

**ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ
МЕХАНИЗМ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ
АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ
ВОЗДУШНЫМИ СУДАМИ
В РАМКАХ АВИАТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ**

Клочков В. В.^{1а,б}, Егосин С. Ф.^{2б}

(^а ФГБУН Институт проблем управления

им. В.А. Трапезникова РАН, Москва,

^б ФГБУ НИЦ «Институт им. Н.Е. Жуковского»,

Жуковский

В современных условиях исследование крупномасштабных систем позволяет существенно повысить эффективность отраслевого управления. Рассматриваемый на примере авиационной отрасли подход позволяет выработать обоснование для организационного механизма, который отличается от традиционных бизнес-моделей применения авиации возможностью достигнуть максимального экономического эффекта с учетом соблюдения современных требований к авиационным работам и услугам в части безопасности полетов. В основу механизма положено априорное принятие авиапроизводителем ответственности за все отказы, возникающие в процессе эксплуатации новой авиационной техники на начальном этапе ее жизненного цикла. Методология исследования базируется на математическом моделировании и методах системного анализа. В качестве примера рассмотрена отрасль перспективного применения беспилотных авиационных систем «доставка последней мили». Предложенный подход позволяет выполнять более эффективные планирование развития и выработку управленческих решений (стратегий управления) при внедрении новой авиационной техники, обладающей потенциалом широкого применения, в том числе при формировании государственных программ Российской Федерации, стратегий развития промышленных организаций авиастроения.

Ключевые слова: беспилотные авиационные системы, беспилотные летательные аппараты, конструктивно-производственные недостатки, доставка «последней мили», управление развитием отрасли.

¹ Владислав Валерьевич Клочков, д.э.н. (klochkovvv@nrczh.ru).

² Сергей Федорович Егосин, специалист (egoshinsf@nrczh.ru).

1. Введение

При современном уровне развития авиации, широкомасштабное внедрение новой авиационной техники (АТ) невозможно вне сложных организационно-технических систем [5] и ведет к изменению не одного, а сразу нескольких, как правило, взаимосвязанных показателей функционирования этих систем.

С одной стороны, в современной авиации подавляющее большинство авиационных происшествий и инцидентов происходит по причине «человеческого фактора» [13, 14], при всей неоднозначности этого термина (поскольку в авиации как рукотворной области всё происходит по вине и воле человека). Поэтому в качестве магистрального направления развития технологий с целью повышения уровня безопасности полетов (БП) рассматривается автоматизация управления воздушных судов (ВС) – как полная (переход к автономному управлению), так и частичная (снижение нагрузки на экипаж).

С другой стороны, при внедрении высокоавтоматизированных или даже полностью автономных ВС по определению возрастает доля авиационных происшествий (АП) и инцидентов, вызванных отказами средств автоматизации управления, сбоями, некорректной работой алгоритмов автоматизации управления. И неверный алгоритм управления или некорректно обученная интеллектуальная система управления уже будут относиться к «отказам» АТ, вызванным ее конструктивно-производственными недостатками (КПН). И вина за эти «отказы», разумеется, лежит на разработчиках и производителях АТ. Тогда как ошибки управления ВС, допускаемые их экипажами в настоящее время, в основном относятся к сфере ответственности эксплуатантов АТ.

При этом новизна технологий глубокой автоматизации управления ВС, непрозрачность интеллектуальных методов и систем управления вызывают справедливые опасения общества и авиационных властей [17, 18], что по крайней мере на начальных стадиях внедрения таких технологий частота вызванных этими «отказами» авиационных происшествий и инцидентов

будет высокой. Это один из главных барьеров на пути внедрения соответствующих технологий.

В качестве еще одного противоречия может быть указано, что внедрение технологий автоматизации управления ВС несет не только высокие риски для ухудшения уровня БП, но и ведет к изменению стоимостных характеристик АТ. И поскольку каждое АП так или иначе ведет к убыткам для непосредственных участников авиационной деятельности (производителей и эксплуатантов АТ и пр.) и третьих лиц, данное противоречие также становится существенным сдерживающим фактором развития отрасли: участники авиационной деятельности в стремлении сократить собственные убытки придерживаются выжидательной стратегии вместо активного внедрения инноваций.

Поиск организационных механизмов, которые способствовали бы ускорению развития предприятий соответствующих отраслей, не теряет своей актуальности [8, 10, 12, 15, 16]. В настоящей работе рассматриваются беспилотные авиационные системы (БАС) как одна из активно развивающихся отраслей, затрагивается проблема устранения КПН и демонстрируется эффективность соответствующего механизма управления. Суть механизма заключается в том, что один из участников отрасли выступает в роли единого оператора, максимизирующего общую выгоду, тем самым способствуя не только ускоренному росту отрасли, но и ускоренному снижению количества АП в отрасли вследствие более быстрого накопления необходимого опыта, т.е. устранения КПН и причин эксплуатационных ошибок.

2. Моделирование отрасли внедрения БАС

Для обоснования действенности рассматриваемого механизма и раскрытия искомого эффекта использован подход, аналогичный предложенному в работе [7], где он был использован для анализа эффективности стратегии конкретного разработчика авиационных двигателей в части устранения КПН и в части организации технического обслуживания и ремонта (ТОиР) с использованием конкретной выборки исходных данных.

В настоящей работе указанный подход применяется в более широком смысле: для анализа границ применимости организационного механизма внедрения радикальных инноваций, связанных с БАС, в условиях высоких рисков для БП, вызванных переходом к дистанционному или автономному управлению движением входящих в состав БАС беспилотных воздушных судов (БВС), а также субъективным восприятием этих рисков в обществе.

Отрасль применения БАС, как и в [7], моделируется в упрощенной форме как состоящая из производителя АТ и эксплуатанта АТ.

Производитель АТ в рассматриваемый год t выпускает $q(t)$ штук БАС при продажной цене p . Количество выпускаемых БАС зависит от доли прибыли, выделяемой эксплуатантом АТ для закупки новых БАС (о чем подробнее будет сказано ниже). При этом прибыль производителя $\Pi^{\text{произв}}(t)$, рассматриваемая накопительным итогом к году t , есть разница между выручкой от продажи суммарного количества БАС $Q(t)$, выпущенных начиная с $t = 1$, и понесенными суммарными расходами на проектирование и производство БАС:

$$(1) \quad \Pi^{\text{произв}}(t) = p \times Q(t) - TC(Q(t)) - c_{\text{отн}}^{\text{произв}}(t),$$

где $TC(Q)$ – суммарные затраты на производство Q штук БАС; $c_{\text{отн}}^{\text{произв}}(t)$ – накопленные к концу года t затраты производителя, связанные с отказами.

Суммарные затраты TC включают три составных части:

- фиксированные затраты $FC_{\text{произв}}$ на разработку нового изделия и технологическую подготовку производства (ТПП);
- стоимость материалов для изготовления Q штук БАС, рассчитываемая пропорционально удельной стоимости материалов $c_{\text{мат}}$ для изготовления одного экземпляра БАС;
- стоимость трудозатрат $c_{\text{тр}}(Q)$ для выпуска Q штук БАС, при расчете которой учитывается накопление опыта благодаря эффекту обучения персонала производителя:

$$(2) \quad c_{\text{тр}}(Q) = c_{\text{тр}}^1 \sum_{q=1}^Q \left(1 - \lambda_{\text{произв}}\right)^{\log_2 Q},$$

где $c_{тр}^1$ – стоимость трудозатрат на сборку первого серийного экземпляра; $\lambda_{произв}$ – темп обучения в процессе производства.

Что касается затрат производителя, которые были накоплены к концу года t в связи с отказами, то в данном случае возможны два варианта, о чем будет сказано ниже.

Эксплуатант АТ в рассматриваемый год t эксплуатирует все БАС, выпущенные к этому году (в гипотетическом предположении, что повреждения БВС в авариях и катастрофах могут быть устранены и БВС возвращено к эксплуатации) в количестве $m(t)$:

$$(3) \quad m(t) \equiv Q(t-1) = m(1) + \sum_{s=1}^{t-1} q(s),$$

где $m(1)$ – объем стартового заказа к началу массовой эксплуатации.

Прибыль эксплуатанта $\Pi_{\text{экс}}(t)$, рассматриваемая накопительным итогом к году t , есть разница между выручкой, пропорциональной годовому налету η одного БВС и продажной цене r летного часа БВС для потребителя услуги, и расходами, которые включают себестоимость летного $c_{\text{час}}$ и могут включать затраты $c_{\text{отн}}^{\text{экс}}$ на устранение последствий отказов:

$$(4) \quad \Pi^{\text{экс}}(t) = \sum_{s=1}^t (r - c_{\text{час}} - c_{\text{отн}}^{\text{экс}}) \times \eta \times m(s).$$

Отсюда количество $q(t)$ новых БАС, закупаемых в год t , составит:

$$(5) \quad q(t) = \left\lfloor \frac{\gamma \times (r - c_{\text{час}} - c_{\text{отн}}^{\text{экс}}) \times \eta \times m(t)}{p} \right\rfloor,$$

где γ – доля прибыли, выделяемой эксплуатантом АТ для закупки новых БАС; $\lfloor \cdot \rfloor$ – целая часть числа.

При эксплуатации БАС рассматривается возможность возникновения двух типов отказов: вследствие ошибок эксплуатации и вследствие КПН. В первом случае предполагается, что поток отказов однороден и равномерен, а потому может быть задан через фиксированную среднюю наработку на отказы $\tau_{\text{др}}$.

Во втором случае, средняя наработка на отказ из-за КПН непостоянна и возрастает по закону:

$$(6) \quad \tau_{\text{КПН}}(t) = \tau_{\text{КПН}}(1) \times (1 - \lambda_{\text{надежн}})^{-\log_2 N_{\text{КПН}}(t)},$$

где $\tau_{\text{КПН}}(1)$ – средняя наработка на отказ из-за КПН в первый год эксплуатации; $\lambda_{\text{надежн}}$ – темп обучения в процессе устранения КПН; $N_{\text{КПН}}(t)$ – накопленное к году t суммарное количество отказов из-за КПН.

Введением зависимости (6) учитывается накопление опыта разработки и эксплуатации беспилотной АТ с постепенным повышением уровня безопасности эксплуатации.

В рамках модели производится сравнение двух возможных сценариев развития некоторой отрасли применения БВС:

– «сценарий 1», при котором производитель и эксплуатант несут самостоятельную ответственность за инциденты в соответствии со степенью их виновности;

– «сценарий 2», при котором производитель априорно принимает на себя всю ответственность за инциденты.

В «сценарии 1» затраты производителя и эксплуатанта, связанные с отказами, в рассматриваемый год t в расчете на летный час есть:

$$(7) \quad c_{\text{отн}}^{\text{произв}}(t) = \frac{c_{\text{восст}} + c_{\text{деф}} + c_{\text{отв}}}{\tau_{\text{КПН}}(t)},$$

$$(8) \quad c_{\text{отн}}^{\text{эксп}}(t) = \frac{c_{\text{восст}} + c_{\text{деф}} + c_{\text{отв}}}{\tau_{\text{др}}},$$

где $c_{\text{восст}}$, $c_{\text{деф}}$ и $c_{\text{отв}}$ – стоимости восстановления БВС, дефектации БВС и установления ответственности соответственно.

При таком расчете затрат производитель несет ответственность с периодичностью, зависящей только от $\tau_{\text{КПН}}$, а эксплуатант – от $\tau_{\text{др}}$, однако они оба несут дополнительные издержки $c_{\text{отв}}$, связанные с необходимостью определения степени собственной вины в каждом отдельном случае отказа.

В «сценарии 2» эти же затраты производителя и эксплуатанта задаются как

$$(9) \quad c_{\text{отн}}^{\text{произв}}(t) = (c_{\text{восст}} + c_{\text{деф}}) \times \left(\frac{1}{\tau_{\text{КПН}}(t)} + \frac{1}{\tau_{\text{др}}} \right),$$

$$(10) \quad c_{\text{отн}}^{\text{эсп}}(t) = 0.$$

Выражения (9)–(10) означают, что эксплуатант не несет каких-либо издержек, связанных с устранением отказов, поскольку все они ложатся на производителя, и при этом исчезают издержки $c_{\text{отв}}$, связанные с определением степени ответственности за каждый случай отказа.

Таким образом, целью сравнительных расчетов с учетом формул (7)–(8) или (9)–(10) является выработка условий, при которых априорное принятие на себя ответственности ведет к повышению суммарной прибыли в отрасли и уровня БП, и наоборот.

3. Исходные данные и допущения

В практическом плане, рассматривается такая отрасль возможного широкого применения БАС, как доставка «последней мили».

Вводится предположение, что БАС создаются на основе однотипного парка БВС. Тип применяемого БВС выбирается как «мультиротор легкий» из перечня планируемых к массовому применению [11]. Моделируемый период развития отрасли задается равным 10 годам.

Оценочные технико-экономические характеристики (ТЭХ) БАС представлены в таблице 1.

Расчетные значения параметров, указанные в таблице 1, за исключением взятых из [11], введены исходя из следующих допущений.

1. Полеты БВС выполняются в светлое время суток и с ограничением 8-часового рабочего дня оператора, поэтому, с учетом необходимых перерывов на техобслуживание и пр., годовой налет БВС 2000 л.ч. сопоставим с налетом самолетов малой авиации при их достаточно интенсивной эксплуатации.

Таблица 1. ТЭХ БАС

Характеристика	Обозначение	Значение
Объем стартового заказа к началу массовой эксплуатации, шт.	$m(1)$	100
Годовой налет, л.ч.	η	2000
Продажная цена БАС (включая БВС), млн руб.	p	0,5
Доля прибыли эксплуатанта, тратящаяся на закупку новых БАС, %	γ	50
Наработка на отказ из-за КПП в течение первого года эксплуатации, л.ч.	$\tau_{\text{КПП}}(1)$	548
Темп обучения в процессе устранения КПП	$\lambda_{\text{надежн}}$	0,15
Наработка на другие отказы, л.ч.	$\tau_{\text{др}}$	2000
Стоимость восстановления БВС, млн руб.	$c_{\text{восст}}$	0,3
Стоимость дефектации БВС, млн руб.	$c_{\text{деф}}$	0,1
Стоимость установления ответственности, млн руб.	$c_{\text{отв}}$	0,1
Продажная цена л.ч. для потребителя услуги, руб.	r	3500
Себестоимость л.ч., руб.	$c_{\text{час}}$	3000
Затраты на проектирование и ТПП, млн руб.	$FC^{\text{произв}}$	150
Стоимость материалов для изготовления одного экземпляра БАС, млн руб.	$c_{\text{мат}}$	0,133
Стоимость трудозатрат на сборку первого серийного экземпляра, млн руб.	$c_{\text{тр}}^1$	0,534
Темп обучения в процессе производства	$\lambda_{\text{произв}}$	0,15

2. Наработка на отказ из-за КПП в течение первого года эксплуатации БАС вводится по формуле

$$(11) \quad \tau_{\text{КПП}}(1) = \frac{\eta}{365} \times m(1).$$

Данная взаимосвязь означает, что при эксплуатации парка БВС в границах обслуживаемой территории (например, городской агломерации) в течение одного дня эксплуатации допустимо не более одного отказа по причине КПП. В этом случае, благодаря возможности подмены неисправного БВС (при значи-

тельной численности парка), не происходит срыва графика доставки грузов. При этом сотрудники ремонтного подразделения производителя успевают прибыть на место инцидента и устранить неисправность в течение суток, так что уже на следующий день БВС снова будет выполнять полеты, а подразделение – уже реагировать на новый возможный инцидент.

3. Нарботка на другие отказы задается как одно событие в год.

4. Сумма стоимости дефектации и стоимости восстановления не должна превышать 80% от продажной цены (остальные 20% – норма прибыли от продажи БАС): в противном случае производителю выгоднее изготовить и поставить новый комплект БАС, а не заниматься восстановлением неисправного/поврежденного. При этом стоимость дефектации составляет 20–25% от стоимости трудозатрат на сборку первого серийного экземпляра как условная стоимость разборки элементов БАС.

5. Стоимость установления ответственности выбирается из условия, что ее сумма со стоимостью дефектации и стоимостью восстановления не должна превысить продажную цену. В противном случае сложится ситуация, что в «сценарии 1» потери производителя вследствие отказа изделий будут всегда превышать его выручку от продажи изделий (хотя в модели и не затрагивается вопрос функционирования предприятий производителя в условиях постоянной убыточности на протяжении нескольких лет).

6. Считается, что заявленная стоимость летного часа БВС [11] включает в себя прибыль, норма прибыли при этом составляет 15–20%.

7. Затраты на проектирование и ТПП выбраны исходя из информации, что ценовой предел для сертификации БАС устанавливается в размере 30–70 млн руб. [9], отсюда стоимость $FC_{\text{произв}}$ будет кратно больше (например, в 3 раза).

8. Стоимость материалов для изготовления одного экземпляра БАС выбрана из условия, что при крупносерийном производстве стоимость материалов составит треть от себестоимости производства экземпляра, т.е. 26,67% от продажной цены (при норме прибыли 20%).

9. Стоимость трудозатрат на сборку первого серийного экземпляра БАС выбрана в продолжение предыдущих рассуждений. Оставшаяся часть продажной цены (53,33%) соответствует стоимости трудозатрат на сборку одного экземпляра при крупносерийном производстве. Тогда стоимость трудозатрат на сборку первого серийного экземпляра вследствие эффекта обучения будет как минимум вдвое больше, т.е. 106,67% от продажной цены.

4. Анализ результатов расчетов

Результаты расчетов представлены на рис. 1–6.

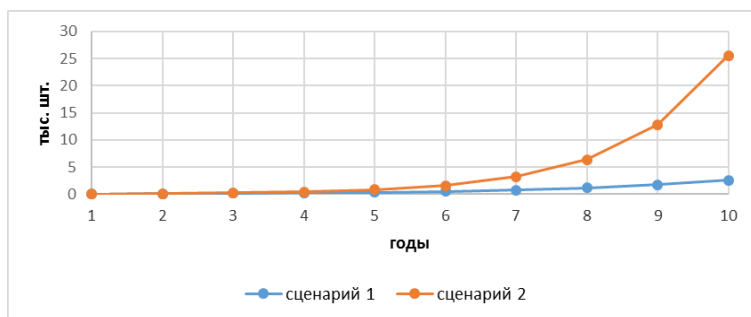


Рис. 1. Парк БВС

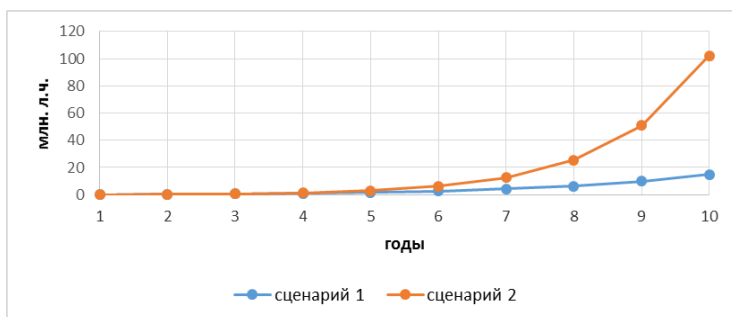


Рис. 2. Суммарный налет парка БВС к году эксплуатации

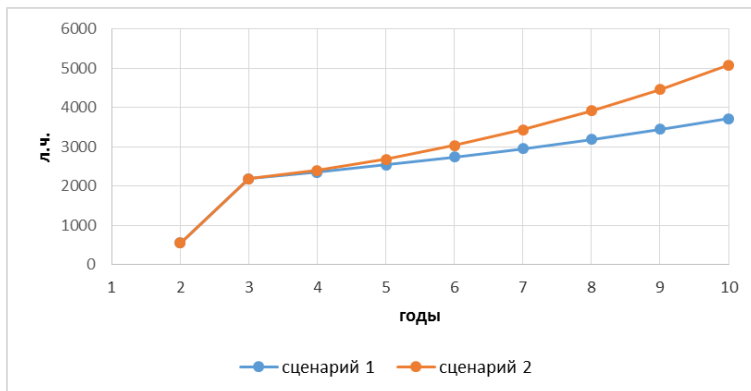


Рис. 3. Средний налет БВС на отказ вследствие КПН

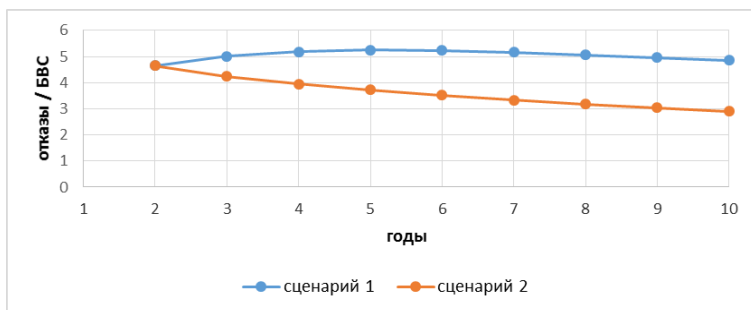


Рис. 4. Среднее количество накопленных отказов на одно БВС к году эксплуатации

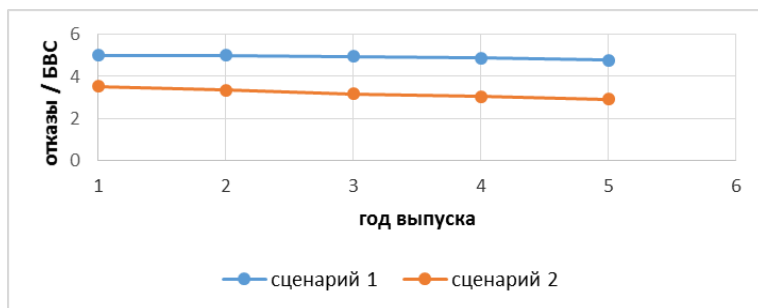


Рис. 5. Среднее количество суммарных отказов на одно БВС за жизненный цикл

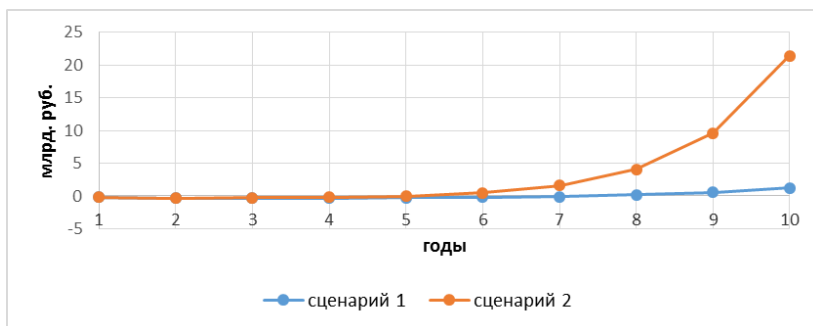


Рис. 6. Суммарно накопленная прибыль отрасли

Как можно видеть, характер роста парка БВС отрасли доставки «последней мили» (рис. 1) и суммарного налета этого парка (рис. 2) одинаков: при «сценарии 2» отрасль развивается гораздо быстрее, чем при «сценарии 1». Это связано с тем, что при заданных значениях параметров в «сценарии 2» отсутствуют дополнительные затраты, связанные с определением ответственности.

Средний налет на отказ из-за КПН (рис. 3) растет быстрее для «сценария 2», хотя итоговая разница за период моделирования невелика и не превышает 25%.

Среднее количество накопленных к году эксплуатации отказов на одно БВС в общем случае изменяется по закону, соответствующему «сценарию 1» (рис. 4): начальный рост сменяется дальнейшим падением. Однако для «сценария 2» эта закономерность не отображается на графике, поскольку период роста соответствует кратковременному промежутку между годами 2 и 3. В целом же к окончанию периода моделирования (10 лет) среднее количество накопленных отказов на одно БВС для «сценария 2» оказывается на 40% меньше, чем в «сценарии 1», что обусловлено более быстрыми темпами обучения в части устранения КПН при большем парке эксплуатируемых БВС.

Средние количества суммарных отказов на одно БВС за жизненный цикл (как период эксплуатации одного БВС) могут быть рассчитаны для БВС, выводимых из эксплуатации начиная с 11 года (в силу допущения, что назначенный ресурс БВС равен

20000 л.ч., что соответствует 10 годам эксплуатации при заданном годовом налете 2000 л.ч.). Соответственно, при увеличении периода моделирования до 15 лет данный показатель может быть рассчитан только для БВС, выпущенных в течение первых пяти лет (рис. 5). Увеличение же периода моделирования более чем на 15 лет ставит вопрос корректности применения модели (например, в силу насыщения рынка, т.е. наличия ограничения на спрос услуг БАС). Впрочем, качественные выводы могут быть сделаны и без этого, поскольку закономерности на рис. 5 повторяют закономерности с рис. 4 в части роста/падения, при этом в «сценарии 2» количество отказов за период эксплуатации на 30–40% меньше, чем в «сценарии 1».

Суммарно накопленная прибыль производителя и эксплуатанта для обеих отраслей (рис. 6) оказывается на порядок больше в случае «сценария 2».

Таким образом, по результатам моделирования показано, что механизм априорного признания ответственности производителями за возможные инциденты с участием производимой ими беспилотной АТ позволяет, при большем росте отрасли применения данной АТ, быстрее накапливать необходимый опыт, устранять угрозы БП и повышать надежность эксплуатируемой АТ, что на долгосрочных временных интервалах обеспечивает выигрыш в накопленной прибыли за жизненный цикл изделий АТ. Фундаментальной причиной данного эффекта является исключение в рамках объединенной отрасли такой статьи затрат, как «стоимость установления ответственности», величина которой может быть весьма существенной [2]. Как результат, при априорном принятии производителем ответственности на себя суммарная прибыль и рост уровня БП в отрасли, независимо от выбора значений параметров, будет всегда больше.

5. Анализ чувствительности системы к варьируемым параметрам

Суммарно накопленная прибыль производителя и эксплуатанта может быть выбрана в качестве основного критерия дея-

тельности, для которого может быть выполнен анализ чувствительности к варьируемым управляющим параметрам системы.

Анализ чувствительности строится на основе метода градиентов, широко применяемого при разработке новой авиационной техники (авиационных комплексов, авиационных систем) на этапе уточнения проектных решений [4].

Объект АТ рассматривается как система, и для критерия S_{Σ} этой системы проводится анализ, какой из параметров a_j , $1 \leq j \leq J$, оказывает наибольшее влияние на S_{Σ} , т.е. дает наибольшее приращение S_{Σ} :

$$(12) \Delta S_{\Sigma, j} = \frac{\partial S_{\Sigma}}{\partial a_j} \Delta a_j.$$

В ситуации с проектированием АТ по выявлении искомого наиболее значимого параметра конструктор должен направить усилия в первую очередь на улучшение значения именно этого параметра. Аналогичным образом любая прикладная наука может вырабатывать приоритетные управленческие решения, обеспечивающие наилучшее развитие исследуемых систем с точки зрения рассматриваемых критериев.

В то же время применение метода имеет некоторые особенности.

Во-первых, анализ выражений (12) фактически означает замену нелинейной многомерной поверхности (которая может быть немонотонной, периодической, разрывной) гиперплоскостью в пространстве размерности J .

В данной ситуации, во избежание значительных погрешностей, приращения Δa_j должны быть невелики по сравнению с абсолютным значением параметра a_j , а поверхность, соответствующая S_{Σ} , быть близка к монотонной и не иметь разрывов.

Во-вторых, приращения переменных Δa_j должны соответствующим образом соотноситься между собой. Это связано в том числе с тем, что в большинстве случаев параметры a_j не являются независимыми и вариация одного из них неизменно влечет изменение других.

Корректным шагом в данной ситуации становится введение функциональных зависимостей варьируемых параметров a_j от новых независимых переменных b_k так, что

$$(13) \Delta a_j = \sum_k \frac{\partial a_j}{\partial b_k} \Delta b_k,$$

причем задаваемые вариации Δb_k будут одинаковы для всех a_j . Однако применение формул (13) требует разработки достаточно сложной математической модели исследуемой системы, которая в большинстве случаев даже в упрощенной форме будет так или иначе привязана к обликам существующих систем, что не позволит варьировать a_j в достаточно широком диапазоне без нарушения законов, определяющих облик этих систем.

Поэтому на практике прибегают к следующему способу исследования, позволяющему получать приемлемый результат. Вводятся так называемые нормализованные переменные $\bar{a}_j$ [3]:

$$(14) \bar{a}_j = \frac{a_j - a_{j\min}}{a_{j\max} - a_{j\min}}, \quad 0 \leq \bar{a}_j \leq 1, \quad j=1, \dots, J,$$

где $a_{j\min}$, $a_{j\max}$ – нижний и верхний пределы изменения каждого параметра a_j соответственно. Целевую функцию S_Σ при этом также нормализуют следующим образом:

$$(15) \bar{S}_\Sigma = \frac{S_\Sigma}{S_\Sigma^0},$$

где S_Σ^0 – значение S_Σ , рассчитанное в исходной, базовой точке.

Наконец, в-третьих, нахождение производных в (12) может быть сильно затруднено в силу отсутствия/невозможности получения аналитических зависимостей S_Σ от варьируемых параметров.

Тогда при условии одинаковости и малости $\Delta \bar{a}_j$ (например, $\Delta \bar{a}_j \sim 0,01$ [4]) и с заменой производных на приращения:

$$(16) \Delta \bar{S}_{\Sigma,j} = \frac{1}{S_\Sigma^0} (S_{\Sigma,j} - S_\Sigma^0).$$

Корректность применения данного метода трактуется следующим образом: равенство приращений нормализованных переменных означает равенство «усилий» для достижения границ пространства.

Применительно к рассматриваемой отрасли корректность применения вышеуказанной методологии для суммарно накопленной прибыли производителя и эксплуатанта как критерия следует из рассмотрения характера функций (рис. 6). Если пренебречь целочисленностью некоторых модельных параметров, а также незначительным падением прибыли в первые годы в сравнении с итоговым значением последнего года, то можно считать суммарную прибыль непрерывной и монотонной функцией. Отсюда в качестве управляющих переменных могут быть выбраны параметры, приведенные в таблице 2 (также указаны границы их достижимых значений), а в качестве критерия – суммарно накопленная прибыль производителя и эксплуатанта в последний год периода моделирования.

Таблица 2. Управляющие параметры и ограничения их значений

Характеристика	Модельное обозначение	$a_{j \min}$	$a_{j \max}$
Годовой налет, л.ч.	η	2000	4000
Темп обучения в процессе устранения КПН	$\lambda_{\text{надежн}}$	0,15	0,25
Доля прибыли эксплуатанта, тратящаяся на закупку новых БАС, %	γ	50	100
Стоимость установления ответственности, млн руб.	$c_{\text{отв}}$	0,1	0
Начальный объем заказа к началу массовой эксплуатации, шт.*	$m(1)$	100	200 / 1000

* – в числителе – условное минимальное (двукратное) увеличение начального объема заказа, в знаменателе – условное максимальное (десятикратное) увеличение начального объема заказа.

Касательно выбора границ достижимых значений, указанных в таблице 2: для всех параметров в качестве $a_{j \min}$ взяты значения, при которых были проведены вышеприведенные расчеты, соответствующие рис. 1–6. Значения же $a_{j \max}$ для параметров выбирались следующим образом:

1. Годовой налет в 4000 л.ч. примерно соответствует полусуточному ежедневному налету: полеты совершаются все светлое время суток, прочие сопутствующие процедуры (ТОиР и др.) проводятся уже в темное время суток, когда безопасное пилотирование в условиях городской застройки становится невозможным. Списанием БВС вследствие выработки ресурса пренебрегается, так как количество БВС в парке, которые были произведены в первые годы (годы 1–5, рис. 1), мало по сравнению количеством БВС, выпущенных позже.

2. Темп обучения в процессе устранения КПН увеличен умозрительно до уровня «удвоение опыта приводит к снижению потока отказов вследствие КПН на 25%» (о существенности влияния именно такого выбора будет сказано ниже).

3. Эксплуатант тратит 100% прибыли на расширение парка.

4. Установление ответственности для «мультиротора легкого» не представляет сложностей, например, в силу простоты конструкции и гипотетического наличия системы автоматического определения причины отказов, а потому в идеале беззатратно.

5. Начальный объем заказа – формально неограниченная величина. Поэтому в целях проведения анализа рассматривается два возможных варианта: двукратное и десятикратное увеличение начального объема заказа (как и в случае темпа обучения в процессе устранения КПН, о влиянии выбора данных значений будет сказано ниже).

Результаты проведенных расчетов изменения нормированной суммарно накопленной прибыли производителя и эксплуатанта $\Delta \bar{S}_{\Sigma, j}$ представлены на рис. 7–8.

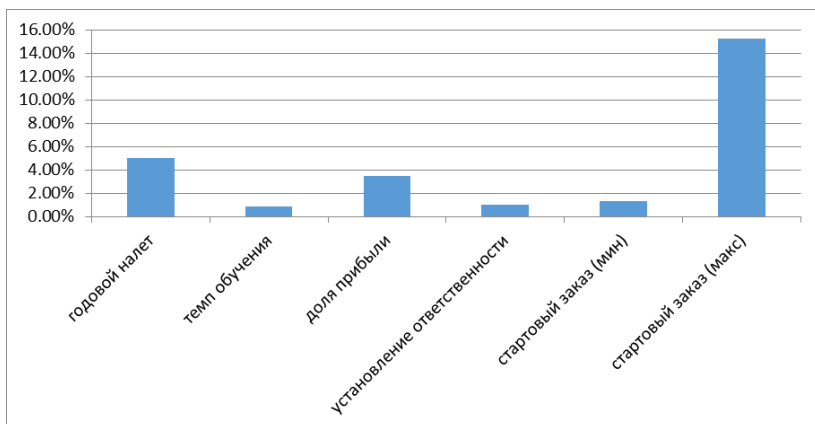


Рис. 7. Изменение нормированной суммарно накопленной прибыли производителя и эксплуатанта, «сценарий 1»

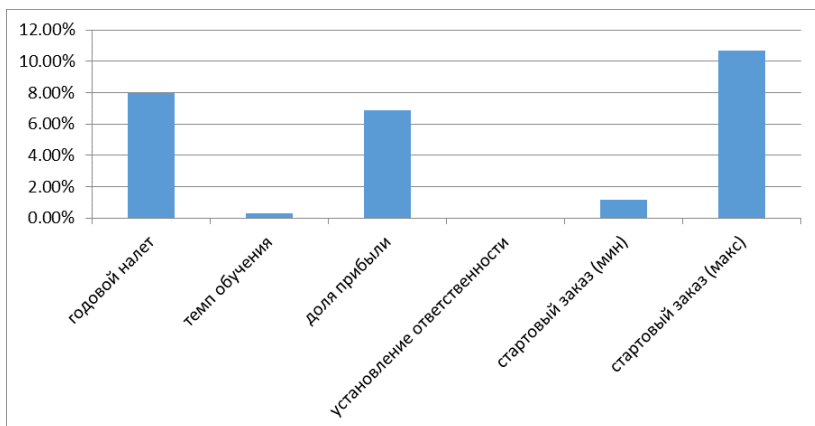


Рис. 8. Изменение нормированной суммарно накопленной прибыли производителя и эксплуатанта, «сценарий 2»

Анализ рис. 7–8 показывает, что варьируемые параметры можно разделить на две группы. К группе «слабо влияющие» относятся темп обучения и стоимость установления ответственности, к группе «сильно влияющие» – годовой налет и доля прибыли на покупку новых БАС. При этом:

– влияние стоимости установления ответственности рассчитано только для «сценария 1», поскольку в «сценарии 2» этот параметр – нулевая константа;

– влияние темпа обучения настолько мало, что для получения итоговых выводов выбор адекватного значения $a_{j\max}$ для этого параметра (к вопросу выбора вышеуказанного значения равным 0,25) несущественен.

Что касается объема стартового заказа, рассчитанного для двух возможных значений $a_{j\max}$, то его также можно отнести к группе «сильно влияющие» при условии, что $a_{j\max} \geq 3 \times a_{j\min}$ (что соответствовало бы столбцу с высотой, промежуточной между двумя правыми столбцами диаграмм рис. 7–8).

Такое разделение параметров на группы означает, что наибольшее влияние на суммарную прибыль оказывают те из них, которые способствуют максимально быстрому росту парка БАС и суммарной годовой выручки.

6. Стратегия управления производителя с целью максимизации его прибыли

В приведенных выше расчетах наибольший рост рассматриваемых отраслей происходит, если существует некий организационный механизм, при наличии которого показатели деятельности участников отрасли рассматриваются объединенно, а не обособленно для каждого участника. В практическом плане это могут быть варианты:

– государство выступает как надсистемный координатор развития отрасли, действующий во благо общего роста;

– производитель АТ берет на себя функции координатора и добровольно принимает на себя все издержки, связанные с развитием отрасли (в модели – это параметр «стоимость установления ответственности»).

По факту, конечно же, в условиях капиталистического общества производитель и эксплуатант действуют как самостоятельные субъекты, заинтересованные только в максимальном увеличении собственной прибыли. Как показывает мировая практика, отзыв продукции вследствие производственного бра-

ка может быть выгоден производителю [1, 6]. Отсюда возникает задача поиска производителем оптимальной стратегии управления: в каком случае ему выгодно действовать как координатору отрасли, а в каком – обособленно при справедливом распределении ответственности за отказы.

Суть искомой стратегии: если первоначально производитель действует как координатор, в каком году t^* ему следует изменить политику на самостоятельное развитие, чтобы его прибыль, суммарно накопленная за период моделирования, стала максимальной.

В рамках введенной модели развития отрасли были выполнены соответствующие расчеты (рис. 9–10) с учетом того, что, согласно анализу предыдущего раздела, в целях максимального роста отрасли объем стартового заказа был увеличен до 1000 БВС.

Закономерность изменения суммарно накопленной прибыли производителя (прибыли в понимании сокращения/роста убытков) может быть пояснена на примере рис. 9, $t^* = 8$ год: до года изменения стратегии $t < 9$ год кривая этой прибыли очевидным образом соответствует общему участку всех кривых, построенных для $t \geq 9$ год. В год изменения стратегии $t = t^*$ соответствует первому излому кривой (точка А): производитель, получив долю прибыли эксплуатанта как оплату за новую партию БАС, вследствие введения справедливой ответственности начинает работать «в прибыль», и последующий рост его прибыли становится «индивидуальным» (кривая более не совпадает с кривыми, соответствующими другим стратегиям). В следующий год $t = t^0 + 1$ происходит второй излом кривой (точка Б): эксплуатант, понеся дополнительные расходы, заказывает меньшее количество БАС, чем мог бы, если бы этих расходов не было (рис. 10).

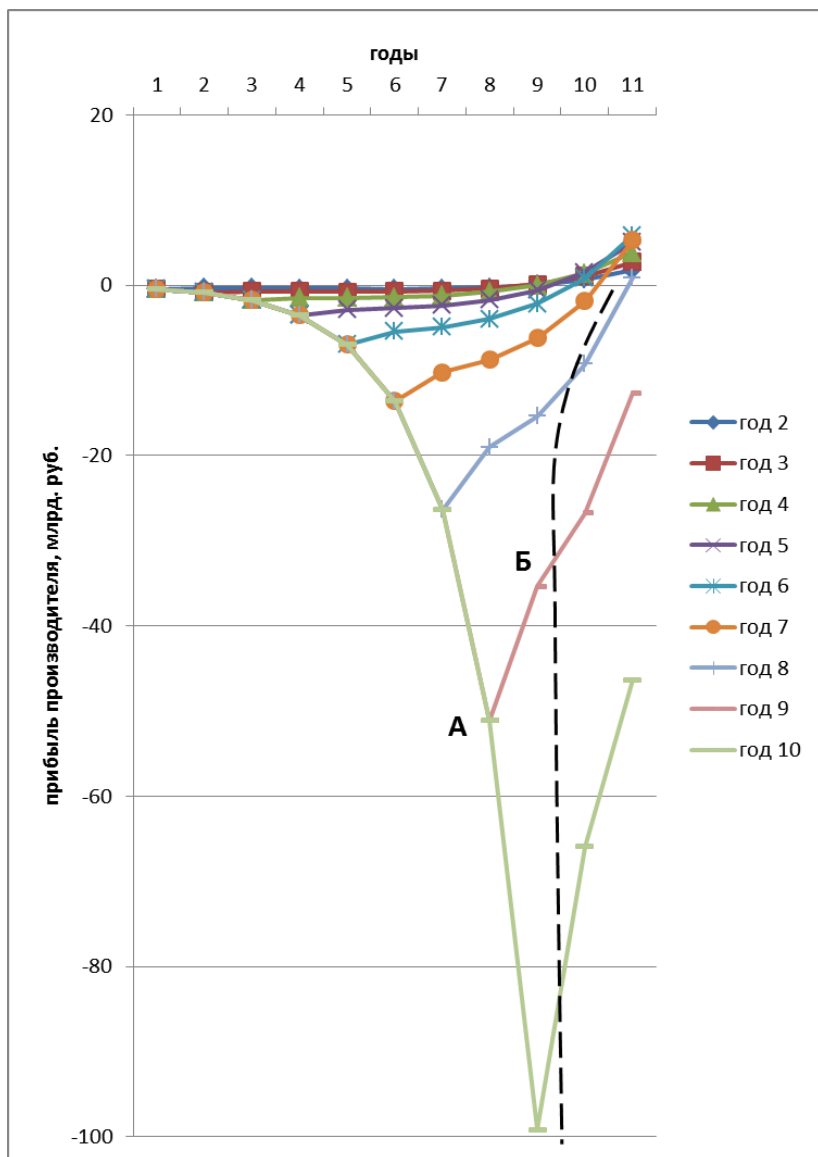


Рис. 9. Изменение суммарно накопленной прибыли производителя «мультироторов легких» для различных вариантов t^*

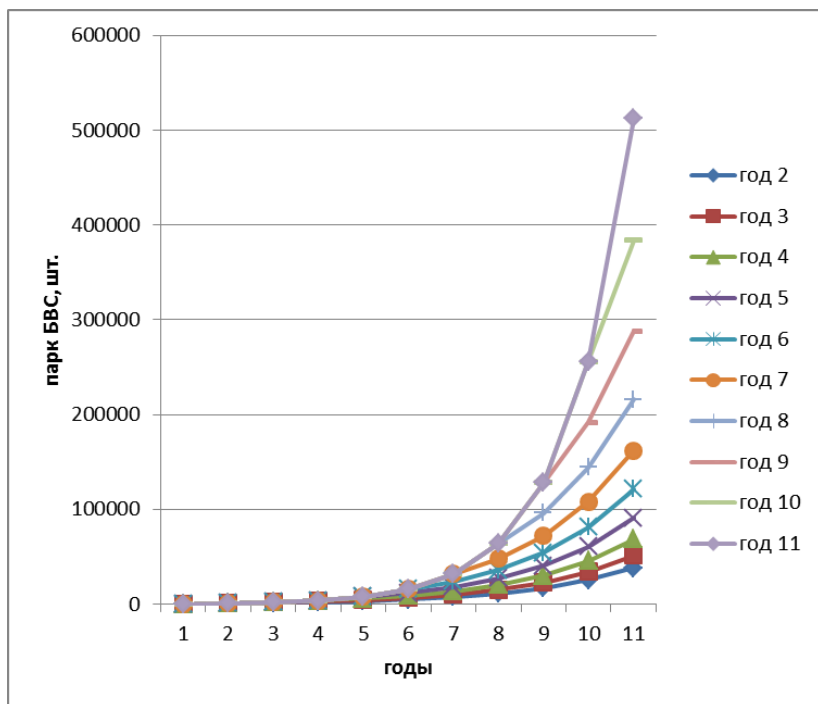


Рис. 10. Изменение парка «мультироторов легких» для различных вариантов t^*

При этом наблюдается следующая ситуация: чем позже производитель отказывается от априорного принятия ответственности, тем более интенсивен последующий рост его суммарной прибыли. И при гипотетическом моделировании неограниченного рыночного спроса на БАС (дальнейшее производство при $t > 10$ лет) наибольший рост прибыли был бы достигнут для кривой, соответствующей $t^* = 10$ год. В реальности при ограниченном спросе на БАС возможна ситуация, что, затягивая с изменением стратегии, производитель может не достигнуть максимально возможной суммарно накопленной прибыли. Например, если рынок БАС ограничен 200 тыс. экземпляров (условная пунктирная кривая рис. 9), то для $t^* = 9$ год и $t^* = 10$ год производитель не достигнет положительной прибыли

как таковой вообще (значения в области правее пунктирной кривой невозможны); максимальная же суммарно накопленная прибыль соответствует $t^* = 6$ год.

Моделирование развития отрасли с целью определения оптимальной стратегии производителя показало следующее. При долгосрочном производстве БАС ($t > 10$ лет, что, с учетом прогнозируемых масштабов рассматриваемой отрасли, соответствовало бы росту парка БВС до 1 млн штук и более) производителю выгодно изменить свою стратегию за 3 года до насыщения рынка БАС, т.е. до завершения массового производства БАС (рис. 11). Год изменения стратегии при этом должен соответствовать моменту, когда парк эксплуатируемых БВС составит ~10% от прогнозируемого спроса (рис. 12).

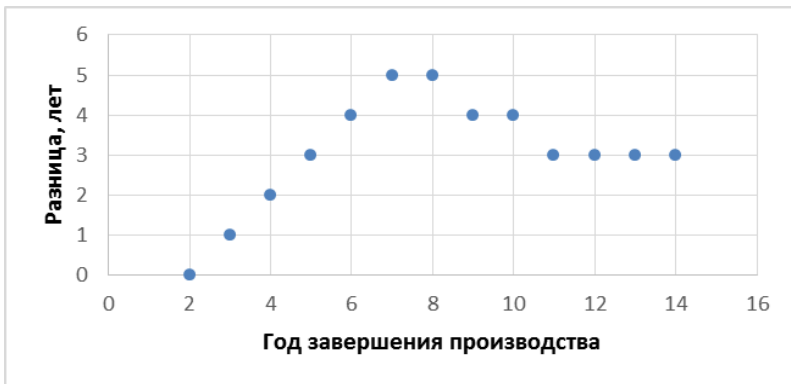


Рис. 11. Разница между годом завершения производства БАС и годом t^* изменения стратегии производителя в зависимости от года завершения производства БАС

Выявленный эффект по сути означает, что производителю выгодно максимально быстро преодолеть период обучения и устранить КПН, чтобы в дальнейшем произвести основную долю БАС (в рамках рассматриваемой отрасли – приходящуюся на последние 3 года) с высоким уровнем безотказности АТ и не нести при этом затраты, связанные с прочими отказами.



Рис. 12. Доля парка БАС, соответствующая году t^* изменения стратегии производителя, в зависимости от ограниченности рынка БАС

При этом, акцентируя внимание, следует отметить, что суммарно накопленная прибыль в отрасли существенно уменьшится, что дополнительно подчеркивает важность совместного координирования всех участников авиационной деятельности при внедрении новой АТ с возможным широким применением.

7. Выводы

На современном этапе развития авиации значительно выросли количество и уровень требований, предъявляемых к выполняемым авиацией работам и услугам. В первую очередь эти требования касаются общей стоимости эксплуатации изделий АТ и безопасности полетов. Указанные требования являются существенным препятствием при широкомасштабном внедрении новой АТ, особенно если это касается противоречия интересов нескольких участников отрасли.

Наиболее комплексный подход, позволяющий выработать в таких условиях необходимое управленческое решение, – это объединение в рамках одной оптимизационной задачи варьируемых параметров, относящиеся, в частности, к производителям АТ и ее эксплуатантам. Суть подхода означает централизован-

ное формирование единого оператора, управляющего развитием отрасли применения новой АТ. Альтернативой является традиционный сценарий развития, при котором участники отрасли применения авиации действуют как самостоятельные субъекты, преследующие исключительно собственные интересы.

Сравнение двух указанных сценариев развития отрасли показывает, что при формировании единого координатора отрасли и выработке соответствующей стратегии управления, при которой авиапроизводитель на начальном этапе внедрения новой АТ априорно принимает на себя ответственность за все ее отказы, суммарно накопленная прибыль в отрасли будет существенно больше, чем в отсутствие данной стратегии управления. Эффект достигается за счет того, что при априорном принятии ответственности из затрат отрасли исключаются «лишние» затраты, связанные с установлением ответственности за причину отказов. Это приводит к росту выручки и более быстрому накоплению опыта эксплуатации, что позволяет быстрее создавать и внедрять более безотказные изделия АТ. Основными факторами, способствующими ускорению накопления опыта, являются величина стартового заказа серийных изделий АТ (как наиболее значимый параметр), возможный налет/наработка изделий АТ в единицу и доля прибыли, выделяемой эксплуатантом на закупку новых изделий.

Возможными способами реализации подобной стратегии управления являются создание единого оператора отрасли (которым может быть, например, государство) или добровольное принятие на себя производителем соответствующих функций. В последнем случае производителем может быть поставлена задача максимизации собственной прибыли за счет выработки более гибкой стратегии: на начальном этапе эксплуатации новой АТ – брать всю ответственность на себя, на последующем этапе – только за отказы вследствие КРН. При этом, безусловно, суммарно накопленная прибыль в отрасли будет меньше, однако данная стратегия также позволит быстро преодолеть период «детских болезней» новой АТ, связанных с ее конструктивными недостатками, тем самым уменьшить количество отказов при переходе к широкомасштабной эксплуатации этой АТ.

Таким образом, априорное принятие производителем ответственности на себя позволяет вырабатывать более эффективные управленческие решения, направленные в том числе на ускорение роста перспективных рынков реализации как авиационных работ и услуг, так и продукции авиастроения. Централизованное формирование единого координатора развития отрасли становится целесообразным шагом при переходе именно к новым технологическим укладам как в авиации, так и в областях ее целевого применения.

Литература

1. АРЖАНОВА Я. *Массовый отзыв продукции: как обернуть ситуацию на пользу бренду* // Бизнес-журнал. – 2013. – №2. – С. 20-22.
2. ВАСИЛЬЕВ Ю.А. *Оборот некачественной продукции: причины и последствия*. – URL: <https://www.audit-it.ru/articles/account/court/a52/921772.html> (дата обращения: 12.12.2023).
3. ЕГЕР С.М., ЛИСЕЙЦЕВ Н.К., САМОЙЛОВИЧ О.С. *Основы автоматизированного проектирования самолетов*. – М.: Машиностроение, 1986. – 232 с.
4. ЕГЕР С.М., МИШИН В.Ф., ЛИСЕЙЦЕВ Н.К. *Проектирование самолетов. Издание третье, переработанное и дополненное* / Под. ред. С.М. Егера. – М.: Машиностроение, 1983. – 616 с.
5. КИЗИМ Н.А. *Организация крупномасштабных экономико-производственных систем: монография*. – Х.: Бизнес Информ, 2000. – 108 с.
6. КЛЕКОВКИН Н. *Цена ошибки. Как бизнесу сократить потери при отзыве продукции*. – URL: <https://www.forbes.ru/biznes/356177-cena-oshibki-kak-biznesu-sokratit-poteri-pri-otzyve-produkcii> (дата обращения: 15.12.2023).
7. КЛОЧКОВ В.В., ВАРЮХИНА Е.В. *Экономические аспекты определения ответственности производителей за отказы техники* // Вестник УГТУ-УПИ. Серия: экономика и управление. – 2010. – №2. – С. 141–151.

8. КЛОЧКОВ В.В., КРИТСКАЯ С.С. *Метод оценки стартовой скидки на новые типы гражданских воздушных судов* // Финансовая аналитика: проблемы и решения. – 2014. – №45(231). – С. 2–11.
9. Минтранс РФ установил ценовой предел для сертификации беспилотников до 30-70 млн руб. Сайт информационного агентства «Интерфакс». – URL: <https://www.interfax.ru/russia/898017/> (дата обращения: 12.12.2023).
10. МУХАМЕТЗЯНОВ К.М. *Инновационная товарная стратегия авиастроительного предприятия* // Наука, теория, практика авиационно-промышленного кластера современной России. Материалы V-й Международной научно-производственной конференции, приуроченной ко Дню Российской науки. Ульяновск, 2020. – Изд.: УГТУ (Ульяновск). – С. 219–223.
11. *О формировании параметров государственного гражданского заказа в части потребностей субъектов Российской Федерации в БАС и услугах. Презентация ГТЛК, февраль 2023.* – URL: <https://gtlk.ru/> (дата обращения: 15.12.2023)
12. ПЛАТОНОВА А.В. *Формирование инновационно-ориентированной интегрированной среды в авиастроении* // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: экономика и менеджмент. – 2021. – Т. 13, №3. – С. 132–138.
13. ПОПОВ Ю.В. *Количественные показатели безопасности полетов* // Проблемы безопасности полетов. – 2015. – №2. – С. 10–19.
14. РУХЛИНСКИЙ В.М., КУМИНОВА А.П. *Проблема безопасности полетов, связанная со снижением роли экипажа в пилотировании ВС, и переход к автоматизированным полетам* // Научный вестник ГосНИИ ГА. – 2018. – №22. – С. 91–101.
15. СТЕПАНОВ Е.А., ПЛЕТНЁВ Д.А. *Траектории экспортных стратегий предприятий российского транспортного машиностроения* // П-ECONOMY. – 2022. – Т. 15, №1. – С. 19–34.
16. ТИХОНОВ А.И. *Организационно-экономические механизмы выбора стратегии развития предприятия авиационной*

промышленности // Вестник академии знаний. – 2020. – №37(2). – С. 325–330.

17. BOUCHER P. *You wouldn't have your granny using them: Drawing boundaries between acceptable and unacceptable applications of civil drones* // Science and Engineering Ethics. – 2015. – No. 22(5). – P. 1391–1418.
18. CLOTHIER R.A., GREER D.A., GREER D.G. et al. *Risk Perception and the Public Acceptance of Drones* // Risk Analysis Journal. 2015. – URL: <https://doi.org/ezproxy.libproxy.db.erau.edu/10.1111/risa.12330> (дата обращения: 14.11.2023).

ORGANIZATIONAL MECHANIZM FOR THE INTRODUCTION OF AVIATION TECHNOLOGIES TO ENSURE AN ACCEPTABLE LEVEL OF FLIGHT SAFETY AND THE TOTAL COST OF OWNERSHIP OF NEW AIRCRAFT PRODUCTS

Vladislav Klochkov, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, National Research Center “Zhukovskiy Institute”, Zhukovskiy, Doctor of Science (klochkovvv@nrczh.ru).

Sergey Yegoshin, National Research Center “Zhukovskiy Institute”, Zhukovskiy, (sergey4791@yandex.ru).

Abstract: In modern conditions, the study of large-scale systems can significantly improve the efficiency of industry management. The approach considered makes it possible, using the example of the aviation industry, to develop a justification for an organizational mechanism that differs from traditional business models of aviation application by the ability to achieve maximum economic effect, taking into account compliance with modern requirements for aviation operations and services in terms of flight safety. The mechanism is based on the a priori acceptance by the aircraft manufacturer of responsibility for all failures that occur during the operation of a new aircraft technology at the initial stage of its lifetime. The research methodology is based on mathematical modeling and methods of system analysis. As an example, the industry of promising application of unmanned aircraft systems "last mile delivery" is considered. The proposed approach makes it possible to carry out more effective development planning and development of management decisions when introducing new aviation equipment with the potential for wide application, including in the formation of state programs of the Russian Federation, strategies for the development of industrial organizations in the aircraft industry.

Keywords: unmanned aircraft systems, unmanned aerial vehicles, design and production shortcomings, delivery of the "last mile", management of industry development.

УДК 338.47, 338.534

ББК 39.54

DOI: 10.25728/ubs.2024.111.8

*Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии Р.М. Нижегородцевым.*

Поступила в редакцию 10.04.2024.

Опубликована 30.09.2024.