

Научная статья

Срок поступления статьи 17.03.2022

УДК 614.841.44

DOI 10.24419/LNI.2304-3083.2022.4.05

Обоснование рационального облика интегрированной авиационной системы тушения лесных пожаров с применением авиатанкеров

Владислав Валерьевич Клочков¹*доктор экономических наук***Сергей Федорович Егошин²****Андрей Алексеевич Касаткин³**

Аннотация. Рассматриваются новые возможности применения авиации для охраны лесов от пожаров. Предложены варианты оптимизации обнаружения и тушения лесных пожаров, возникающих на заданном участке земель лесного фонда, в рамках методологии интегрированных авиационных систем, в качестве целевой функции которых выбраны суммарные потери/затраты государства. Целевая функция вводится с учетом разработанной упрощенной модели распространения и тушения лесного пожара. Проведено сравнение различных парков пожарных воздушных судов: существующих Ил-76, Бе-200, Ка-32, а также перспективных с гипотетическими характеристиками. Показано, что в рамках введенных моделей наиболее рациональным обликом интегрированной авиационной системы тушения лесных пожаров с применением авиационных пожарных танкеров является разделение земель лесного фонда на зоны ответственности отдельных подразделений, в состав которых входит авиапарк на основе беспилотных летательных аппаратов двух типов: малых патрульных и более крупных дежурных. Несмотря на то что проведенное моделирование носит качественный характер, применение подхода интегрированных авиационных систем для задач пожарной авиации позволяет сформировать обоснованные выводы о перспективных направлениях ее развития.

Ключевые слова: лесной пожар, средства обнаружения лесного пожара, средства тушения лесного пожара, интегрированная авиационная система

Для цитирования: Клочков В.В., Егошин С.Ф., Касаткин А.А. Обоснование рационального облика интегрированной авиационной системы тушения лесных пожаров с применением авиатанкеров. – Текст : электронный // Лесохозяйственная информация. 2022. № 4. С. 39–47. DOI 10.24419/LNI.2304-3083.2022.4.05

¹ Национальный исследовательский центр «Институт имени Н.Е. Жуковского», заместитель генерального директора (Жуковский, Московская обл., Российская Федерация), vlad_klochkov@mail.ru

² Национальный исследовательский центр «Институт имени Н.Е. Жуковского», главный специалист (Жуковский, Московская обл., Российская Федерация), sergey4791@yandex.ru

³ Национальный исследовательский центр «Институт имени Н.Е. Жуковского», младший научный сотрудник (Жуковский, Московская обл., Российская Федерация), andryh8@yandex.ru

Original article

DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2022.4.05

Justification of the Rational Appearance of the Forest Fire Extinguishing Integrated Aviation System Using Aviation Fire Tankers

Vladislav V. Klochkov¹

Doctor of Economics Sciences

Sergey F. Egoshin²

Andrey A. Kasatkin³

Abstract. *New possibilities of using aviation to protect forests from fires are being considered. Variants of optimization of detection and extinguishing of forest fires arising on a given plot of forest fund lands are proposed within the framework of the methodology of integrated aviation systems, the total losses/costs of the state are selected as the target function of which. The target function is introduced taking into account the developed simplified model of spreading and extinguishing a forest fire. The comparison of various fleets of fire-fighting aircraft is carried out: existing Il-76, Be-200, Ka-32, as well as promising aircraft with hypothetical characteristics. It is shown that within the framework of the introduced models, the most rational appearance of an integrated aviation system for extinguishing forest fires using aviation fire tankers is the division of forest lands into areas of responsibility of individual units, which include an air fleet based on two types of unmanned aerial vehicles: small patrol and larger duty firefighters. Despite the fact that the conducted modeling is of a qualitative nature, the application of the integrated aviation systems approach for fire aviation tasks allows us to form reasonable conclusions about the promising directions of its development.*

Key words: *forest fire, forest fire detection means, forest fire extinguishing means, integrated aviation system*

For citation: *Klochkov V., Egoshin S., Kasatkin A. Justification of the Rational Appearance of the Forest Fire Extinguishing Integrated Aviation System Using Aviation Fire Tankers. – Text : electronic // Forestry information. 2022. № 4. P. 39–47. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2022.4.05*

¹ National Research Center “Zhukovskiy Institute”, Chief of Department (Zhukovskiy, Moscow region, Russian Federation), vlad_klochkov@mail.ru

² National Research Center “Zhukovskiy Institute”, Chief Specialist (Zhukovskiy, Moscow region, Russian Federation) sergey4791@yandex.ru

³ National Research Center “Zhukovskiy Institute”, Junior Researcher (Zhukovskiy, Moscow region, Russian Federation), andryh8@yandex.ru

Введение

Авиация является важным элементом системы народного хозяйства, цели и возможности которой не ограничиваются решением только транспортных задач. В исследовании рассматривается применение авиации для охраны лесов от пожаров.

В лесном хозяйстве страны авиационную охрану лесов от пожаров осуществляет Авиалесоохрана – подведомственная организация Рослесхоза. В настоящее время в состав подразделений Авиалесоохраны, помимо лесопожарных станций, входит около 220 авиаотделений с общей численностью команд парашютистов и десантников-пожарных 3 500 чел. За каждым авиаотделением закреплены 1–2 воздушных судна (ВС): патрульный самолет и вертолет обслуживания команд (при общей потребности 400 ВС с годовым налетом 60–100 тыс. летных часов). Фактически авиаотделения контролируют менее 50 % земель лесного фонда, а годовой налет ВС не превышает 40–45 тыс. летных часов, в том числе с учетом привлечения коммерческой авиации.

Цель исследования – поиск рациональных принципов организации авиационной службы лесного хозяйства России с учетом современных технологических возможностей авиации.

Материалы и методика исследований

При поиске оптимальных решений задач народного хозяйства с помощью авиации (особенно при появлении новых технологий) весьма эффективным может стать анализ и синтез интегрированных авиационных систем (ИАС) [1]. ИАС включает в себя как парк воздушных судов и объекты авиационной инфраструктуры, так и неавиационные объекты той отрасли народного хозяйства, которая применяет авиацию. Данный подход более эффективен, чем оптимизация только авиационной системы при заданном объеме работ. Для достижения наилучших показателей целесообразно оптимизировать объем/качество авиационных работ в соответствии с задачами лесной отрасли.

Детальное обоснование требований к воздушным судам в лесопожарной авиации требует проведения модельных расчетов для разных видов территорий: это могут быть леса разных типов, районы со сложным горным рельефом, лесостепи и т.п. Их многообразие (как с точки зрения характеристик пожароопасности, процессов распространения пожаров и их тушения, так и с точки зрения ущерба, наносимого пожарами и частично предотвращаемого благодаря их своевременному тушению) может диктовать разные требования к характеристикам ВС пожарной авиации. Однако в рамках упрощенных моделей ИАС можно осуществить предварительный анализ в общем виде, что позволит определить желательные направления технологического развития лесопожарных ВС. Такой анализ соответствует методологии так называемого «мягкого», или качественного, математического моделирования, доказавшего свою эффективность в разных областях науки и практической деятельности [2].

Результаты и обсуждение

Формирование рационального облика лесопожарной ИАС состоит из следующих этапов:

- ✓ определение структуры ИАС как системы, состоящей из авиационных и неавиационных элементов (объектов);
- ✓ определение целевой функции системы;
- ✓ построение моделей возникновения и развития лесных пожаров, а также выполнения воздушными судами возлагаемых на них задач (обнаружение пожара, тушение пожара);
- ✓ введение возможных ограничений;
- ✓ минимизация целевой функции и определение параметров оптимальной ИАС с учетом установленных ограничений.

ИАС лесопожарной охраны моделируется следующим образом. С целью упрощения земли лесного фонда можно условно разделить на участки равной величины, имеющие определенный радиус R . Для охраны участка от лесных

пожаров задействуют беспилотные авиационные системы (БАС): размещают площадки в количестве $N_{\text{БВС}}$, предназначенные для базирования патрульных беспилотных ВС (БВС) небольшой размерности (по одному на каждую площадку), с одинаковыми по площади зонами ответственности радиусами (r). Время облета одним БВС своей зоны ответственности задается через скорость БВС ($V_{\text{БВС}}$) и дальность обнаружения лесного пожара ($L_{\text{обндр}}$). При этом принимается, что максимальная дальность полета БВС достаточна для облёта всей зоны ответственности. Вопросы кратности и режимов патрулирования, а соответственно, и вероятности обнаружения лесных пожаров с целью упрощения не затрагиваются.

После обнаружения пожара, в зависимости от его интенсивности, необходимо задействовать:

- ✓ при небольшом пожаре – наземные противопожарные силы, в том числе при поддержке транспортных ВС;
- ✓ при крупном пожаре – специализированный летный отряд пожарных авиатанкеров в дополнение к наземным силам.

Летный отряд авиатанкеров в количестве $N_{\text{ВС}}$ формируется на основе типового парка ВС, базирующихся на аэродроме в некоем условном центре земель лесного фонда и участвует в тушении всех крупных лесных пожаров в стране.

В качестве целевой функции задачи тушения лесных пожаров, возникающих на всех рассматриваемых участках радиусом R земель лесного фонда, выбирают суммарные временные затраты/потери (C_{Σ}) для соответствующих элементов перспективной ИАС, предназначенной для тушения лесных пожаров в России:

При организации службы охраны лесов от пожаров существенная роль отводится беспилотной авиации, которая в настоящее время развивается очень активно. Принципиальных технологических препятствий для применения БАС в качестве средств патрулирования лесов не существует, что отмечается ведущими специалистами [3] и уже частично реализуется на практике [4]. А ключевой особенностью методологии ИАС является включение в состав целевой функции (помимо затрат) потерь от стоимости сгоревшего леса ($S_{\text{ПОЖ}} \times C_{\text{ПОЖ}}^s$).

В этой простейшей модели ИАС не рассматривается отдельно задействование наземных сил пожаротушения и обслуживающих транспортных средств. Безусловно, обеспечить полное тушение лесного пожара без привлечения наземных сил невозможно [5], а для их работы в отдаленных регионах России неизбежно применение авиации (транспортировка людей и грузов). Моделируемую ИАС в данном случае следует рассматривать как более узкоспециализированную ИАС тушения лесных пожаров с применением авиационных пожарных танкеров. Тем не менее вводимое упрощение позволяет ограничить рассматриваемую задачу не в ущерб достоверности результатов в части моделирования первоочередных задач, решаемых авиацией при охране лесов, а именно: обнаружение, снижение интенсивности горения и/или приостановка распространения кромки горения [6]. Считается, что парк техники пожарно-химических станций хотя и сокращается, но незначительно, в силу неизбежной необходимости участия наземных сил в тушении пожаров, причем численность персонала станций и обслуживающих ВС (вертолетов)

$$C_{\Sigma} = N_{\text{БВС}} (C_{\text{ПЛ}} + C_{\text{БВС}}^{\text{л.ч.}} T_{\text{БВС}}) + N_{\text{ПОЖ}} (C_{\text{ТУШ}} + S_{\text{ПОЖ}} C_{\text{ПОЖ}}^s) + \Delta C_{\text{ВС}}, \quad (1)$$

где:

$C_{\text{ПЛ}}$ – стоимость содержания площадки базирования патрульных БВС;

$C_{\text{БВС}}^{\text{л.ч.}}$ – стоимость летного часа БВС;

$T_{\text{БВС}}$ – суммарный налёт одного БВС;

$N_{\text{ПОЖ}}$ – количество крупных пожаров на участке земель лесного фонда;

$S_{\text{ПОЖ}}$ – площадь леса, сгоревшего за один крупный пожар;

$C_{\text{ТУШ}}$ – затраты на тушение одного крупного пожара силами авиатанкеров;

$C_{\text{ПОЖ}}^s$ – удельные потери (за 1 км²) стоимости сгоревшего леса;

$\Delta C_{\text{ВС}}$ – постоянные затраты на содержание парка авиатанкеров, не связанные с тушением пожаров.

задается как нормативное количество на единицу площади леса, а значит, будет константой при заданном размере участка леса.

Несмотря на сложность адекватного учета данного фактора при моделировании ИАС, воздействие наземных сил и обслуживающих ВС косвенно учтено при разработке модели распространения и тушения огня. Поскольку наиболее эффективными методами борьбы с лесными пожарами считаются встречный отжиг и устройство заградительных полос [6], тушение пожара моделируется как тушение линейного фронта распространяющегося огня. Тогда наиболее простая геометрическая модель данных процессов может быть представлена следующим образом (без учета ветра и неоднородности леса) (рис. 1).

До момента обнаружения и начала тушения фронт пожара успевает распространиться по окружности радиусом R_0 при скорости распространения $V_{\text{пож}}$. После этого за один этап (один условно одновременный сброс воды силами всего прибывшего летного отряда) авиатанкеры успевают потушить участок фронта с длиной дуги L_0 и улетают для дозаправки. Предполагается, что далее, с учетом прибытия наземных сил, фронт увеличивается не как окружность, а как ее дуга радиусом R_1 , после чего на следующем этапе авиатанкеры тушат участок фронта L_1 , затем фронт увеличивается до дуги окружности радиусом R_2 , и т.д.

Таким образом, необходимое количество (n) этапов тушения пожара будет определяться соотношением параметров L_0 , R_0 и ΔR . Для обеспечения полного тушения пожара необходимо, чтобы сумма угловых мер дуг L_0, \dots, L_n , соответствующих потушенным участкам фронта огня, была не меньше чем 2π радиан. Угловая мера дуги потушенного за один i -й этап участка фронта составляет:

$$\Delta\varphi_i = \frac{L_i}{R_i} = \frac{L_0}{R_0 + i\Delta R}. \quad (2)$$

Тогда для тушения пожара за n этапов необходимо выполнение неравенства:

$$2\pi \leq \sum_{i=0}^n \Delta\varphi_i = \sum_{i=0}^n \frac{L_0}{R_0 + i\Delta R}. \quad (3)$$

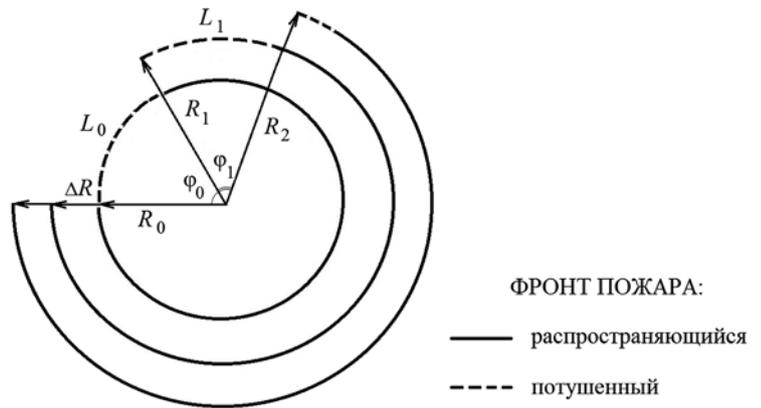


Рис. 1. Геометрическая модель распространения и тушения лесного пожара

Числовой ряд в (3) является частичной суммой бесконечного ряда, суммируемого по переменной i , который, в свою очередь, расходится по интегральному признаку Коши-Маклорена. Следовательно, при любых значениях параметров количество этапов n тушения пожара будет конечным. В целях упрощения дальнейших расчетов будем полагать, что пожар с учетом привлечения наземных сил может быть потушен в 3 этапа (рис. 2).

Сравнение предложенной модели с другими, например [7], показывает, что при таком моделировании затраты ресурсов оказываются

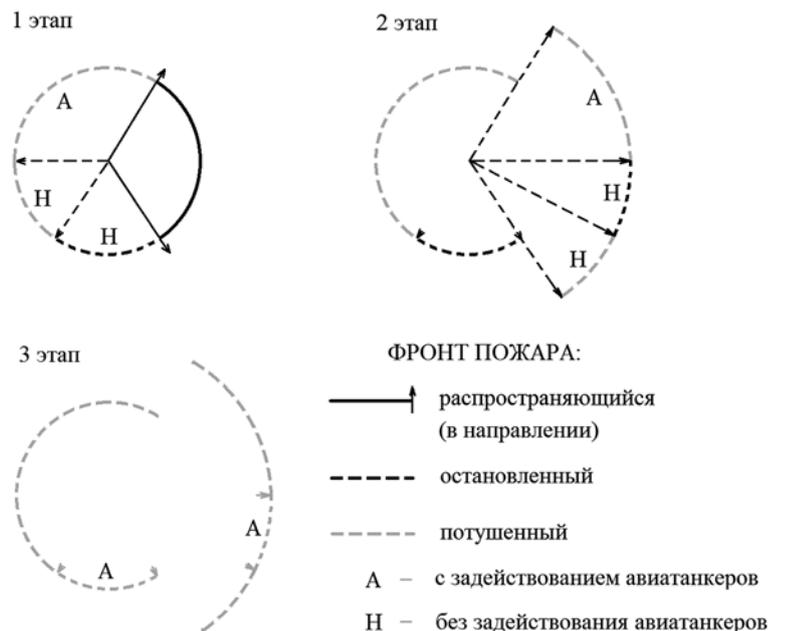


Рис. 2. Схематическая поэтапная модель распространения и тушения лесного пожара

приблизительно на порядок меньше. Это обусловлено подходом к моделированию тушения фронта пожара как линии дуги в отличие от тушения всей площади фронта пожара, а также сравнительно небольшим временем обнаружения и реагирования.

В формуле (1) площадь всего сгоревшего леса, при условии равной вероятности возникновения пожара в любом месте лесного участка, определяется как сумма площадей секторов круга (см. рис. 2), соответствующих первому и второму/третьему этапам тушения:

$$S_{\text{ПОЖ}} = 0,5\pi \left(\left(T_{\text{прилет}} + \frac{R}{\sqrt{2}V_{\text{ВС}}} \right)^2 + \left(T_{\text{прилет}} + \frac{3kR}{\sqrt{2}V_{\text{ВС}}} \right)^2 \right) V_{\text{ПОЖ}}^2, \quad (4)$$

где:

$V_{\text{ВС}}$ – крейсерская скорость авиатанкера;

k – коэффициент, учитывающий необходимость/возможность заправки авиатанкера не на аэродроме;

$T_{\text{прилет}}$ – среднее время прибытия летного отряда в район крупного пожара, зависящее от времени реагирования летного отряда на вызов Δt и средней дальности перелета отряда в район пожара $L_{\text{перелет}}$:

$$T_{\text{прилет}} = \Delta t + \frac{L_{\text{перелет}}}{V_{\text{ВС}}}. \quad (5)$$

Затраты на тушение одного пожара складываются из стоимости перелета летного отряда «туда – обратно» в район пожара и стоимости суммарного налёта отряда при потребном количестве вылетов на тушение $N_{\text{вылет}}$ (при стоимости летного часа ВС $C_{\text{ВС}}^{\text{л.ч.}}$):

$$C_{\text{ТУШ}} = 2N_{\text{ВС}} C_{\text{ВС}}^{\text{л.ч.}} \frac{L_{\text{перелет}}}{V_{\text{ВС}}} + N_{\text{вылет}} C_{\text{ВС}}^{\text{л.ч.}} \frac{\sqrt{2}kR}{V_{\text{ВС}}}, \quad (6)$$

а количество вылетов $N_{\text{вылет}}$ составит:

$$N_{\text{вылет}} = \frac{\pi \left(T_{\text{прилет}} + \frac{3kR}{\sqrt{2}V_{\text{ВС}}} \right) V_{\text{ПОЖ}}}{L_{\text{туши}}}, \quad (7)$$

где $L_{\text{туши}}$ – протяженность участка (фронта пожара), который может быть потушен за один сброс огнесредства одним ВС.

Введение в (1) слагаемого $\Delta C_{\text{ВС}}$ связано с необходимостью учета амортизации в стоимости эксплуатации парка авиатанкеров (стоимостью $C_{\text{ВС}}$), если суммарный годовой налёт одного ВС ($T_{\text{ВС}}$) оказывается меньше, чем количество летных часов, необходимое для полной выработки его ресурса $\tau_{\text{РЕС}}^{\text{л.ч.}}$ (летных часов) при сроке службы $\tau_{\text{РЕС}}^{\text{год}}$ (лет):

$$\Delta C_{\text{ВС}} = \begin{cases} N_{\text{ВС}} \frac{C_{\text{ВС}}}{\tau_{\text{РЕС}}^{\text{л.ч.}}} \left(\frac{\tau_{\text{РЕС}}^{\text{л.ч.}}}{\tau_{\text{РЕС}}^{\text{год}}} - T_{\text{ВС}} \right), & \frac{\tau_{\text{РЕС}}^{\text{л.ч.}}}{\tau_{\text{РЕС}}^{\text{год}}} - T_{\text{ВС}} \geq 0 \\ 0, & \frac{\tau_{\text{РЕС}}^{\text{л.ч.}}}{\tau_{\text{РЕС}}^{\text{год}}} - T_{\text{ВС}} < 0 \end{cases} \quad (8)$$

Модельные расчеты были проведены при следующих значениях параметров, общих для всех типов рассматриваемых авиатанкеров: $V_{\text{БВС}} = 90$ км/ч; $L_{\text{обнар}} = 20$ км; $C_{\text{БВС}}^{\text{л.ч.}} = 500$ руб./ч; $C_{\text{ПЛ}} = 100$ тыс. руб./мес. (при 5-месячном сезоне дежурств); $V_{\text{ПОЖ}} = 1,8$ км/ч (при скорости распространения пожара средней интенсивности ~ 30 м/мин); $\bar{N}_{\text{пож}} = 0,0002$ (или около 1 000 крупных пожаров в год на площади земель лесного фонда 12 млн км²); $C_{\text{пож}}^{\text{с}} = 1$ млн руб./км² леса (при потере 30 ÷ 100 тыс. км² убытки составляют 25 ÷ 100 млрд руб.).

Характеристики рассматриваемых ВС представлены в табл. 1.

В силу существенных различий в применении рассматриваемых ВС, сравнительный анализ результатов расчетов проводился в несколько этапов.

На первом этапе рассматривался участок земель лесного фонда радиусом $R = 400$ км, что примерно соответствует характерному размеру региона Российской Федерации ~ 500 тыс. км². При общей площади земель лесного фонда ~ 12 млн км² это соответствует $L_{\text{перелет}} = 1 400$ км, если лётный отряд базируется на одном аэродроме. Такая дальность беспосадочного перелета для вертолетов невозможна, что требует введения дополнительных допущений касательно применения вертолетной техники. В силу этого, без учета затрат вследствие увеличения пунктов базирования ВС, условно считалось, что лётный отряд на основе авиатанкеров-самолетов базируется на 4 ÷ 5 аэродромах федерального уровня

ТАБЛИЦА 1. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВИАТАНКЕРОВ

ПАРАМЕТР	Ед. изм.	ВС				
		Ил-76П	БЕ-200ЧС	КА-32	R66*	БЛА66**
V_{BC}	км/ч	750	610	230	204	204
$L_{туш}$	км	0,6	0,2	≅0,1	≅0,015	≅0,0175
C_{BC}	млрд руб.	5	2,8	0,75	0,066	0,066
$C_{BC}^{л.ч.}$	тыс. руб./летный час	500	300	200	98	83
$\tau_{PEC}^{л.ч.}$	тыс. летных часов	35	30	32	100****	100****
$\tau_{PEC}^{год}$	год	40	30	45	50****	50****
Δt	час	1	1	0,15	0,15	0
k^{***}		1	0,5	0,5	0,5	0,5

* Гипотетический пожарный вертолет на базе вертолета Robinson R66.

** Гипотетическое пожарное БВС на базе вертолета Robinson R66.

*** Для гидросамолетов и ВС вертикального взлета/посадки предполагается условная возможность водозабора в водоемах на полпути к аэродрому.

**** Вводятся для простоты (так как вертолет R66 эксплуатируется по состоянию, без ограничения назначенных ресурсов и срока службы)

($L_{перер} = 600 \div 700$ км), а отряд авиатанкеров-вертолетов – всегда в центре рассматриваемого лесного участка с радиусом R . Также вводится предположение, что небольшая дальность полета вертолетов (до 600 км) не мешает обслуживанию участка леса радиусом 400 км, так как в районе тушения пожара возможна организация дозаправки вертолета и топливом, и водой, в том числе благодаря применению транспортных ВС.

При данных условиях моделирования затраты ИАС (включая потери от сгоревшего леса) на основе различных авиатанкеров составляют $\sim 500 \div 800$ млрд руб., однако указанные абсолютные значения не должны восприниматься буквально, так как они служат всего лишь индикаторами улучшений в моделируемой системе. Наибольшее снижение затрат достигается для ИАС с применением авиатанкеров-вертолетов – на $10 \div 25$ % по сравнению с ИАС на основе авиатанкеров-самолетов. При сокращении количества аэродромов базирования самолетов до 5 шт. затраты в ИАС снижаются незначительно, а если их менее 4 шт. – резко возрастают. Примечательно, что во всех рассмотренных случаях количество патрульных БВС составило $\sim 150 \div 160$ на один участок земель лесного фонда (т.е. одно БВС с одной площадки обслуживает $\sim 3\,500$ км² площади патрулируемой территории леса).

При кратном увеличении стоимости сгоревшего леса суммарные затраты ИАС растут, однако этот рост сопровождается увеличением потребного парка патрульных БВС, в то время как парк авиатанкерных ВС незначительно уменьшается. Указанные результаты можно трактовать как первостепенную значимость своевременного обнаружения пожара по отношению к его последующему тушению. Приведенный вывод совпадает с мнением экспертов в области тушения лесных пожаров. Необходимость интенсификации усилий по борьбе именно с первопричинами лесных пожаров вошла в повестку деятельности Правительства РФ на 2021 г. [8].

В процессе оптимизации организации лесопожарной службы был сделан вывод о целесообразности варьирования размера R участка земель лесного фонда при условии, что на втором этапе ИАС формируется только на основе авиатанкеров-вертолетов. При этом вводилось дополнительное ограничение: количество ВС лётного отряда, базирующегося в центре обслуживаемого участка, не может быть меньше одного. Результаты моделирования представлены в табл. 2.

При рациональном построении ИАС с применением дежурных беспилотных авиатанкеров вертолетного типа возможно снижение затрат/потерь до 40 % по сравнению со случаем, когда для тушения лесных пожаров применяется отряд

Таблица 2. Моделирование ИАС на основе авиатанкеров-вертолетов

ВЕРТОЛЕТ	Затраты, %*	Радиус участка (R), км	Кол-во участков, шт.
Ка-32	72	270	55
R66	69	130	250
БПЛА66	59	140	220

* Рассчитано как отношение к потерям/затратам в ИАС на основе парка Ил-76, базирующихся на пяти аэродромах, при R = 400 км

оперативного реагирования на основе парка пилотируемых самолетов типа Бе-200 или Ил-76. Во всех случаях количество авиатанкеров оптимального парка определяют исходя из принципа «1 аэродром – 1 вертолет», т.е. искомое решение находится на границе допустимых значений параметров.

Фактически вытекающие из проведенного математического моделирования требования к характеристикам ВС для тушения лесных пожаров состоят в том, что это должны быть вертикально взлетающие (для обеспечения рассредоточенного базирования на территории земель лесного фонда) ВС относительно малой грузоподъемности. Они должны быть, по возможности, беспилотными – для обеспечения автоматического применения с малым (порядка нескольких минут) временем реагирования при круглосуточном дежурстве. Впрочем, предложенное решение может быть не единственным путем снижения затрат: в рамках работы рассматривались только некоторые БВС, хотя приведенная методология ИАС позволяет давать оценку эффективности применения БАС любой размерности.

Выводы

Обоснованная выше рациональная модель организации лесопожарной охраны (путем рассредоточенного дежурства многочисленных ВС

малой вместимости, но быстро реагирующих на возникновение пожара и подавляющих его на ранних стадиях) и эксплуатации пожарных авиатанкеров диктует следующую рациональную структуру стоимости их жизненного цикла. Поскольку применение авиатанкеров предполагается относительно редким, а подавляющую часть времени они проводят в режиме дежурства, для них вполне допустима высокая стоимость летного часа. При этом стоимость владения, наоборот, должна быть, по возможности, низкой.

На практике это означает, например, целесообразность переоборудования в беспилотный вариант тех ВС, которые выведены из эксплуатации для иных применений, в том числе пассажирских пилотируемых вертолетов легких классов. Это повышает актуальность разработки технологий автоматического, в том числе интеллектуального управления движением ВС, выполнением миссий. Причем технологии и оборудование должны допускать наличие в составе парка ранее выпущенных пилотируемых ВС при их модернизации.

Что касается патрульных ВС, то одним из возможных средств для снижения затрат является применение большого количества достаточно экономичных по стоимости приобретения и эксплуатации патрульных БВС для своевременного обнаружения пожара.

Список источников

1. Клочков, В.В. Интегрированные авиационные системы / В.В. Клочков, Н.Б. Топоров, С.Ф. Егосин // Управление большими системами : сб. тр. – 2021. – № 90. – С. 94–120.
2. Арнольд, В.И. «Жесткие» и «мягкие» математические модели / В.И. Арнольд. – Москва : МЦНМО, 2000. – 32 с.
3. Оценка состояния средств тушения лесных пожаров и экономической эффективности их применения / Н.А. Коршунов, А.А. Мартынюк, В.А. Савченкова, М.С. Калинин // Лесохозяйственная информация: электронный сетевой журнал [Электронный ресурс]. – 2019. – № 1. – С. 77–88. – Режим доступа: URL: <http://lhi.vniilm.ru/> (дата обращения – 01.12.2021)
4. Четырнадцать квадрокоптеров будут защищать леса Камчатки от пожаров. Портал «Aviation Explorer» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.aex.ru/news/2020/10/28/218457/> (дата обращения – 02.12.2021)
5. Брюханов, А.В. «Лесопожарный ликбез»: 12 ошибочных мнений о природных пожарах / А.В. Брюханов // Устойчивое лесопользование. – 2011. – № 3 (28). – С. 11–21.
6. Коршунов, Н.А. Авиационное тушение лесных пожаров: эффективность репортажей и эффективность технологий / Н.А. Коршунов // Авиапанорама. – 2011. – № 4. – С. 10–13.
7. Доррер, Г.А. Оценка и прогнозирование динамики крупных лесных пожаров / Г.А. Доррер, В.С. Коморовский, С.П. Якимов // Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://ipb.mos.ru/ttb>. – Апрель 2011. – Вып. 2 (36). – С. 1–16.
8. Портал «РБК» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.rbc.ru/business/01/12/2021/619e64229a7947342d9bbb1b> (дата обращения – 01.12.2021)

References

1. Klochkov, V.V. Integririvannyye aviacionnyye sistemy / V.V. Klochkov, N.B. Toporov, S.F. Egoshin // Upravlenie bol'shimi sistemami : sb. tr. – 2021. – № 90. – S. 94–120.
2. Arnol'd, V.I. «Zhestkie» i «myagkie» matematicheskie modeli / V.I. Arnol'd. – Moskva : MCNMO, 2000. – 32 s.
3. Ocenka sostoyaniya sredstv tusheniya lesnyh pozharov i ekonomicheskoy effektivnosti ih primeneniya / N.A. Korshunov, A.A. Martynyuk, V.A. Savchenkova, M.S. Kalinin // Lesohozyajstvennaya informaciya: elektronnyj setevoy zhurnal [Elektronnyj resurs]. – 2019. – № 1. – S. 77–88. – Rezhim dostupa: URL: <http://lhi.vniilm.ru/> (data obrashcheniya – 01.12.2021)
4. Chetyrnadcat' kvadrokopteroi budut zashchishchat' lesa Kamchatki ot pozharov. Portal «Aviation Explorer» [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: URL: <https://www.aex.ru/news/2020/10/28/218457/> (data obrashcheniya – 02.12.2021)
5. Bryuhanov, A.V. «Lesopozharnyj likbez»: 12 oshibochnyh mnenij o prirodnyh pozharah / A.V. Bryuhanov // Ustojchivoe lesopol'zovanie. – 2011. – № 3 (28). – S. 11–21.
6. Korshunov, N.A. Aviacionnoe tushenie lesnyh pozharov: effektivnost' reportazhej i effektivnost' tekhnologij / N.A. Korshunov // Aviapanorama. – 2011. – № 4. – S. 10–13.
7. Dorrer, G.A. Ocenka i prognozirovanie dinamiki krupnyh lesnyh pozharov / G.A. Dorrer, V.S. Komorovskij, S.P. Yakimov // Internet-zhurnal «Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti» [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: URL: <http://ipb.mos.ru/ttb>. – Aprel' 2011. – Vyp. 2 (36). – S. 1–16.
8. Portal «RBK» [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: URL: <https://www.rbc.ru/business/01/12/2021/619e64229a7947342d9bbb1b> (data obrashcheniya – 01.12.2021)