

## **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМИ СУДАМИ НА УРОВНЕ АВИАТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ**

**Клочков В. В.<sup>1</sup>,**

(ФГБУ «НИЦ «Институт имени Н.Е. Жуковского», Москва,  
ФГБУ ИПУ РАН, Москва)

**Варюхина Е. В.<sup>2</sup>**

(ФГБУ «НИЦ «Институт имени Н.Е. Жуковского»,  
Москва)

*Автоматизация управления - одно из важнейших направлений развития авиации. Благодаря автоматизации управления снижается влияние человеческого фактора, расширяются эксплуатационные метеоминимумы, спрямляются траектории, появляются возможности оптимизации конструкций воздушных судов (ВС), появляются более эффективные методы управления состоянием элементов ВС, улучшается понимание состояния ВС пилотами и ситуационная осведомленность и пр. Поскольку снижается нагрузка на пилотов и диспетчеров, появляется возможность снизить затраты на оплату труда экипажа или диспетчеров за счет перехода к одночленному экипажу или даже к беспилотным полетам и снижения требований к квалификации персонала. В итоге ожидается сокращение суммарных эксплуатационных затрат. Таким образом, автоматизация управления ВС позволяет повысить безопасность полетов, доступность авиaperевозок, качество авиатранспортных услуг и снизить воздействие на окружающую среду. Однако для повышения степени автоматизации потребуются и значительные затраты на разработку и внедрение соответствующих систем. Для того, чтобы можно было принимать решение о приоритетности разработки тех или иных технологий автоматизации управления ВС, необходимо оценивать их эффективность в комплексе. Предложен методический инструментарий, который позволяет оценивать эффективность таких технологий с экономической точки зрения. Однако повышение степени автоматизации управления может быть необходимым и по соображениям обеспечения безопасности полетов, например, из-за возможного радикального повышения интенсивности воздушного движения в пригородном, местном сообщении и, возможно, внутригородском (что более характерно для городов с большой плотностью и высоким уровнем доходов населения). С помощью предложенного инструментария проведен анализ условий эффективного внедрения интеллектуальной автоматизации управления воздушными судами на уровне авиатранспортной системы. Сде-*

---

<sup>1</sup> Владислав Валерьевич Клочков, д.э.н., к.т.н. (vlad\_klochkov@mail.ru).

<sup>2</sup> Екатерина Витальевна Варюхина, к.т.н. (e.varyukhina@yandex.ru).

*дан вывод, что повышение степени автоматизации управления ВС будет оправдано с ростом масштабов рынка авиационных работ и услуг.*

Ключевые слова: автоматизация управления, авиация, искусственный интеллект, интеллектуальные системы, оценка эффективности, авиатранспортная система

## **1. Введение**

Одним из важнейших направлений технологического развития авиастроения является автоматизация управления движением воздушных судов (ВС), функционированием их систем и выполнением миссий (далее для краткости – автоматизация управления). Причем, в рамках современного технологического уклада основное направление развития технологий управления – технологии искусственного интеллекта, ИИ. В то же время автоматизация управления ВС всегда существенно влияла на безопасность полетов. Внедрение соответствующих инновационных технологий в такой консервативной и жестко регулируемой области как гражданская авиация требует всесторонней оценки достигаемых эффектов и рисков. Как показано в работе [3], интеллектуальная автоматизация управления в авиации будет внедряться поэтапно, с постепенным увеличением ее глубины и полноты замещения авиационного персонала интеллектуальными автоматическими системами. Кроме того, развитие науки и технологий в описанном направлении, а также внедрение соответствующих инноваций требуют значительных затрат, которые должны быть обоснованы. Поэтому, прежде ответа на вопрос «что требуется для интеллектуализации управления движением и функционированием ВС», необходимо ответить на вопрос «зачем это нужно, какую пользу это может принести». Анализ эффективности позволяет также определить приоритетные направления развития технологий интеллектуальной автоматизации управления ВС (улучшению каких характеристик этих технологий следует уделить внимание в первую очередь) и

рациональные пределы их развития на данном этапе (в т.ч. согласно классификации [3]).

Эффективность новых технологий в авиастроении в настоящее время оценивается системным образом, на различных уровнях целеполагания, в т.ч. на высшем – на уровне авиатранспортной системы, АТС. Согласно [7], установлены следующие генеральные цели развития науки и технологий в области гражданского авиастроения:

- повышение комплексной безопасности авиационной деятельности (в т.ч. разработки, производства, технической и лётной эксплуатации авиационной техники);
- снижение вредного воздействия авиационной деятельности (в т.ч. разработки, испытаний, производства, технической и лётной эксплуатации авиационной техники) на окружающую среду;
- сокращение стоимости транспортных и иных авиационных работ и услуг, оказываемых с помощью авиационной техники российского производства;
- повышение качества транспортных и иных авиационных работ и услуг, оказываемых с помощью авиационной техники российского производства, а также расширение их номенклатуры;
- обеспечение приемлемых себестоимости и длительности разработки, производства, технического обслуживания и ремонта российской авиационной техники;
- обеспечение самостоятельной разработки, производства, технического обслуживания и ремонта авиационной техники (а также её компонентов), критически важной для обеспечения национальной безопасности.

И развитие всех технологий авиастроения, в т.ч. технологий автоматизации управления ВС, должно быть подчинено достижению этих целей, и оцениваться с точки зрения их достижения.

Необходимо учитывать, что при внедрении/изменении авиационных технологий произойдет не только изменение характеристик ВС и авиационной инфраструктуры, но и могут измениться (и скорее всего изменятся) объемы и виды авиацион-

ных услуг и работ. Это связано с тем, что технологические инновации в авиастроении могут – благодаря новым качествам авиационной техники, АТ – вызвать качественные изменения в отраслях-потребителях авиационных работ и услуг, даже могут вызывать появление новых сегментов соответствующих рынков. Подробнее такой подход, учитывающий обратные связи между авиацией и надсистемами, в которые она включена, изложен в работе [5]. Рассматривать такие обратные связи необходимо для корректного прогнозирования и планирования развития, как авиастроения и гражданской авиации, так и отраслей-потребителей авиационных работ и услуг.

## **2. Анализ влияния интеллектуальной автоматизации управления воздушными судами на достижение целей развития авиации**

Интеллектуализация управления движением ВС и выполнением миссий предполагает частичное, в перспективе – полное замещение экипажа в решении этих задач управления, что, в свою очередь, открывает возможности снижения утомляемости экипажа, сокращения его потребной численности и/или требований к его квалификации. Именно эти аспекты здесь будут рассмотрены как основной пример положительных эффектов автоматизации управления ВС. В то же время опишем и менее очевидные аспекты автоматизации управления ВС.

Традиционно считается, что основное положительное влияние описываемое направление развития технологий окажет на безопасность полетов (точнее, именно повышение безопасности полетов чаще всего декларируется как основная цель развития таких технологий). Безусловно, значительную роль в повышении безопасности полетов будет играть автоматизация и интеллектуализация управления и принятия решений в экстренных ситуациях и особых случаях в полете, что должно понизить влияние «человеческого фактора» на аварийность в авиатранспортной системе будущего. К негативным проявлениям «чело-

веческого фактора» чаще относят неправильные решения и действия экипажа в полете, особенно в экстремальных ситуациях.

Согласно распространенным оценкам, около 70-80% авиационных событий, связанных с безопасностью полетов, возникают по вине человеческого фактора, поэтому ожидается, что автоматизация позволит значительно сократить частоту этих событий. При этом, 93% функций в полете на современных коммерческих ВС уже автоматизированы, см. [19], [12].

Факторы, которые влияют на появление инцидентов по вине человеческого фактора, имеют следующие источники: 1) недостаточно эффективное общение 2) халатность, расслабленность с последующей потерей осознания опасностей 3) недостаток знаний 4) отвлеченное внимание, рассеянность 5) несрабатанность команды 6) усталость 7) недостаток ресурсов 8) давление под воздействием некоторых обстоятельств 9) недостаток уверенности в себе, убедительности 10) стресс 11) недостаток информации 12) нормы, т.е. неписанные правила и обычаи, принятые в сообществе летчиков [27].

Наиболее значимые факторы – это недостаточная ситуационная осведомленность, неэффективное общение, чуть в меньшей степени – низкая квалификация, рассеянность, халатность [23].

Причем, если в качестве операторов рассматриваются лишь лица, непосредственно участвующие в управлении движением воздушных судов – члены экипажей и авиадиспетчеры, то оставшаяся доля авиационных происшествий, происходящая по «техническим» причинам, т.е. из-за отказов техники, также, в свою очередь, в значительной степени связана с «человеческим фактором», но не в летной, а в технической эксплуатации авиационной техники (т.е. имеют место ошибки или преднамеренные действия персонала, выполняющего техническое обслуживание и ремонт, ТОиР), а также на этапе производства и даже проектирования (конструктивно-производственные недостатки). По текущим оценкам 80% ошибок при техническом обслуживании вызваны человеческим фактором [13]. В такой, более широкой постановке, практически все авиационные происшествия обязаны «человеческому фактору» в тех или иных его проявле-

ниях (что естественно, поскольку авиация в целом является рукотворной областью техники, созданной людьми, хотя и не полностью ими осознаваемой и контролируемой).

В связи с этим, нередко предлагается полностью устранить человека из контура управления, поскольку он рассматривается лишь как источник ошибок, а то и преднамеренных опасных действий. Это обусловлено свойствами человека как активного субъекта,

- не всегда действующего рационально,
- нередко преследующего корыстные интересы, отличные от интересов других,
- обладающего весьма ограниченными когнитивными, физическими и т.п. способностями.

С другой стороны, анализ реальной практики эксплуатации изделий авиационной техники показывает, что «человеческий фактор», т.е. качества, присущие именно человеку, позволяют предотвратить значительное количество инцидентов и авиационных происшествий, многократно превышающее количество все-таки свершившихся событий такого рода. Экипажи парируют отказы техники и влияние неблагоприятных условий эксплуатации; экипажи воздушных судов и авиадиспетчеры парируют ошибки друг друга<sup>1</sup>; наземный персонал, выполняя ТО и Р, способствует выявлению и устранению значительной доли конструктивно-производственных недостатков, и т.п.

Так или иначе, за исключением растущего сегмента роботизированных авиационных комплексов, речь идет не о тотальной автоматизации управления ВС (по крайней мере, в ближайшие 15-20 лет, см. [3]), а именно о поддержке принятия решений операторами. Необходимость и допустимость полной автоматизации управления (в рамках данного исследования – прежде всего, управления воздушными судами, особенно с пассажи-

---

<sup>1</sup> В то же время в перспективе эти «парирования экипажем в полете» тоже можно будет заменить соответствующими интеллектуальными средствами, по достижении ими необходимой надежности и качества выработки управленческих решений.

рами на борту) относится к фундаментальным философским проблемам развития современной техники. В рамках теорий надежности и безопасности сложных систем, см, например, [8] сформулированы общие принципы обеспечения безопасности управления их функционированием, и, в частности, принципы обоснования необходимости или, напротив, нежелательности тотальной автоматизации управления. Кратко можно сформулировать следующий качественный вывод из упомянутых фундаментальных работ. Если функционирование системы, ее внутренние свойства и внешние условия, в которых она применяется, полностью формализуемы, допустима и даже желательна полная автоматизация управления на основе алгоритмических систем управления. Однако в тех случаях, когда такая полная формализация пока невозможна, тотальная автоматизация недопустима, и желательно оставить человека в контуре управления. Его недостатки как активного субъекта являются продолжениями его же достоинств, а именно:

- человек способен найти нестандартное и верное решение в неформализуемых сложных ситуациях,
- человек иногда способен действовать самоотверженно за пределами общепринятых представлений о человеческих возможностях.

В идеале развитие искусственного интеллекта направлено на приближение к этим позитивным свойствам, при сохранении преимуществ автоматизированных систем – практически неограниченных когнитивных и физических возможностей, беспристрастности и объективности оценок и решений, и т.п. В обозримом будущем эта задача не будет решена на удовлетворительном уровне. В то же время, вероятно, грузоперевозки и значительную долю авиационных работ все-таки можно будет осуществлять полностью автоматическими – беспилотными – автономно действующими летательными аппаратами. Это связано с тем, что риски (которые представляют собой комбинацию вероятности происшествия и серьезности его последствий) в данной ситуации можно удержать в приемлемых пределах.

Интеллектуальное управление функционированием систем летательных аппаратов, помимо разгрузки экипажа от решения

этих рутинных задач, что позволяет ему сосредоточиться на менее формализуемых задачах выполнения миссии, открывает резервы изменения конфигурации летательных аппаратов, как для парирования отказов (в т.ч. в весьма широких пределах, вплоть до частичной потери аэродинамических поверхностей и органов управления [2], [6]), так и для оптимальной адаптации систем ВС под различные режимы полета. Интеллектуальные системы управления, функционирующие в режиме реального времени, позволяют применять новые аэродинамические компоновки и материалы с новыми свойствами, например, с «памятью формы», и т.п., меняя конфигурацию и аэродинамические свойства летательного аппарата (планера и, возможно, силовой установки) таким образом, чтобы они максимально соответствовали текущему режиму полета в смысле выбранного критерия оптимальности.

В части управления работой систем летательного аппарата появляются возможности перехода к еще более прогрессивным принципам обеспечения безопасной эксплуатации изделий авиационной техники, чем даже современный принцип эксплуатации по техническому состоянию (ЭТС) – прежде всего, к превентивному управлению надежностью систем и их элементов на основе предсказания их состояния, развития повреждений и т.п. Возможно гибкое изменение режимов работы систем с учетом их фактического состояния, возможно – снижение нагрузки на систему до ее ремонта или замены. В этой части задачи управления состоянием элементов и систем АТ (в рамках классификации уровней управления, предложенной в работе [1] обычно относимые к задачам тактического управления АТС, а не оперативного управления ВС) пересекаются с задачами оперативного управления, решаемыми в режиме реального времени.

В сфере управления ВС интеллектуализация предполагается как в части управления движением отдельного летательного аппарата, выполнением его миссии и функционированием его систем, так и в части организации воздушного движения в целом. В этой сфере существуют значительные резервы повышения пропускной способности воздушного пространства, аэропортов и аэроузлов, в тех регионах, где это актуально, оптими-

зации траекторий движения ВС, а также возможности организации надежного аэронавигационного обеспечения полетов в малонаселенных и отдаленных регионах со слабо развитой наземной инфраструктурой и сложными природно-климатическими условиями. При этом может быть достигнуто, соответственно,

- сокращение времени ожидания воздушными судами очереди на посадку и прочих «непродуктивных» составляющих времени в полете, сокращение длины траектории движения воздушных судов, ее спрямление;

- расширение условий базирования и безопасной эксплуатации воздушных судов, оптимизация авиатранспортной системы отдаленных и малонаселенных регионов.

В соответствии с современными тенденциями развития системы управления воздушным движением, происходит перераспределение функций управления и ответственности между наземными диспетчерскими, метеорологическими и т.п. службами, и самим «бортом» и его экипажем. Удельный вес задач, решаемых на борту ВС, возрастает благодаря возросшим возможностям автоматики и самого экипажа, при его интеллектуальной поддержке. В то же время это не означает тотальной автономизации отдельных участников воздушного движения – наоборот, они будут теснее интегрированы в единую сеть, но именно как самостоятельные агенты, обладающие возможностями наблюдения воздушной обстановки, метеорологических условий и т.п., накопления, анализа и обмена этой информацией с другими ВС и наземными службами. Соответствующая информационно-управляющая сеть будет распределенной, а не управляемой из одного или немногих центров.

Таким образом, интеллектуализация управления движением воздушных судов и работой их систем способствует достижению всех генеральных целей научно-технологического развития авиации, а именно:

повышению уровня безопасности полетов – за счет

- автоматизации работы операторов и интеллектуальной поддержки принятия ими решений,

- повышения безотказности элементов и систем воздушных судов благодаря более эффективному управлению их техническим состоянием,

- возможности реконфигурации летательных аппаратов и их систем в случае отказов;

повышению доступности авиатранспортных услуг – за счет

- снижения трудоемкости работы операторов, сложности их работы и уровня требований к их квалификации (а также сокращения их потребного количества, в части работников диспетчерских служб, служб метеообеспечения полетов и т.п., но прежде всего, членов экипажей тех классов воздушных судов, функции которых могут выполняться беспилотной авиацией),

- повышения средней долговечности элементов и систем воздушных судов благодаря более эффективному управлению их техническим состоянием,

- возможности оптимизации конфигурации летательных аппаратов и их систем в соответствии с условиями полета,

- спрямления траекторий движения воздушных судов,

- сокращения потребности в объектах наземной инфраструктуры, вплоть до радиоэлектронного и светотехнического оборудования аэропортов, при заданном объеме транспортной работы;

повышению качества авиатранспортных услуг – за счет

- спрямления траекторий движения воздушных судов, сокращения безопасных интервалов эшелонирования и повышения средней рейсовой скорости, в т.ч. в условиях высокой интенсивности воздушного движения,

- расширения условий базирования и безопасной эксплуатации воздушных судов, в т.ч. в малонаселенных и отдаленных регионах со слаборазвитой наземной инфраструктурой и сложными природно-климатическими условиями (в т.ч. повышения регулярности рейсов, «всепогодности» авиации),

- повышения безотказности элементов и систем воздушных судов благодаря более эффективному управлению их техническим состоянием (что, помимо повышения безопасности

полетов, также сокращает количество задержек рейсов по техническим причинам);

снижению уровня вредного воздействия авиации на окружающую среду – за счет

– спрямления траекторий движения воздушных судов и, как следствие, сокращения не только эксплуатационных расходов, но и объема выбросов вредных веществ, возможно – снижения уровней шума на местности вблизи аэропортов, также благодаря оптимизации траекторий,

– возможности оптимизации конфигурации летательных аппаратов и их систем, а также режимов их работы в соответствии с условиями полета, в т.ч. и для снижения уровней шума на местности.

Таким образом, вопреки упрощённым представлениям, автоматизация (в т.ч. интеллектуальная) управления движением воздушных судов и работой их систем, выполнением их миссий нацелена не только на решение задач повышения безопасности полетов. Она может и должна способствовать повышению доступности и качества авиатранспортных услуг, а также снижению вредного воздействия авиации на окружающую среду, т.е. достижению всех генеральных целей технологического развития авиации.

### **3. Проблемы развития и внедрения технологий интеллектуальной автоматизации управления воздушными судами**

Несмотря на вышеописанные ожидаемые позитивные эффекты, существует ряд системных (технологических, институциональных, ментальных, даже морально-этических) проблем автоматизации управления ВС, которые необходимо учитывать и решать, чтобы внедрение таких технологий приносило положительные эффекты.

Прежде всего, влияние автоматизации управления на уровень безопасности полетов, нагрузку на экипаж и связанные с этим затраты далеко не однозначно. Увеличение степени автоматизации управления не всегда приводит к сокращению

нагрузки на экипаж, что и показано в статье [3]. Напротив, вначале по мере развития технологий автоматизации нагрузка на пилотов не сокращалась, а увеличивалась из-за того, что приходилось следить за еще бóльшим количеством показаний приборов, формально повышающих ситуационную осведомленность экипажа. В работе [3] показано, что по мере увеличения степени автоматизации нагрузка на пилотов вначале растет, достигает своего пика на определенном этапе, и лишь затем снижается.

Разумеется, как и любые технические системы, системы автоматического управления ВС подвержены отказам и сбоям. Более того, нарушения в их работе возникают и «на стыке» между человеком и автоматикой, в области человеко-машинного взаимодействия.

Возможны ошибки и отказы не только самой системы автоматизации, но и ошибки, связанные с тем, что информация от системы автоматизации некорректно или в неполном виде дошла до экипажа. [21]

Пилоты могут терять навык ручного управления или переставать следить за работой системы автоматизации, что может привести к неблагоприятному исходу. Например, пилоты, которые постоянно летают с включенным автоматом тяги, могут быстро потерять привычку отслеживать показания скорости. Поэтому, когда автомат тяги отключается, либо по конструкции, либо из-за неисправности, пилоты могут этого не заметить и не отреагируют даже на большие отклонения скорости. Предлагаются различные решения для данных ситуаций, например, в [15] приводится предложение давать пилотам определенные задания, которые позволят им поддерживать свои когнитивные способности на должном уровне на этапе крейсерского полета, когда нагрузка на пилотов снижена.

При сбое в работе систем автоматизации пилоты часто склонны искать возможности продолжать использовать частичную автоматизацию вместо перехода на полностью ручное управление. Это приводит к тому, что пилоты перегружены второстепенными задачами (например, ищут способ все-таки включить автопилот, утрачивая контроль над ситуацией в це-

лом), а в итоге теряют ситуационную осведомленность и контроль полета в целом. [17]

Чаще всего инциденты, связанные с автоматизацией управления ВС, сопряжены со следующими факторами: ситуационная осведомленность, соблюдение процедур, принятие решений, конструкция (архитектура) системы автоматизации, организационная политика и процедуры, связанные с использованием автоматизации [24].

В работе [10] негативные аспекты автоматизации управления ВС систематизированы следующим образом:

- уязвимость любых автоматических систем управления (содержащих датчики, вычислители, приводы), связанная с их неизбежной зависимостью от источников питания;
- возможные технические сбои автоматики, которые иногда могли бы быть скорректированы человеком (положительное проявление человеческого фактора), что особенно актуально для автономных ВС;
- высокая стоимость разработки и внедрения;
- социальные риски (автоматизация управления может привести к потере рабочих мест).

Одна из важнейших комплексных проблем связана с общественным восприятием (причем, не полностью беспочвенным, особенно на ранних стадиях развития соответствующих технологий) глубокой автоматизации управления ВС как угрозы безопасности. По данным ряда исследований, причем, зарубежных, существует однозначное неприятие/неодобрение обществом беспилотных ВС на сегодняшний день (как пассажирских, так и грузовых в меньшей степени). Например, EASA, NASA изучают отношение общества к городской аэромобильности (внедрение которой требует большой степени автоматизации управления движением ВС). С одной стороны, общество с интересом смотрит на появление возможности более удобного и быстрого перемещения, а с другой стороны обеспокоено вопросами безопасности, шума, выбросов, защищенности от внешних вмешательств, в том числе кибербезопасности и возможности вмешательства в личную жизнь. [25] Согласно исследованиям мнений

3700 жителей городов ЕС в 2021 году около 17% опрошенных негативно относятся к аэромобильности. Будучи пешеходами, 30% опрошенных не допускают самого факта того, что пилотируемое аэротакси будет летать у них над головой, в случае с беспилотным такси, уже 56% не готовы к этому. Отказались бы попробовать использовать аэротакси 25% опрошенных в случае пилотируемого такси и 57% в случае беспилотного. Что касается сферы применения аэротакси, наиболее приемлемыми сферами являются сферы здравоохранения и безопасности, наименее приемлемыми – использование в личных нуждах [26].

Согласно ряду исследований, выявляющих связь между принятием обществом БАС и сферой их применения, наиболее приемлемыми для населения сферами применения БАС являются служба спасения [11], [14], [16].

Одним из решений для принятия обществом беспилотных ВС является прозрачность информации об операциях ВС, однако важно достичь баланса между необходимостью прозрачности для общественности, конфиденциальностью и защищенностью от внешних воздействий. NASA разрабатывает общедоступный интернет-портал параллельно с проведением разработки и испытаниями беспилотных авиационных систем, БАС [20].

Также DARPA организовало программу «Объяснимый искусственный интеллект» (Explainable Artificial Intelligence (XAI) program) с целью предоставления компаниям, государственным органам и гражданам большего понимания работы искусственных интеллектуальных систем и повышения доверия к ним конечными пользователями [18].

Тем не менее, описанные проблемы постепенно могут быть решены по мере решения ключевых технологических проблем обеспечения безопасности и эффективности интеллектуальной автоматизации управления движением ВС и выполнением их миссий. С научно-технологической точки зрения, интеллектуализация управления движением ВС и выполнения миссий, воздушным движением и функционированием систем авиационной техники требует развития ряда фундаментальных направлений в математических науках и в информационных технологиях:

- теории и методов распознавания образов,

- теории и методов управления по неполным данным,
- теории принятия решений в мультиагентных системах и методов бесконфликтного управления групповыми действиями (если считать, что собственно теория автоматического управления уже применена в авиационных технологиях и технике в полной мере, и дальнейшее углубление автоматизации управления ВС требует решения интеллектуальных задач).

#### **4. Оценка влияния интеллектуальной автоматизации управления воздушными судами на доступность авиационных работ и услуг**

Подробнее остановимся на численных оценках возможных социально-экономических следствий интеллектуализации управления воздушными судами. При этом следует оценивать общую стоимость владения изделиями АТ за весь жизненный цикл, причем, на уровне АТС.

Рост пассажирооборота превышает рост глобальной экономики. С учетом восстановления пассажирооборота до уровней 2019 года, Боинг прогнозирует спрос на коммерческие ВС в объеме 42595 единиц стоимостью около 8 триллиона долларов к 2042 году. Предполагается, что мировое количество коммерческих ВС (магистральных и региональных) составит 48600 единиц, увеличиваясь на 3,5% в год, причем, около половины ВС будет заменено новыми, более топливо-эффективными моделями [9].

Спрос на квалифицированный авиационный персонал останется устойчивым. Необходимо учитывать, что, с учетом сменности работы пилотов, на одно ВС приходится до 7-8 экипажей. Предполагается, что потребуются 649000 новых пилотов, 690000 новых специалистов по ТОиР, 938000 членов кабинного экипажа в ближайшие 20 лет.

Данный прогноз спроса на авиационный персонал рассчитывался для ВС коммерческой авиации с количеством пассажиров более 30. Прогноз не учитывает вероятность того, что управлять ВС будет один пилот. Однако он учитывает влияние

других видов транспорта, таких как аэромобильность и высокоскоростные ЖД.

Средний возраст пилотов в 2017-2022 годах составляет 51 год. Предполагается, что к 2032 году 32% пилотов будут старше 65 лет, 47% пилотов будут старше 65 лет к 2037 году, а 61% - к 2042 году. Следовательно, авиация столкнется в определенный момент с массовым уходом на пенсию и старением пилотов [9].

Важным аспектом является то, что зарплаты пилотов растут последние годы и предполагается, что рост продолжится. В структуре денежных операционных затрат после затрат на топливо, следующей статьёй затрат является затраты на оплату труда экипажу. В среднем по коммерческой авиации, по данным IATA, затраты за оплату труда экипажу составляют около 25% денежных операционных затрат. [9]

Таким образом, авиация столкнется с большой потребностью в пилотах, обучении их и с увеличением затрат на оплату их труда. Соответственно, сокращение численности экипажа до одночленного может привести к существенной экономии. Согласно тому же прогнозу, доля самолетов, которые допускают применение искусственного интеллекта, методов машинного обучения и дополненной реальности вырастет с 15% в 2022 году до 70% в 2042 году.

В относительном выражении наибольшая экономия может достигаться на ВС малой вместимости, что особо актуально, поскольку во многих сценариях и стратегиях развития гражданской авиации их роль возрастает – и при организации системы прямых межрегиональных авиаперевозок, и при развитии системы местных воздушных линий в малонаселенных регионах, при переходе части высококомобильных работников к практически ежедневным рабочим поездкам.

Для ВС малой вместимости доля затрат на оплату труда экипажа может быть гораздо выше, чем для магистральных ВС. Так, например, согласно приведенным в таблице 1 расчетам прямых эксплуатационных расходов (ПЭР) самолета Cessna Caravan 208 D, из общей суммы 540 долл./л.ч. (для 9-местного самолета) около 150 долл./л.ч. приходится на оплату труда летного экипажа. В эту сумму входят как переменные вы-

платы за налет, так и постоянная часть, оклад, приведенная к часу полета.

Использовались следующие данные: стоимость ВС – 2,8 млн долл., стоимость ГСМ в аэропорту базирования за 1 тонну – 770 долл., заработная плата пилота 2000 долл. в мес., заработная плата инженера/техника 1000 долл. в мес., стоимость одного нормочаса ТО (Сервисный центр Cessna Aircraft) – 50 долл., стоимость базирования на аэродроме / в аэропорту – 1000 долл. в мес., аэропортовые сборы (взлет-посадка, встреча-выпуск, обеспечение АБ, сверхнормативная стоянка, обслуживание пассажиров, доставка экипажа на перроне, услуга по заправке ГСМ) – 100 долл. за 1 посадку, налет – 1000 часов в год.

Таблица 1. Расчет себестоимости летного часа для Cessna 208B Grand Caravan EX

| <b>Статья расходов / описание</b>   | <b>Количество</b> | <b>Стоимость, USD</b> |
|---|-------------------|-----------------------|
| ГСМ (средний расход)  | 200 кг/час        | 154                   |
| ТО - регламентные работы (общее количество рабочих часов в год в соотв. с налётом)      | 1 000 часов в год | 50                    |
| ТО - расходные материалы на регламентное ТО (общая сумма за год)                        | 23 000 USD в год  | 23                    |
| Программное обслуживание двигателя от P&W (Включает все работы, HSI и замену двигателя) | 119 USD в час     | 119                   |
| Заработная плата пилотов - фиксированная  | 2 пилота, в час   | 48                    |
| Заработная плата технического состава - фиксированная                                   | 1 инженер, в час  | 12                    |
| Оплата за налет (\$100 в час на экипаж)   | 0 USD в час       | 0                     |

|  |                  |     |
|--|------------------|-----|
| Обучение экипажа (входит в стоимость покупки ВС)                           | 0                |     |
| Базирование на аэродроме / в аэропорту                                     |                  | 12  |
| Аэропортовые сборы (1 посадка (средняя продолжительность рейса - 2,3 часа) |                  | 43  |
| Страхование ВС (0,7 % в год от стоимости ВС / Ингосстрах 2017)             | 19 600 USD в год | 20  |
| Налог на имущество (2,2 % в год от стоимости ВС / ОКОФ — 153531020)        | 58 545 USD в год | 59  |
| Себестоимость летного часа   |                  | 540 |

Итак, даже для 9-местного ВС соответствующие затраты составляют более 25% ПЭР (причем, при сравнительно низких ставках оплаты труда пилотов в России и, наоборот, относительно высоких, по сравнению с зарубежными странами, ставках оплаты прочих компонент ПЭР, включая даже относительно высокую цену ГСМ в России). Если же вместимость ВС, при неизменных ставках оплаты труда экипажа, сократится до 4-5 мест, что актуально на МВЛ, как показано в работах [4], в оптимистическом случае, если все прочие компоненты ПЭР снизятся пропорционально, затраты на экипаж достигнут почти 50% ПЭР, а при сокращении вместимости до 1-2 мест (для персональных аэротакси) – будут превышать все прочие составляющие эксплуатационных затрат. Таким образом, их значимое сокращение – хотя бы вдвое – уже может сократить удельные затраты на летный час или пассажиро-километр на десятки процентов, что, в свою очередь, может оказаться решающим для развития соответствующего рынка как массового.

Проблема не только в высоких удельных затратах на оплату труда экипажей, в расчете на пассажиро-километр, но и в большой абсолютной потребности в пилотах, особенно если ожида-

ется развитие персонального воздушного транспорта и авиатакси. Для появления рынка персонального авиатранспорта или авиатакси, заменяющих автомобильный транспорт в местном и пригородном сообщении<sup>2</sup>, необходимо, чтобы количество их пилотов (в расчете на тысячу жителей региона) было сопоставимо с количеством водителей такси. Но потребные для их подготовки расходы, при нынешней стоимости подготовки и требуемой квалифицированными пилотами ставке зарплаты – заведомо превышают финансовые возможности страны, как в абсолютном, так и в удельном выражении, в расчете на пассажиро-километр транспортной работы. Поэтому переход к беспилотной пассажирской авиации необходим для развития персонального авиатранспорта (поскольку в противном случае пришлось бы требовать массовой подготовки населения к управлению сложными ВС), беспилотных аэротакси.

С экономической точки зрения, интеллектуализация управления – как полная его автоматизация, так и частичная, облегчающая и упрощающая процесс управления летательным аппаратом – приводит к сокращению потребной ставки оплаты труда пилотов (при полной автоматизации, т.е. переходу к беспилотному летательному аппарату – теоретически до нуля). Обозначим ее  $z$ , ден. ед./л.ч., причем, на весь экипаж летательного аппарата, с учетом его численности. Как известно, совершенствование технологий управления ВС уже позволило ее сократить за десятилетия развития современной гражданской авиации многократно – с 5-7 членов до 2 для тяжелых гражданских ВС, как и соответствующие затраты. Для простоты сведем все составляющие оплаты труда экипажа, в т.ч. и постоянные, к почасовой оплате. Также подразумевается, что в эту сумму включены и приведенные затраты на обучение и подготовку пилотов, т.е. неявно предполагается, что ставки оплаты труда пилотов адекватно отражают в т.ч. все затраты, понесенные представителями

---

<sup>2</sup> В т.ч. в труднодоступных и малонаселенных регионах с неразвитой наземной инфраструктурой, где альтернативой является вездеходный наземный транспорт или некоторые виды водного транспорта – по природно-климатическим причинам, не круглогодичный.

этой профессии и/или государством на их подготовку, контроль квалификации и т.п.

Итак, пусть интеллектуальная автоматизация управления ВС сокращает указанную ставку оплаты труда экипажа на  $\Delta z$  ден. ед./л.ч. Оценим экономическую эффективность таких технологических инноваций, учитывая, что они потребуют как исследований и разработок, стоимость которых  $C_{\text{НИОКР}}$  относится к постоянным затратам, так и изменений в конструкции ВС (хотя бы автоматических систем управления, заменяющих полностью или помогающих пилотам), возможно – дополнительных операций ТОиР, связанных с обслуживанием этих систем, и т.п. Эти изменения уже потребуют переменных затрат, на каждое изделие и на каждый летный час его эксплуатации. Обозначим эти приведенные к летному часу дополнительные затраты  $\Delta c$ , ден. ед./л.ч. Все прочие статьи затрат, помимо оплаты труда экипажа, приведенные к пассажиро-километру, обозначим  $c_{\text{пр}}$ , ден. ед./пасс.-км. Тогда, если пассажировместимость ВС составляет  $m$  мест, а средняя рейсовая скорость -  $v$  км/ч, затраты на пассажиро-километр изначально составляли

$$(1) \quad c_{\text{пкм}} = c_{\text{пр}} + \frac{z}{m \cdot v},$$

а после внедрения интеллектуальных систем управления составят

$$(2) \quad c'_{\text{пкм}} = c_{\text{пр}} + \Delta c + \frac{z - \Delta z}{m \cdot v} + \frac{C_{\text{НИОКР}}}{W \cdot T_{\text{жц}}},$$

где  $T_{\text{жц}}$  – длительность жизненного цикла соответствующих технологий, на которую распределяются затраты на их разработку  $C_{\text{НИОКР}}$ , а  $W$  – суммарный пассажирооборот в новом сегменте рынка авиаперевозок.

Как обсуждалось выше, зависимость удельных затрат на пасс.-км от пассажировместимости может быть весьма сильной, особенно в области малых значений  $m=4-5$  и, тем более, 1-2 мест, которая наиболее актуальна для рассматриваемого здесь гипотетического рынка авиаперевозок. Ниже на рис. 1 изображен пример такой зависимости, построенный на основе данных вышеприведенного примера (т.е.  $z=150$  ден. ед./л.ч., прочие за-

траты на летный час составляют 400 ден. ед./л.ч., пассажироместность исходного ВС составляет  $m=9$  мест, средняя маршрутная скорость принята равной  $v=200$  км/ч).



*Рис. 1. Зависимость себестоимости авианперевозок от пассажироместности ВС (пример)*

Сплошная линия соответствует исходному варианту ВС, без автоматизации управления. Пунктиром изображены кривые, соответствующие сокращенным в 3 раза (с квадратными черными маркерами), т.е.  $\Delta z/z=2/3$ , а также сокращенным до нуля (с треугольными незакрашенными маркерами), т.е.  $\Delta z=z$ , затратам на оплату труда экипажа. Здесь принято предположение, что прочие затраты в расчете на пасс.-км возрастут на 5% и 10% соответственно, т.е.  $\Delta c/c_{пр}=0,05$  для частичной автоматизации управления и 0,1 – для полной. Еще раз подчеркнем, что  $\Delta c$  – именно прирост прямых затрат на производство и эксплуатацию ВС, без учета постоянных издержек на исследования и разработки (они учитываются отдельно, и пока на графиках не отражены). Из графиков видно, что по мере сокращения пассажироместности ВС затраты на оплату труда экипажа играют всё большую роль, и могут значимо – вдвое и даже больше, при пе-

реходе к персональным ЛА (т.е. при  $m=1-2$ ) – повышать себестоимость авиаперевозок. Это и обуславливает актуальность автоматизации управления, прежде всего, для малых летательных аппаратов.

Строго говоря, все составляющие ПЭР (не только затраты на оплату труда экипажа, но и все прочие – на ГСМ, ТОиР, амортизация ВС и др.) зависят от пассажировместимости ВС, причем, чем она выше, тем, как правило, ниже удельные затраты на пасс.-км<sup>3</sup>:  $\partial c_{пр}/\partial m < 0$ . Но в этом иллюстративном примере данный эффект не учитывается, хотя в области малых значений пассажировместимости он, с одной стороны, еще сильнее увеличит удельные затраты, а с другой – несколько сократит долю и значимость затрат на оплату труда экипажа.

Также прочие составляющие ПЭР  $c_{пр}$  и их возможный прирост при внедрении новых технологий  $\Delta c$  зависят от серийности выпуска соответствующих летательных аппаратов, от размеров их парка в эксплуатации, т.е., в конечном счете, от суммарного пассажирооборота в новом сегменте рынка авиаперевозок:  $\partial c_{пр}/\partial W < 0$ ,  $\partial \Delta c_{пр}/\partial W < 0$ . Но здесь для упрощения иллюстративных примеров определения технологических развилки эти положительные эффекты масштаба в производстве и в эксплуатации авиационной техники не учитываются – хотя в реальных расчетах их можно и желательно принимать во внимание. В этом иллюстративном примере достаточно и того, что постоянные затраты на исследования и разработки в области интеллектуальной автоматизации управления ВС с ростом пассажирооборота распределяются на больший объем транспортной работы, что приводит к сокращению удельных затрат на пасс.-км. Предположим, что затраты на исследования и разработки  $C_{ниокр}$  составляют

– 25 млрд. ден. ед. для частичной автоматизации управления (позволяющей втрое снизить издержки на оплату труда эки-

---

<sup>3</sup> Обеспечение приемлемого уровня удельных затрат на ВС малой пассажироместимости – актуальная проблема технологического развития российского авиастроения, как показано в работе [4]

пажа, как и предполагалось выше в условиях рассматриваемого здесь сквозного примера)

– и 75 млрд. ден. ед. для полной автоматизации управления, исключающей потребность в экипаже.

Длительность жизненного цикла технологий примем равной  $T_{жц}=25$  лет. ВС предполагаются двухместными ( $m=2$ ), а относительные приросты прочих составляющих удельных затрат соответствуют вышеприведенным условиям сквозного примера, т.е. равны, соответственно, 5% и 10%. Ниже на рис. 2 схематично изображены кривые зависимости от пассажирооборота удельных затрат на пасс.-км.

– для исходного варианта ВС – без автоматизации управления, требующего высококвалифицированного и, соответственно, высокооплачиваемого экипажа;

– для ВС с интеллектуальной поддержкой управления, что позволяет существенно, хотя и не до нуля, снизить требования к квалификации экипажа, и, в конечном счете, уровень затрат на оплату его труда (а также, косвенно, затрат на подготовку);

– для беспилотных ВС, не требующих экипажа.

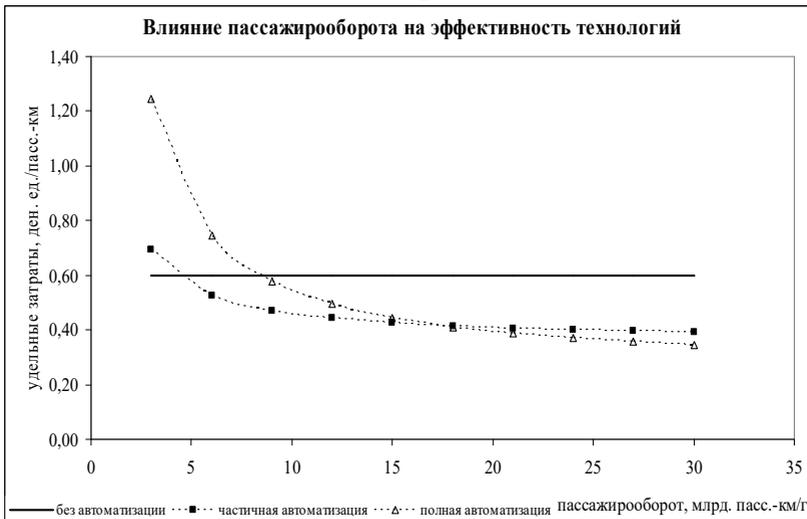


Рис. 2. Зависимость себестоимости авиаперевозок от суммарного пассажирооборота в данном сегменте рынка (пример)

По понятным причинам третий вариант требует наибольшего объема затрат на исследования и разработки, но обещает наибольшее сокращение удельных затрат при высоких значениях пассажирооборота. Второй вариант, с интеллектуальной помощью пилоту, занимает промежуточное положение между полной автоматизацией и ее отсутствием. Поэтому «переключение» между перечисленными вариантами технологического развития в области управления движением ВС и функционированием их систем происходит, по мере роста пассажирооборота, именно в порядке их перечисления. При низких значениях пассажирооборота наивыгоднейшей, по критерию удельных затрат на пасс.-км, остается альтернатива «без автоматизации» - точнее, с сохранением ее ныне достигнутого уровня. Фактически, можно говорить об оптимальной кривой удельных затрат, являющейся нижней огибающей трех вышеперечисленных графиков, поскольку рационально действующий разработчик и производитель, в зависимости от планируемых объемов выпуска ВС, выберет наиболее дешевую (в расчете на пасс.-км) альтернативу. Причем, в реальности возможно несколько дискретных градаций степени автоматизации управления ВС – см. хотя бы классификацию, предложенную в [3]. Каждый такой вариант порождает свою кривую удельных затрат на пасс.-км, а оптимальной кривой будет их нижняя огибающая. При этом возможно, что какие-то варианты технологий автоматизации управления ВС окажутся доминируемыми, т.е. заведомо не лучшими.

С одной стороны, результаты таких технико-экономических расчетов следует принимать во внимание при планировании развития технологий автоматизации управления ВС, в т.ч. интеллектуальной. Но, с другой стороны, периодизация развития этих технологий, описанная в [3], обусловлена объективной логикой технологического развития, в т.ч. необходимостью постепенного внедрения инноваций, влияющих на безопасность полетов. Строго говоря, кривые, построенные для различных уровней автоматизации управления ВС, описанных в работе [3], относятся к разным периодам времени, и не могут быть сопоставлены непосредственно как альтернативы технологического

развития. Но для вариантов развития технологий автоматизации управления ВС, которые могут быть реализованы в одни и те же сроки, именно предлагаемый здесь подход следует применять для выбора траекторий научно-технологического развития авиастроения в данной сфере.

### **5. Анализ условий эффективного внедрения интеллектуальной автоматизации управления воздушными судами на уровне авиатранспортной системы**

Сокращение удельных затрат на авиационные работы и услуги еще не является достаточным для внедрения технологий интеллектуальной автоматизации управления ВС. Сами гипотетические услуги авиатакси или персональный авиатранспорт (развитие которых и обусловлено внедрением указанных технологий) должны в принципе пользоваться ненулевым и даже значительным<sup>4</sup> спросом – что не является само собой разумеющимся, поскольку в местном или пригородном сообщении воздушному транспорту, как правило, есть альтернативы. Разумеется, пассажирооборот в рассматриваемом новом сегменте рынка авиатранспортных услуг зависит от себестоимости пасс.-км, причем, не просто убывающим образом:  $\partial W/\partial c_{\text{пкм}} < 0$ , но и, скорее всего, нелинейным, со скачком – более или менее резким, который соответствует образованию рассматриваемых сегментов рынка авиаперевозок и необходимых для их выполнения ВС. Скачок может быть обусловлен «переключением» потенциальных пассажиров с альтернативных видов транспорта (в реальности он, вероятно, будет сглаженным). На рис. 3 схематич-

---

<sup>4</sup> Т.е. достаточным для обеспечения рентабельности производства и эксплуатации парка таких ВС. При очень малых значениях пассажирооборота и, соответственно, спроса на ВС и численности парка вышеупомянутые эффекты масштаба уже проявятся – причем, в резко негативном смысле, в виде многократного роста удельных затрат на приобретение и обслуживание ВС.

но изображен возможный вид кривой спроса на соответствующие авиатранспортные услуги.



Рис. 3. Кривая спроса на новый вид авиатранспортных услуг в местном или пригородном сообщении (услуги авиатакси)

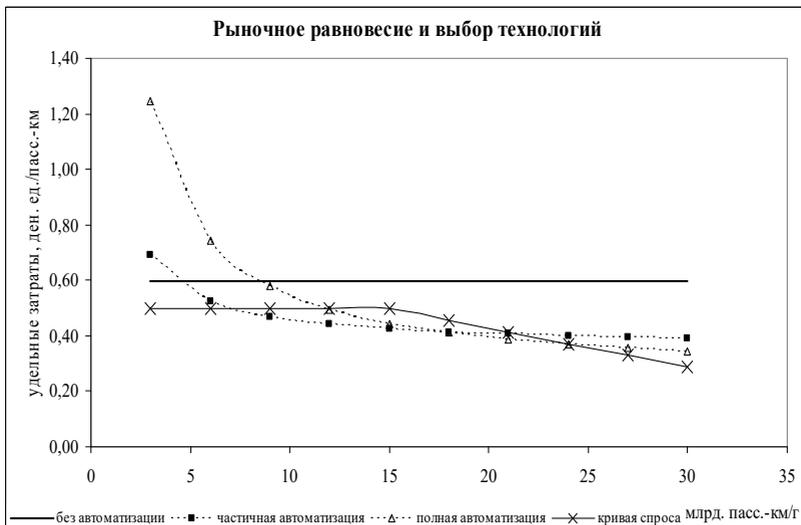
Здесь наблюдается падение спроса до нуля при некоторой запретительной цене пассажиро-километра  $c_{пкм}^{запр}$  (т.е. сам новый рынок возникает, если удастся снизить стоимость пассажиро-километра полета ниже этого порога), причем, «стартовая» емкость этого рынка составляет  $W_{нач}$  пасс.-км./г. При дальнейшем снижении тарифов спрос растет, но не может возрастать неограниченно, даже если полеты станут бесплатными: есть конечная максимальная емкость рынка  $W_{max}=W(0)<\infty$ .

Осталось совместить кривые спроса на авиаперевозки и кривые удельных затрат на пасс.-км, приведенные на рис. 3 и 2. Кривая спроса отражает максимальную цену, которую готовы заплатить потребители за данное количество блага, т.е. максимальный тариф  $c_{пкм}$ , при котором спрос на авиаперевозки на этом рынке составит  $W$ . Тогда как кривые зависимости удельных затрат от пассажирооборота, напротив, представляют собой кривые предложения, т.е. выражают минимально приемлемую для производителей товаров и услуг цену, по которой они согласны предоставить соответствующее количество блага. Выше было пред-

ложено рассматривать нижнюю огибающую таких кривых как оптимальную кривую удельных затрат. Итак, для этой кривой «разрешенной» является область над ней, тогда как для кривой спроса – под ней. Следовательно, область компромисса, который и делает возможным возникновение нового сегмента рынка авиатранспортных услуг, будет непустой лишь в том диапазоне значений пассажирооборота, в котором кривая спроса лежит выше оптимальной кривой удельных затрат – если сам такой диапазон будет непустым. Для этого должно выполняться следующее условие:

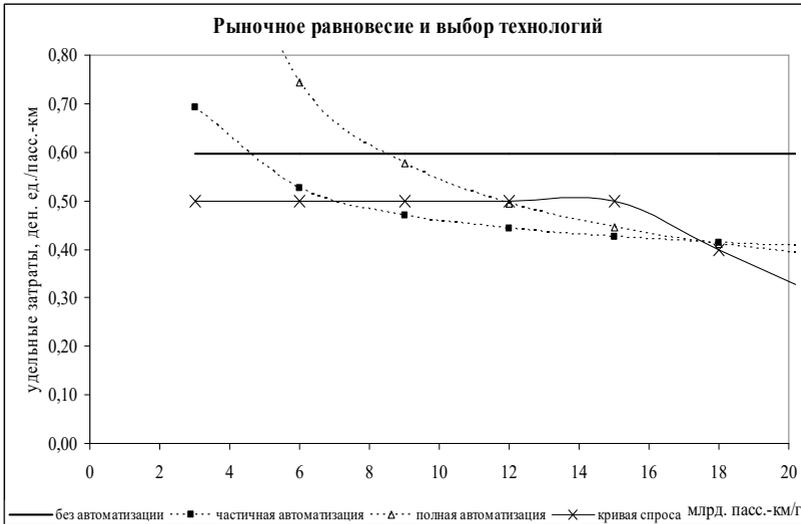
$$(3) \quad c_{\text{пкм}}^{\text{запр}} > c'_{\text{пкм}}(W_{\text{нач}}) = c_{\text{пр}} + \Delta c + \frac{z - \Delta z}{m \cdot v} + \frac{C_{\text{НИОКР}}}{W_{\text{нач}} \cdot T_{\text{ЖЦ}}}$$

Такое условие выполнимо лишь на относительно емких рынках, т.е. в странах или регионах, обладающих достаточным масштабом. Также подразумевается, что без технологических изменений в области управления ВС новый рынок авиаперевозок вообще не возникает – иначе он уже возник бы. Т.е.  $c_{\text{пкм}}^{\text{запр}} < c_{\text{пкм}} = c_{\text{пр}} + z/(m \cdot v)$ , как и изображено на рис. 4. Кривая спроса здесь, как и выше на рис. 3, построена в следующих предположениях: запретительный тариф в новом сегменте рынка авиаперевозок составляет  $c_{\text{пкм}}^{\text{запр}} = 0,5$  ден. ед./пасс.-км; если тариф будет ниже этого порога, сразу скачкообразно возникает новый сегмент рынка стартовой емкостью  $W_{\text{нач}} = 15$  млрд. пасс.-км/г; максимальная емкость рынка при нулевом тарифе составляет  $W_{\text{max}} = 50$  млрд. пасс.-км/г.



*Рис. 4. Условие возникновения рынка новых видов авиатранспортных услуг в местном или пригородном сообщении (пример 1)*

При этом, в свою очередь, выбор оптимальной технологической альтернативы – полная или частичная автоматизация управления – также зависит от емкости рынка. Если в область компромисса между спросом и предложением попадает точка «переключения» между этими двумя альтернативами (как и показано выше на рис. 4), выбор будет сделан в пользу полностью беспилотных авиатакси, а если емкость рынка окажется для этого недостаточной (условный пример изображен ниже на рис. 5, где максимальная емкость рынка снижена с 50 до 20 млрд. пасс.-км/г) – технологическое развитие пойдет по пути частичной автоматизации управления, позволяющей существенно облегчить работу пилота и снизить требования к его квалификации, но не устранить его полностью из контура управления.



*Рис. 5. Условие возникновения рынка новых видов авиатранспортных услуг в местном или пригородном сообщении (пример 2)*

Количественные примеры, рассмотренные выше, хотя и не являются заведомо нереальными, все-таки носят иллюстративный характер. Чтобы оценить, хотя бы приближенно, параметры соответствующих технологических развилки, необходимо задаться реалистичными значениями исходных данных. Здесь предложен именно методический инструментарий для проведения соответствующих расчетов.

В предложенной модели выбор в пользу полной или частичной автоматизации управления за счет использования технологий искусственного интеллекта рассматривался как выбор, продиктованный сугубо экономическими соображениями. В то же время он может быть сделан – причем, в пользу более полной автоматизации управления – и по соображениям обеспечения безопасности полетов. При высокой интенсивности воздушного движения, которая, возможно, будет иметь место при массовых авиаперевозках в местном и пригородном сообщении,

«количество перейдет в качество». И для того, чтобы обеспечить на приемлемом уровне безопасность полетов при многократном повышении интенсивности воздушного движения, может оказаться недостаточно когнитивных способностей людей как операторов, их пропускной способности (быстродействия) как динамических звеньев в контуре управления. Т.е. интеллектуализация управления может оказаться не просто наилучшей альтернативой с экономической точки зрения, а непременным требованием для формирования соответствующих рынков авиационных услуг и воздушных судов. Но, разумеется, при этом формирование новых рынков должно быть экономически целесообразным.

## **6. Выводы**

Применение технологий интеллектуальной автоматизации управления ВС позволяет, при неухудшении показателей безопасности полетов, также рассчитывать на сокращение себестоимости авиаперевозок и авиационных работ (при повышении их качества, благодаря оптимизации выполнения миссии), причем, это сокращение будет тем более значительным в относительном выражении, чем ниже пассажироместимость и грузоподъемность ВС, требуемая масса целевой нагрузки для выполнения авиационных работ.

При этом, чем выше степень автоматизации управления ВС, тем выше достигаемое благодаря ей сокращение затрат на оплату труда экипажей, но выше и потребные постоянные затраты на разработку и внедрение технологий автоматизации. Поэтому экономически оправданная глубина автоматизации управления ВС повышается по мере увеличения масштабов соответствующих рынков авиационных работ и услуг.

Полученные оценки следует принимать во внимание при планировании (в т.ч. обосновании затрат и сроков) развития технологий интеллектуальной поддержки экипажей магистральных, региональных ВС (в т.ч. с перспективой перехода к одночленным экипажам) и ВС местных воздушных линий, авиации общего назначения, технологий автоматического

управления движением перспективных аэротакси и беспилотных ВС для выполнения грузовых перевозок и авиационных работ.

### Литература

1. ВАРЮХИНА Е.В., КЛОЧКОВ В.В. *Интеллектуальные авиационные технологии обеспечения безопасности полетов и приемлемой общей стоимости владения авиационной техникой* // Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества. Сборник тезисов докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию отечественной гражданской авиации. – М.: МГТУ ГА, 2023. С. 441-443.

2. ГЛАСОВ В.В., ЗЫБИН Е.Ю., КОСЬЯНЧУК В.В. *Непараметрический метод функциональной реконфигурации системы управления воздушного судна при отказах исполнительной подсистемы* // Моделирование авиационных систем: Сборник тезисов докладов IV Всероссийской научно-технической конференции. – М.: Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем, 2020. – С. 210-211.

3. ДУТОВ А.В., ГЛАСОВ В.В., ШАКУН А. В., КОСЬЯНЧУК В. В., ЗЫБИН Е. Ю., ЛЕЛИКОВ М. А. *Основные цели, задачи, этапы и технологии интеллектуализации комплексов бортового оборудования перспективных воздушных судов гражданской авиации* // Техника воздушного флота. – №1. – 2023. – С. 26-35.

4. КЛОЧКОВ В.В., РОЖДЕСТВЕНСКАЯ С.М., ФРИДЛЯНД А.А. *Обоснование приоритетных направлений развития авиационной техники для местных воздушных линий* // Научный вестник ГосНИИ ГА. – № 20 (331). –2018. – С. 93-102.

5. КЛОЧКОВ В.В., ТОПОРОВ Н.Б., ЕГОШИН С.Ф. *Интегрированные авиационные системы* // Управление большими системами: сборник трудов. – 2021. – № 90. – С. 94-120.

6. КОСЬЯНЧУК В.В., ГЛАСОВ В.В., ЗЫБИН Е.Ю. *Концепция универсальной интеллектуальной системы реконфигурации подсистем комплекса бортового оборудования сверхзву-*

кового пассажирского самолета // Материалы XIV Всероссийской мультikonференции по проблемам управления (МКПУ-2021). – Том 3. – Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университете, 2021. – С. 18-20.

7. *План деятельности Центра по развитию науки и технологий в авиастроении*, утв. Распоряжением Правительства Российской Федерации № 1959-р от 16.09.2016.

8. РЕЗЧИКОВ А.Ф. *Проблемы критических ситуаций в человеко-машинных системах* // Материалы 11-й Международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD'2018, Москва). – М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2018. Т.1. – С. 59-65.

9. *2023 Commercial Market Outlook 2023–2042*, Boeing.

10. *Advantages and disadvantages of automation in aviation*. – URL: <https://aspiringyouths.com/advantages-disadvantages/automation-in-aviation/> (дата обращения 12.02.2024).

11. ANANIA E.C., RICE S., PIERCE M., WINTER S.R., CAPPS J., MILNER M.N. *Public support for police drone missions depends on political affiliation and neighborhood demographics* // *Technology in Society*. – 2019. – Vol. 57, P. 95-103.

12. *Autonomous Flight: What We Mean and Why It's First*. – March, 2022. – URL: <https://wisk.aero/news/blog/autonomous-flight-what-we-mean-and-why-its-first/> (дата обращения: 12.02.2024).

13. *Aviation Maintenance Technician Handbook Addendum - Human Factors, FAA*.

14. BOUCHER P. *You wouldn't have your granny using them: Drawing boundaries between acceptable and unacceptable applications of civil drones* // *Science and Engineering Ethics*. – 2016. – Vol. 22. – P. 1391-1418.

15. BROWN J. P. *The Effect of Automation on Human Factors in Aviation* // *The Journal of Instrumentation, Automation and Systems*. – 2016c Vol. 3, No 2. – P. 31-46.

16. CLOTHIER R.A., GREER D.A., GREER D.G., MEHTA A.M. *Risk perception and the public acceptance of drones* // *Risk Analysis Journal*. – 2015. – Vol. 35. Iss. 6. – P. 1167-1183.

17. *Cockpit Automation - Advantages and Safety Challenges*. – URL: <https://skybrary.aero/articles/cockpit-automation-advantages-and-safety-challenges> (дата обращения 12.02.2024).

18. GUNNING D., VORM E., JENNIFER YUNYAN WANG J. Y., TUREK M. *DARPA's explainable AI (XAI) program: A retrospective* // *Applied AI letters*. – 2021. – Vol. 2. Iss. 4. – P. 1-11.

19. KHAROUFAH H., MURRAY J., BAXTER G., WILD G. *A review of human factors causations in commercial air transport accidents and incidents: From to 2000–2016* // *Progress in Aerospace Sciences*. – 2018. – Vol. 99. – P. 1-13.

20. MARTIN L., HOMOLA J., OMAR F., RAMIREZ C. JOBE K. *Giving the public a perspective into Unmanned Aircraft Systems' operations* // *IEEE/AIAA 37th Digital Avionics Systems Conference (DASC)*. – London, UK. – Publisher: IEEE. – 2018. – P. 1-7.

21. MUMAW R. *Not Automation Failures, but Automation Interface Failures* // *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, January 2024.

22. *Pilot and Technician Outlook 2023-2042*, Boeing

23. RAY A. T., BHAT A.P., WHITE R., NGUYEN V. M. *Examining the Potential of Generative Language Models for Aviation Safety Analysis: Case Study and Insights Using the Aviation Safety Reporting System (ASRS)* // *Aerospace*. – 10(9): 770. – August 2023.

24. READ G., O'BRIEN A., STANTON N. A., SALMON P. M. *What is going on? Contributory factors to automation-related aviation incidents and accidents* // *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. – 2020. – Vol. 64, Issue 1, P. 1697-1701.

25. RIVERA J. *Integration of Civil Unmanned Aircraft Systems (UAS) in the National Airspace System (NAS) Roadmap*, 3rd Edition 2020, Federal Aviation Administration

26. *Study on the societal acceptance of Urban Air Mobility in Europe*, EASA, May 19, 2021.

27. *Transport Canada - Human Performance Factors for Elementary Work and Servicing TC14175*.

## **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМИ СУДАМИ НА УРОВНЕ АВИАТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ**

### **ANALYSIS OF THE AIRCRAFT CONTROL INTELLIGENCE EFFICIENCY AT THE AIRLINE TRANSPORT SYSTEM LEVEL**

**Vladislav Klochkov**, NRC “Zhukovsky Institute”, Moscow, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Doctor of Science (vlad\_klochkov@mail.ru).

**Ekaterina Varyukhina**, NRC “Zhukovsky Institute”, Moscow, Cand.Sc. (e.varyukhina@yandex.ru).

*Abstract: Control automation is one of the most important areas of aviation evolution. Owing to automation of control, the influence of the human factor is reduced, operational meteorological minimums are expanded, trajectories are straightened, opportunities arise for optimizing aircraft designs, more effective methods for controlling the condition of aircraft elements appear, pilots' understanding of the condition of the aircraft and situational awareness are improved, etc. As the workload on pilots and dispatchers is reduced, it is possible to reduce crew or dispatcher labor costs by moving to single-crew or even unmanned flights and reducing personnel qualification requirements. As a result, total operating costs are expected to be reduced. Thus, automation of aircraft control makes it possible to increase flight safety, the availability of air transportation, the quality of air transport services and reduce the impact on the environment. However, to increase the degree of automation, significant costs will be required for the development and implementation of appropriate systems. In order to be able to make a decision on the priority of developing certain aircraft control automation technologies, it is necessary to evaluate their effectiveness in a comprehensive manner. A methodological toolkit is proposed that allows one to evaluate the effectiveness of such technologies from an economic point of view. However, increasing the degree of control automation may also be necessary for reasons of flight safety, for example, due to a possible radical increase in the intensity of air traffic in suburban, local traffic and, possibly, intracity traffic (which is more typical for cities with high density and high level of income of the population). Using the proposed tools, an analysis of the conditions for the effective implementation of intelligent automation of aircraft control at the level of the air transport system was carried out. It is concluded that increasing the degree of automation of aircraft control will be justified with the growth in the scale of the market for aviation works and services.*

**Key words:** Control automation, aviation, artificial intelligence, intelligent systems, efficiency evaluation, air transport system

УДК 004.89:65.011  
ББК 39.52