БЛА в различных вариантах своего применения;
- какие традиционные и новые авиационные задачи могут и/или должны решаться на основе использования БЛА.

В соответствии с принятым ранее ограничением на целевое назначение общим для всех типов БЛА можно считать их направленность на решение авиационных задач. Для этого целесообразно принять следующее исходное определение:

*Авиация* – транспортно-информационная система, предназначенная для перемещения людей и полезных грузов, а также сбора и трансляции информации в воздушном пространстве с использованием, в основном, аэродинамической подъемной силы.

Данное определение не является энциклопедически и организационно точным. Оно лишь позволяет ограничить рассмотрение роли, места и особых признаков БЛА форматом технической структуры авиации.

Важным обстоятельством следует считать то, что *принципы системной идентификации* строятся на совмещении двух встречных подходов (см. рис. 1). С одной стороны, появление и внедрение БЛА, как нового достижения научно-технического прогресса, должно возникать в результате формирования целого ряда потребностей общества (геополитических, оборонных, хозяйственных, социальных и т.п.). Появление новой потребности всякий раз требует пересмотра существующих и формирования новых задач авиации, что в результате заканчивается очередной разработкой технических требований к авиационной технике. Этот подход отражает интересы заказчиков (потребителей).



$$(A+B) \rightarrow (B+AG) \rightarrow BG \rightarrow$$

$$(G+V) \rightarrow (GA+VB) \rightarrow GB \rightarrow (V+A)$$

Комплексный подход

$$(A+B) \leftrightarrow (V+G)$$

Рис.1. Принципы системной идентификации авиационной техники

С другой стороны, развитие научно-технического облика БЛА может происходить опережающим темпом по сравнению с осознанием общественной потребности. В этом случае должна происходить предварительная оценка вариантов улучшения существующих и/или создания новых типов авиационной техники, в нашем случае – БЛА. Такой подход отражает интересы производителей.

Превалирование второго подхода перед первым означает приоритетность коммерческого подхода над государственным. Опасность такого подхода в авиации проявилась при создании самолетов *F-22* и *F-35*, где ожидаемая значимость новых технических возможностей субъективно была преувеличена, что привело к автономному формированию новых задач (направление ГБ на рис.1). Этот вариант событий предельно усложняет и затягивает процесс осмысления и внедрения научно-технического достижения, так как образует, по крайней мере, четыре группы коллективных интересов, которые надо попарно согласовывать (на рисунке 1 коллективы обозначены как А, Б, В, и Г). На практике коммерческий подход по времени и по степени оптимальности комплексного решения становится трудно выполнимым.

Если осуществлять государственный подход в условиях, когда образование коллективов Г и Б уже состоялось, то алгоритм поэтапного согласования положительных решений все равно остается продолжительным (левая нижняя часть рисунка 1), а комплексное решение может оказаться недостижимым по срокам, определяемым геополитическими и оборонными потребностями.

Таким образом, единственно правильным требованием к успешному внедрению передовых технических и технологических достижений следует считать комплексный подход, осуществляемый с приоритетом государственных интересов. В этом случае государственный заказчик является заинтересованной стороной в успешном выполнении традиционных и новых задач при их оптимальном техническом обеспечении со стороны единого разработчика. Последний при таком подходе отвечает за обновление традиционных и разработку новых технических решений с использованием соответствующего научно-технического достижения.

## 2. Особенности БАС как объектов идентификации

Применительно к БЛА все сказанное означает, что их появление нужно, в первую очередь, рассматривать не автономно, а в совокупности с существующими авиационными комплексами (АК). Если рассматривать техническую структуру авиации как транспортной крупномасштабной системы, то в ней можно выделить четыре основные компоненты, взаимодействующие как единое целое (см. рис. 2):

- структура управления полетами;



- парк летательных аппаратов (самолетов, вертолетов и др.);
- структура сервисного обслуживания;
- структура базирования.

Каждая авиационная задача выполняется как некоторая совокупность полетных заданий. Каждое полетное задание (ПЗ) выполняется соответствующим АК, в составе которого согласованно взаимодействуют пять основных компонентов: центр управления полетами (ЦУП); пилотируемый летательный аппарат (ПЛА), как специальная транспортная платформа; экипаж; полезный груз, который транспортируется в воздушном пространстве; комплекс средств базирования и обслуживания.

В традиционном понимании под термином «авиационный комплекс» или «воздушное судно» часто подразумевается ПЛА с экипажем и полезным грузом. Такое определение следует считать ограниченным и для целей идентификации БЛА *в формате авиационных задач* неприемлемым. Для выполнения каждого полетного задания нужны соответствующие условия базирования, сервисное обслуживание и внешняя система управления полетами. Отметим, что наземные составные части АК по стоимости создания и применения обходятся в 4-5 раз дороже, чем летающие платформы [2].

Определение АК, состоящего из указанных пяти основных компонентов, является системным и универсальным, то есть свойственным любому типу ЛА. Для примера показаны принципиально одинаковые структуры комплексов разведывательной авиации (РА) и фронтовой авиации (ФА).

Одновременно с созданием авиации четвертого поколения возникли авиационные ракеты типа «воздух – поверхность» и «воздух – воздух», каждая из которых представляет собой самостоятельный БЛА. В настоящее время их конструктивное совершенство и принципы автономного полета достигли уровней реализации так называемого «искусственного разума». В структуре пилотируемых АК современные и перспективные БЛА до пуска выполняют функцию полезного груза, а после воздушного старта становятся отдельными летающими платформами, полет которых контролируется и корректируется экипажами носителей и/или операторами, находящимися на внешних (космических, воздушных, наземных, надводных) командных пунктах.

Для завершения идентификации остается неясным один принципиальный вопрос: «Способны ли БЛА автономно, без внешнего управления и какой-либо предварительной подготовки выполнить ту или иную задачу?». Если это так, то их можно было бы считать самостоятельным типом авиационной техники, а предыдущие доводы должны быть пересмотрены.

Ответ на этот вопрос фактически упирается в оценку возможностей замены человеческого разума некоторым «искусственным интеллектом». С одной стороны, подобные исследования способствуют быстрому развитию вычислительной техники и информационных технологий. С другой стороны, они стимулируют уникальные исследования особенностей человеческого сознания, как основы принятия решений [2,3,4]. Однако, единая модель процесса принятия решений, пригодная для сравнительного анализа возможностей человеческого и искусственного разума отсутствует.

Для анализа возможностей автономного применения БЛА предлагается использовать типовой контур принятия и реализации решений, который свойственен функционированию современных АК в процессе выполнения полетного задания (рис. 3). Данный типовой контур является достаточно сложным.

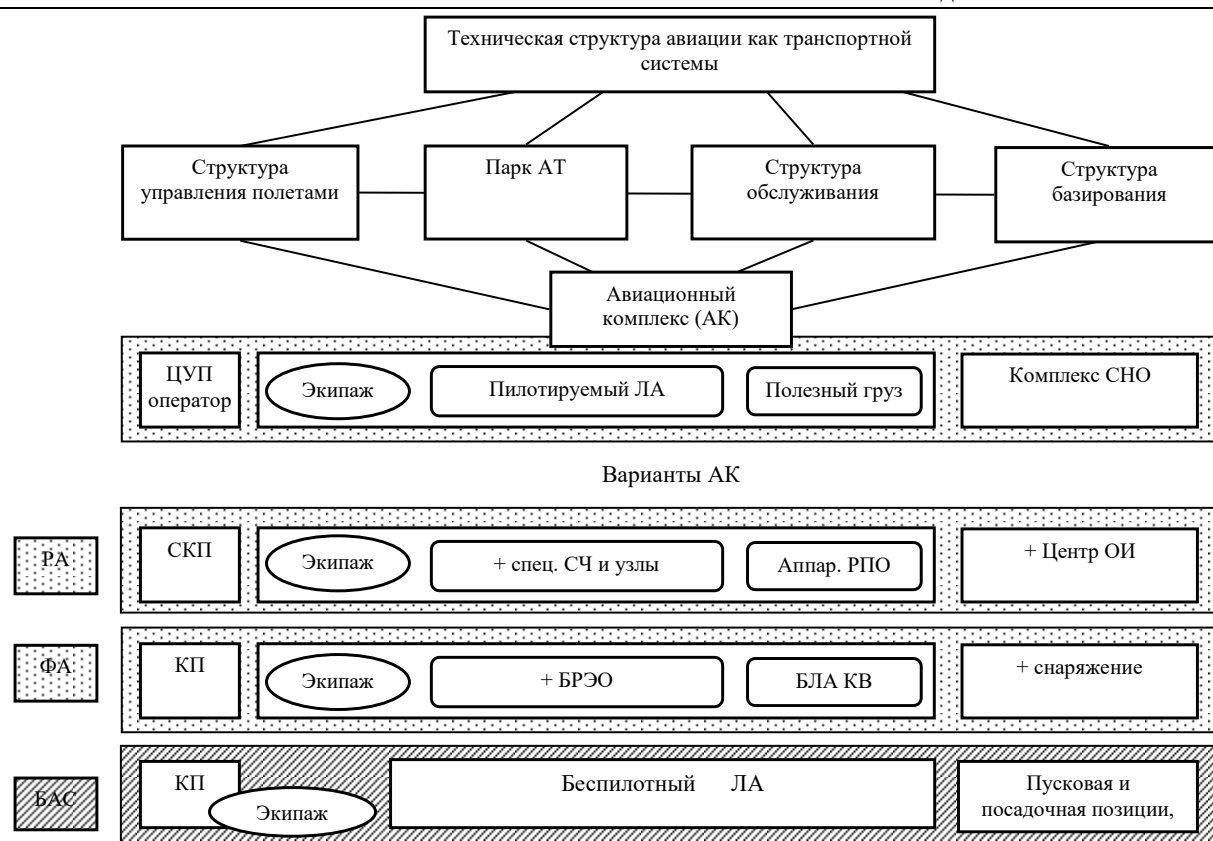


Рис.2. Место БАС в совокупности авиационных технических структур

Экипаж пилотируемого летательного аппарата (ПЛА) осуществляет постоянное взаимодействие с внутренними объектами управления (конструктивными блоками и полезным грузом), находящимися на борту летающей платформы. Указанное взаимодействие происходит в границах внутреннего контура управления (на рисунке 3 большой круг, обозначенный «ПЛА»). Для этого соответствующие датчики регистрируют состояние указанных внутренних объектов, а соответствующая аппаратура передает, обрабатывает и отображает информацию в кабине экипажа.

Происходит процесс периодического *распознавания и оценки ситуации* на борту ПЛА. При необходимости экипаж принимает и реализует решения о *потребных воздействиях* на соответствующие объекты управления, изменяя их состояние, и вновь получает подтверждение о новой ситуации на борту ПЛА. В этом же внутреннем контуре управления обрабатывается информация о параметрах внешней среды, которая влияет на решения об изменении режимов полета.

В целом видно, что в функционировании внутреннего контура управления ПЛА можно выделить три подвида его реализации:

- контур интеллектуального управления;
- контур автоматического управления;
- контур автоматизированного (смешанного) управления, когда окончательное решение принимает экипаж с учетом автоматической подсказки его возможных вариантов.

Кроме того, экипаж периодически взаимодействует с внешними операторами системы управления полетами, с экипажами других ЛА как участниками совместного выполнения групповых полетных заданий, так и находящихся в смежных воздушных зонах. Особенно большая нагрузка по принятию решений выпадает на долю боевых экипажей, когда целью полета становится разведка состояния и/или оказание воздействия на внешний объект. Тогда значительная часть полета происходит в условиях дополнительного активного противодействия внешним (воздушным и наземным) средствам.

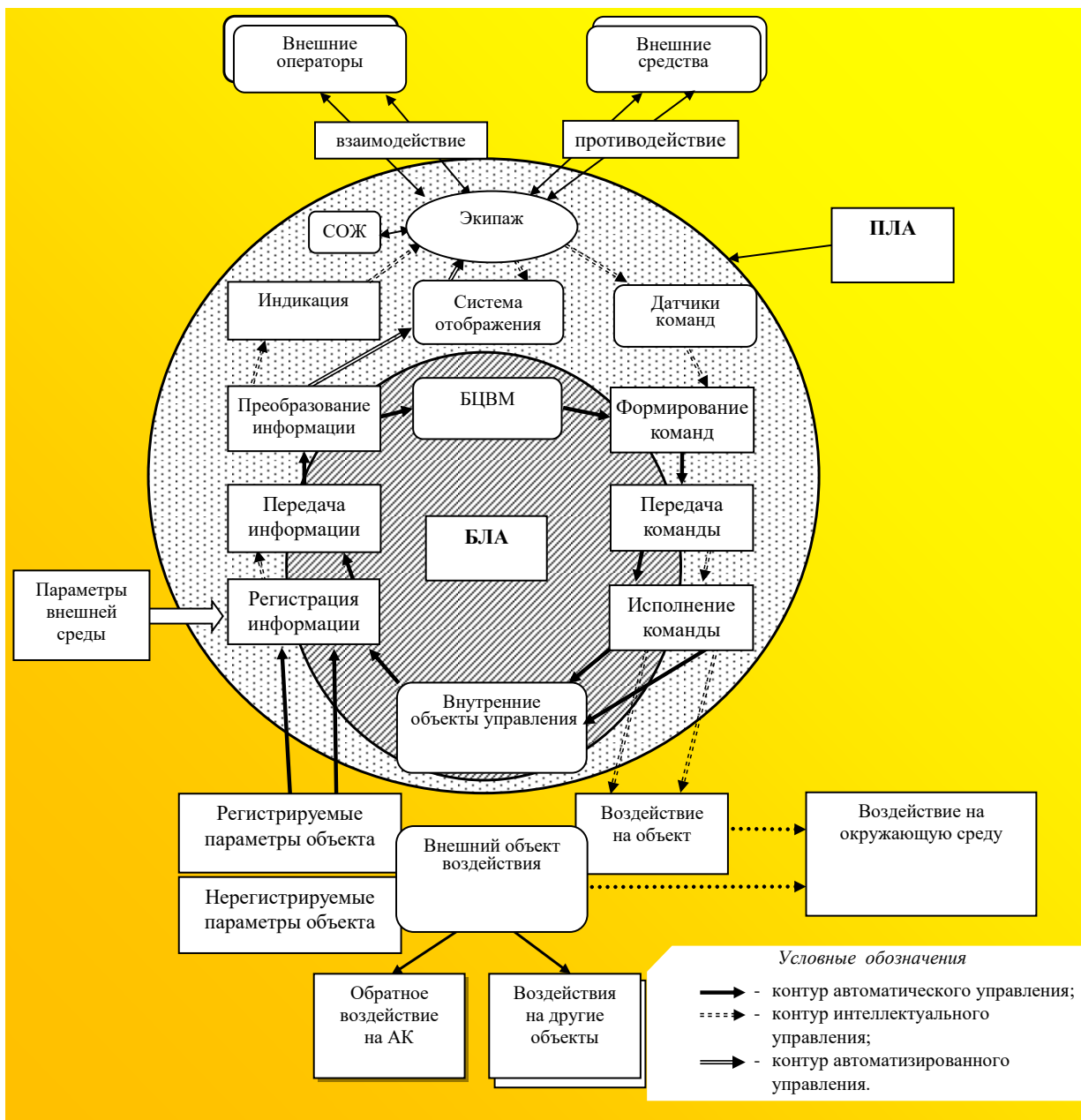


Рис.3. Типовой контур принятия и реализации решений в процессе выполнения полета

В большинстве случаев можно считать, что все предыдущие этапы полета преследуют цель создания необходимых условий для успешного выполнения воздействия на объект. В сопровождающем эту задачу активном взаимодействии экипажу приходится учитывать следующие факторы:

А) Совокупность регистрируемых параметров, характеризующих состояние интересующего объекта, как правило, ограничена по номенклатуре и достоверности. По этой причине *распознавание признаков и динамики поведения* внешнего объекта во многом зависят от знаний, опыта и интуиции экипажа.

Б) Выбор вида воздействия на внешний объект и соответствующих оценок последствий его реализации, из которых основными являются:

- деморализация персонала и принуждение объекта к прекращению опасного функционирования;



- временное прекращение опасного функционирования;
- частичное конструктивное разрушение;
- структурно-функциональные нарушения системы управления;
- полное физическое уничтожение.

Могут быть и комбинации указанных вариантов во времени и по распределению внутри множества разнотипных внешних объектов воздействия. Кроме того, указанные последствия могут быть отягощены вторичными эффектами, которые приходится учитывать:

- поражение мирного населения;
- воздействие на нецелевые объекты;
- воздействия на окружающую среду;
- обратное воздействие на пилотируемый ЛА.

В сложной обстановке полета окончательный выбор варианта и применение воздействия возлагается на экипаж, инструктивно оговаривая наличие различных условий (обстоятельств). Фактические обстоятельства зачастую отличаются от предполагаемых, и при выборе вариантов воздействия экипаж руководствуется в значительной степени собственным интеллектом (воспитанием, знаниями, опытом, моральной ответственностью и интуицией). Автоматический контур при этом помогает экипажу в количественной оценке наиболее подходящих вариантов решений и, особенно, в точном и быстром выполнении принятого решения.

Из сказанного следует вывод, почти аналогичный предыдущему – чем проще и беззащитнее внешний объект воздействия, тем легче принять решение по выбору и реализации воздействия. Опыт показывает, что в отдельных случаях, не заботясь о побочных последствиях, можно возлагать эти обязанности на автоматический контур управления.

Таким образом, анализ принципиальных особенностей процедур принятия решений в процессе выполнения полетного задания показывает, что они всегда осуществляются экипажем ЛА одновременно в контуре автоматизированного управления. Такое требование в полной мере относится к экипажам БАС, несмотря на то, что экипажи размещаются в условиях наземного (корабельного) или воздушного (самолетного, вертолетного) пункта управления (рис. 3).

Важно, что экипаж в структуре БАС осуществляет не только разработку полетного задания, но также выполняет:

- контроль процессов предполетной подготовки и послеполетного обслуживания БЛА (транспортировки, снаряжения, предпусковой проверки работоспособности, послеполетный осмотр и оценку состояния конструкции);
- предполетные тренировки операторов управления полетами БЛА;
- получение, обработку и использование полетной информации в реальном масштабе времени, а также разрабатывает отчетную информацию о результатах выполнения ПЗ.

Эти операции в ближайшем будущем не могут в полной мере осуществляться в автоматическом режиме. По этой причине активное развитие БЛА следует рассматривать как одно из важных, но соподчиненных направлений конструктивного совершенства БАС. Полетное задание готовит и выполняет при помощи БЛА наземный экипаж, отвечая за успех его реализации.

Приведенных данных достаточно, чтобы попытаться ответить на главный вопрос: «А не представит ли предстоящий инновационный прорыв принципиально новую возможность замены человеческого сознания искусственным разумом?»





### 3. Сознание человека и искусственный разум в БАС

Поведение человека – это способность принимать решения и реагировать соответствующим образом на внешние факторы. В нашем случае именно эти знания нужны для оценки возможностей создания самостоятельно функционирующих БЛА, обладающих интеллектом. О том, что такие возможности реально могут существовать, подсказывает некоторое подобие контуров управления, особенно, в этапах переработки информации (рис. 3).

Важно отметить, что возможность познания человеком самого себя остаётся неясной в философском смысле до сих пор. Это означает, что, оценивая состояние и принимая решение на воздействие, экипаж никогда в полной мере не осознает истинных последствий и всегда должен быть готов к неожиданным результатам. *Сознание* субъекта (экипажа) всегда пытается осознать и предугадать реакцию объекта (противника). Это означает, что искусственный разум БЛА должен превосходить интеллект объекта воздействия. По логике это вполне допустимо, если объект воздействия также является автономно действующим роботом. Подобные варианты в данном случае пока не рассматриваются.

Проблемы создания «искусственного разума» усугубляется тем, что науке до сих пор неизвестно, что такое *сознание*, как функциональная сущность, и что такое *мысль*, как продукт сознания. Пока ясно только то, что сознание – результат деятельности особо сложной системы организма, которой присущи свойства, отсутствующие у его составных частей.

Современные авторы склонны считать сознание не функцией мозга как материального субстрата, а самостоятельным и внешним по отношению к любым материальным объектам феноменом. Так, согласно квантовой концепции сознания, предложенной российским ученым М.Б.Менским и одобренной ныне покойным нобелевским лауреатом В.Л.Гинсбургом, основная функция сознания состоит в «разделении альтернатив», т.е. локализации принципиально нелокальной квантовой реальности, описываемой в «многомировой» интерпретации Эверетта. В одной из своих работ М.Б.Менский подчеркивает, что «...мозг не создает сознание, а скорее сам является инструментом сознания» [5]. Отсюда и из ряда других работ многих физиков, физиологов и психологов, посвященных вопросам сознательного и бессознательного и их взаимодействию с материальным субстратом, мы можем заключить, что создание искусственного интеллекта, способного к *осознанному поведению*, является задачей, неподвластной человеческому разуму на современной ступени его развития, а, возможно, и никогда.

Современные отечественные теоретические и экспериментальные данные в этой области [6] показали ряд отличий живых и кибернетических систем, которые указывают на то, что «искусственный интеллект» следует рассматривать не как *заменитель* «естественного» интеллекта, а как *ускоритель* или, в лучшем случае, *усилитель* той формы человеческой деятельности, которая напрямую связана с процессами хранения, передачи и преобразования информации.

В таких условиях при создании и использовании не только БАС, но и всех современных образцов роботизированных систем необходимо искать и находить компромисс между использованием естественного и искусственного интеллекта.

С точки зрения идентификации БАС, как специфического вида авиационной техники, важно иметь в виду, что *исключение субъекта* (человека) из контура управления при решении любой авиационной задачи *принципиально невозможно* в силу того, что БАС, как и всякие другие, даже полностью автоматические системы и простейшие их представители (начиная с классического парового регулятора), прямо или косвенно выполняют волевою установку лица (субъекта, человека), *отвечающего* за ожидаемые последствия любых, в том числе полностью автоматических действий. Здесь мы выходим за рамки технико-технологического рассмотрения проблемы идентификации БАС, а попадаем в сферу юридических отношений в социальных системах, которые за любое действие (или бездействие) во всех сферах человеческой деятельности, включая авиационную,



безусловную ответственность налагают исключительно на конкретного субъекта (человека или их некую общность), воля которого реализуется посредством применения того или иного технического приспособления (в нашем случае – БАС).

### **Заключение**

1. В сфере авиационной деятельности развитие и внедрение БЛА не является принципиально новым организационным явлением и вполне укладывается в направления развития беспилотных авиационных систем.

2. Затронуты основные подходы к проблеме общесистемной идентификации БАС, как специфического вида авиационной техники, ориентированные на поиск признаков и показателей:

- а) вычленения БАС из общей структуры авиационной техники;
- б) преимуществ и недостатков БАС в решении традиционных задач в сравнении с пилотируемыми авиационными комплексами;
- в) качества новых авиационных задач, решаемых с помощью БАС с учетом перспектив их интеллектуализации.

3. Системную идентификацию БАС целесообразно рассматривать на основе баланса встречных интересов: заказчиков (потребителей) и производителей, отдавая приоритет государственным интересам.

4. Разработку, испытания и внедрение конкретных БЛА целесообразно производить в формате выполнения составных частей Программ создания и развития соответствующих БАС, идентифицированных по указанным признакам (показателям), разработке и формализации которых целесообразно посвятить отдельную научно-исследовательскую работу в рамках совершенствования технических регламентов (стандартов).

### **Литература**

1. Алакоз Г.М., Аюпов А.И., Нестеров В.А., Обносов Б.В., Пляскота С.И., Староватов О.П., Трусов В.Н. Витасистемы: модели инженерного творчества/Под ред. Г.М. Алакоза. М.: «Дашков и К°», 2015.
2. Алакоз Г.М., Аюпов А.И., Пляскота С.И. Техническое развитие авиации как творческий процесс. Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2013) Материалы Седьмой международной конференции (30 сентября-2 октября 2013 г., Москва, Россия) – М: Учреждение Российской академии наук Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова.
3. Аюпов А.И. Системный подход к организации технического развития авиации. Материалы Всероссийской научно-технической конференции «X Научные чтения, посвященные памяти Н.Е. Жуковского»/ Сборник докладов – М.: Издательский дом Академии имени Н.Е. Жуковского, 2013, с.12-33.
4. Горелов А.А. Концепции современного естествознания / 2-е изд. – М.: Издательство «Юрайт», 2011 – (Основы наук).
5. Менский М.Б. Сознание и квантовая механика: Жизнь в параллельных мирах (Чудеса сознания – из квантовой реальности). Авториз. пер. с англ. Ваксмана В.М. – Фрязино: Век 2. 2011. 320 с.

Котов А.В. Психофизиологический базис становления аддиктивных форм поведения //Нейрокомпьютеры: разработка и применение. (Тематический выпуск: Кибернетика живого: XXI век), №1, 2012, с.9–22.