

УДК 629. 73. 018. 7
DOI: 10.26467/2079-0619-2019-22-5-94-106

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВЕРОЯТНОСТИ СВОЕВРЕМЕННОГО ВЫЛЕТА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

С.В. НИКОЛАЕВ¹

¹Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), филиал «Взлет», г. Ахтубинск, Россия

В статье предложена методика определения вероятности своевременного вылета летательного аппарата, в основе которой лежит метод математического моделирования. В качестве показателя предлагается использовать вероятность своевременного вылета, расчет которого отличается от известных методик учетом функционирования системы технической эксплуатации и ремонта летательного аппарата. Методика использует современные информационные технологии, принятый подход дополняет программная реализация математической модели. Методика расчета вероятности своевременного вылета летательного аппарата основана на модели функционирования системы технической эксплуатации и ремонта с использованием математического аппарата теории массового обслуживания. Методика позволяет достигать практических целей летных испытаний при выполнении оценки эксплуатационной технологичности летательных аппаратов и дополняет существующее методическое обеспечение испытаний. За счет разработанной программы для ЭВМ обеспечивается расчет искомых показателей для различных значений и сочетаний, влияющих на результат факторов. Выполнено моделирование и представлены результаты исследований влияния на вероятность своевременного вылета основных факторов. В результате работы установлены основные закономерности при решении задачи своевременного вылета летательного аппарата, в том числе на перехват воздушного объекта.

Ключевые слова: летные испытания, вероятность вылета, своевременный вылет, летательные аппараты.

ВВЕДЕНИЕ

Для оценки возможности выполнения летательным аппаратом (ЛА) широкого спектра целевых задач используется такой показатель, как вероятность своевременного вылета для решения целевой задачи [1]. При определении данного показателя в [1] сделан ряд некоторых допущений, в частности не учитывается функционирование системы технического ремонта и эксплуатации.

В то же время для полной оценки качеств ЛА в летных испытаниях необходимо получить показатель готовности ЛА к применению и решению задач по своему назначению. Для решения этой задачи требуется учитывать возможности, заложенные в конструкцию ЛА и обеспечиваемые системой технической эксплуатации и ремонта, оцениваемые по приспособленности к быстрому приведению в полную готовность и к непродолжительному и нетрудоемкому поддержанию исправного состояния ЛА, а в случае нарушения этого состояния – к быстрому его восстановлению.

В качестве показателя при этом целесообразно использовать вероятность своевременного вылета $P_{св}$. Для получения указанного показателя наиболее рационально применять метод математического моделирования, который хорошо показал себя в практике летных испытаний при оценке эффективностных показателей функционирования ЛА [2].

В работе для определения вероятности своевременного вылета предлагается принять модель, которая основана на модели функционирования системы технической эксплуатации и ремонта ЛА с использованием математического аппарата теории массового обслуживания [3–8]. На языке программирования C# [9–10] реализована программа для ЭВМ, выполняющая расчет искомого показателя по заданным исходным данным, полученным при эксплуатации, ремонте и испытании ЛА. Наличие такой программы позволяет не только выполнять расчет показателя

$R_{св}$, но и проводить исследования влияния на искомый показатель различных факторов, в том числе при их сочетании.

Предложенная методика и модель расчета нового показателя является актуальной задачей в практике летных испытаний ЛА, направленной на разработку нового, современного алгоритмического, программного и методического обеспечения процесса испытаний.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Чтобы решить поставленную задачу по моделированию вероятности своевременного вылета ЛА, потребовалась разработка новой методики, включающей математическую модель расчета искомого показателя и программу для ЭВМ, обладающую современным графическим интерфейсом.

Разработанная математическая модель имеет следующие особенности:

- ориентирована на единичный ЛА, функционирующий в составе самостоятельной типовой организационной единицы;
- отражает основные эксплуатационно-технические свойства ЛА, т. е. все внутренние и особенно внешние факторы, носящие изначально неопределенный характер (в первую очередь организационного и управленческого характера), позволяя сохранить адекватность.

Под вероятностью своевременного вылета будем понимать вероятность того, что продолжительность перехода ЛА из состояния «Применение» в состояние «Ожидание применения» не превысит некоторую величину, определяемую из допущений:

- каждые сутки применение ЛА происходит в границах временного интервала, так называемого «летного дня», ограниченного стартовым временем летного экипажа при проведении полетов в одну смену;
- каждые сутки работы по технической эксплуатации (ТЭ) и ремонту ЛА проводятся в границах временного интервала, называемого «рабочим днем», ограниченного временем, необходимым на отдых персонала при проведении работ в одну смену;
- в течение рабочего дня на ЛА выполняются только подготовки к повторному полету и работы по восстановлению исправного состояния (ремонт) в случае получения повреждений.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ИСПОЛЬЗУЕМОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И АЛГОРИТМ РАСЧЕТА

Математическая модель, используемая в данной методике, базируется на известных подходах к моделированию вероятностных характеристик ЛА [1, 5, 11–12] и имеет следующие основные допущения.

Применительно к первому вылету полагается, что подготовка прошла накануне. Если в результате применения ЛА отошел в потери (т. е. в капитальный, средний ремонт и в безвозвратные потери), то в дальнейших полетах он не участвует. Если ЛА не отошел в потери, то после полета он приводится в готовое к применению состояние. То есть если ЛА не получил повреждений, то на нем силами расчета выполняется подготовка к повторному вылету, если оказался поврежденным, то силами ремонтного расчета на ЛА выполняются работы по восстановлению исправного состояния. После окончания ремонтных работ ЛА направляется на выполнение подготовки к повторному вылету. Продолжительность выполнения этих работ является случайной величиной и ограничена продолжительностью рабочего дня. Если к моменту окончания рабочего дня работы по приведению ЛА в готовое состояние не завершены, то они продолжаются на следующие сутки. Продолжительность выполнения полетов ограничена продолжительностью летного дня. Если ЛА приведен в готовое к применению состояние и располагаемое время до окончания летного дня позволяет выполнить полет, тогда ЛА вновь

применяется по назначению. Если требуемое летное напряжение, определяемое заданным количеством вылетов одного ЛА в летную смену, выдержано, то ЛА в течение летного дня больше не применяется.

Данная схема, как процесс функционирования ЛА, в целях упрощения представляется непрерывной последовательной установившейся во времени сменой состояний: применения, работ по ТЭ и ремонту в объеме подготовки к повторному полету и работ по восстановлению исправности – при наличии внешнего источника, компенсирующего отход ЛА в безвозвратные потери.

При расчете вероятностных показателей необходимо учитывать, что в произвольный момент времени могут потребоваться работы как одиночный ЛА, так и группа, размеры которой могут превысить количество расчетов штатной системы ТЭ и ремонта. Кроме того, после обеспечения первого вылета система ТЭ и ремонта вынуждена перераспределить силы и средства для одновременного выполнения подготовки к применению и восстановления исправности ЛА, и тогда ЛА будут некоторое время простаивать в ожидании выполнения работ. В этих условиях для решения задачи применяется математический аппарат теории массового обслуживания.

Формализация процесса выполнения работ по ТЭ и ремонту ЛА представляется в виде одновременного функционирования двух взаимосвязанных систем массового обслуживания (СМО): системы подготовки к полетам и системы восстановления исправности. Основные формулы используемой математической модели:

$$T_{\text{вос}} = \frac{\frac{T_{\text{пол}}}{1 - e^{-\frac{T_{\text{пол}}}{T_{\text{он}}}}} T_{\text{взп}} + K_{\text{тек}} T_{\text{мр}}}{1 - e^{-\frac{T_{\text{пол}}}{T_{\text{он}}}} + K_{\text{тек}}},$$

$$\mu_2 = \frac{1}{T_{\text{вос}}},$$

$$\lambda_2 = (1 - e^{-\frac{T_{\text{пол}}}{T_{\text{он}}}} + K_{\text{тек}}) \frac{n_{\text{зад}}}{T_{\text{раб}}},$$

$$\alpha_2 = \frac{\lambda_2}{\mu_2},$$

$$\delta = \frac{n \cdot \mu_{\Sigma}}{\nu},$$

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^n \frac{(\alpha)^k}{k!} + \frac{(\alpha)^n}{n!} \sum_{r=1}^m \frac{\gamma^r}{\prod_{i=1}^r (\delta + i)}},$$

$$P_{k_2} = \frac{n_{\text{шт}}!}{k_2! \cdot (n_{\text{ум}} - k_2)!} \cdot \alpha_2^{k_2} \cdot P_0,$$

$$\lambda = \frac{P_{\text{н}}}{T_{\text{доп}}},$$

$$\alpha = \frac{\lambda}{\mu_{\Sigma}},$$

$$\mu = \frac{1}{T_{\text{шт}}},$$

$$\eta = \frac{1}{T_{\text{доп}}},$$

$$m = n_{\text{шт}} - n; \mu_{\Sigma} = \mu + \eta,$$

$$\gamma = \frac{\mu}{\nu},$$

$$P_{n_2+r_2} = \frac{n_{\text{шт}}!}{n_2^{r_2} \cdot n_2! \cdot (n_{\text{шт}} - n_2 - r_2)!} \cdot \alpha_2^{n_2+r_2} \cdot P_0,$$

$$N_{\text{с}} = \sum_{k_2=0}^{n_2} k_2 P_k + n_2 \sum_{r_2=1}^{n_{\text{шт}}-n_2} P_{n_2+r_2},$$

$$N_o = \sum_{r_2=1}^{n_{\text{шт}}-n_2} r_2 \cdot P_{n_2+r_2},$$

$$N_u = N_{\text{с}} + N_o; N_u = 1 - N_n,$$

$$P_u = \frac{N_u}{n_{\text{шт}}},$$

$$T_{\text{доп}} = \begin{cases} T_{\text{раб}} - T_{\text{лд}}, & s = 1 \\ \frac{T_{\text{лд}} - n_{\text{зад}} T_{\text{пол}}}{n_{\text{зад}} - 1}, & s > 1 \end{cases}; \quad n_{\text{зад}} \in \left(2; \frac{T_{\text{лд}}}{T_{\text{пол}}} \right),$$

$$\nu = \frac{1}{T_{\text{доп}} - T_{\text{шт}}}, \quad T_{\text{доп}} - T_{\text{шт}} > 0,$$

$$P_{n+r} = \frac{(\alpha)^n}{n!} \frac{\gamma^r}{\prod_{i=1}^r (\delta+i)} P_0,$$

$$n_{\text{ср}} = \sum_{k=0}^n k P_k + \sum_{r=1}^m n \cdot P_{n+r},$$

$$P_{\text{сн1}} = \frac{\mu \cdot n_{\text{ср}}}{\lambda}, \quad P_{\text{спs}} = \frac{\mu \cdot n_{\text{ср}}}{\lambda},$$

$$P_{\text{сн}} = \frac{P_{\text{сн1}} + P_{\text{снс}} (n_{\text{зад}} - 1)}{n_{\text{зад}}},$$

$$P_{\text{св}} = P_u P_{\text{сн}},$$

где $P_{и}$ – вероятность того, что ЛА будет исправен; $P_{сп}$ – условная вероятность своевременной подготовки исправного ЛА; N_0 – среднее число ЛА, ожидающих в очереди на восстановление; $N_в$ – среднее число восстанавливаемых ЛА (занятых каналов системы); $N_{и}$ – среднее число исправных ЛА; $N_{н}$ – среднее число неисправных ЛА; $T_{взп}$ – среднее время восстановления; $K_{тек}$ – коэффициент отхода ЛА в текущий ремонт; $T_{тр}$ – средняя продолжительность текущего ремонта; $T_{оп}$ – средний налет ЛА на отказ в полете; $T_{пол}$ – время полета; $T_{вос}$ – среднее время восстановления исправности ЛА (устранения повреждений); $T_{раб}$ – продолжительность рабочего дня; $T_{повр}$ – среднее время восстановления повреждений ЛА от внешних факторов; $T_{взп}$ – время восстановления эксплуатационных повреждений; P_{k_2} – вероятность нахождения k_2 ЛА в системе; $k_2 = \overline{0, n_2}$ – число ЛА находящихся в системе на восстановлении; $P_{n_2+r_2}$ – вероятность нахождения $(n_2 + r_2)$ ЛА в системе; $r_2 = \overline{1, n_{шт} - n_2}$ – число ЛА, ожидающих восстановления; $N_0(t)$, $N_в(t)$ и $N_{и}(t)$ – математические ожидания числа ЛА, находящихся в состояниях «ожидание восстановления», «восстановление» и «исправен» соответственно; P_{n+r} – вероятность нахождения $(n + r)$ ЛА в системе; r – число ЛА ожидающих обслуживания ($r = \overline{1, m}$); P_k – вероятность нахождения k ЛА в системе; k – число ЛА, находящихся в системе на обслуживании ($k = \overline{0, n}$); $T_{шт}$ – среднее время выполнения на ЛА предполетной подготовки или среднее время обслуживания заявки каналом СМО; $n_{шт}$ – общее количество ЛА; $n_{зад}$ – заданная напряженность вылетов; n_2 – количество каналов ремонта; μ – интенсивность потока обслуживания; μ_2 – интенсивность потока освобождения одного канала восстановления ЛА; λ_2 – интенсивность потока ЛА, требующих восстановления; $P_{св}$ – вероятность своевременного вылета ЛА; $T_{лд}$ – продолжительность летного дня; m – длина очереди; $T_{доп}$ – общее время пребывания заявки в системе; η – интенсивность ухода из под обслуживания; $n_{ср}$ – среднее число занятых каналов.

Кроме того, реализована модель, позволяющая получить значение вероятности своевременного вылета на перехват воздушного объекта, подробно описанная в [1]:

$$P_0 = 1 - e^{-\frac{R_{обн} - R_{л} - V_{ц} t_{вых} - V_{ц} t_{3min}}{V_{ц} T_3}},$$

где $R_{л}$ – удаление заданного рубежа перехвата от аэродрома базирования ЛА;
 $R_{обн}$ – максимально возможное удаление воздушного объекта от аэродрома базирования в момент ее обнаружения РЛС;
 $V_{ц}$ – скорость воздушного объекта;
 $t_{вых}$ – время выхода ЛА на рубеж перехвата после взлета;
 t_{3min} – равняется минимальному времени, которое обязательно затрачивается на принятие решения и на подготовку ЛА к взлету;
 T_3 – среднее время задержки вылета.
 Влияние различных факторов на значение искомой вероятности показано на рис. 7–9.

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

В рамках предлагаемой методики модель расчета показателя эффективности своевременного вылета ЛА реализована в программе для ЭВМ, позволяющей выполнять расчеты и представлять их в удобном для исследователя виде.

Программа обладает современным интерфейсом (рис. 1), удобным для исследователя, и позволяет выполнять оперативный расчет следующих показателей:

- вероятность исправности ЛА;
- вероятность своевременной подготовки ЛА к вылету;
- вероятность своевременного вылета ЛА;
- вероятность своевременного вылета на перехват воздушного объекта.

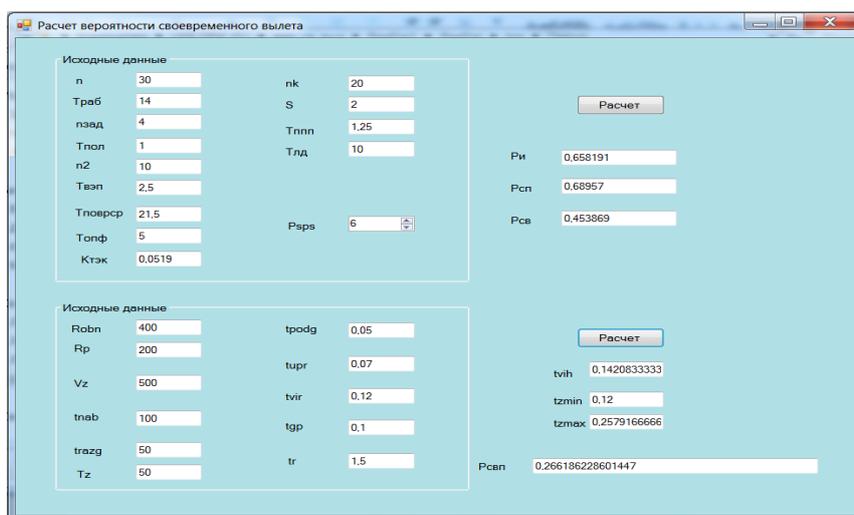


Рис. 1. Интерфейс разработанной программы
Fig. 1. The program's interface

Программа реализована на языке программирования C#, на ее главном окне присутствуют два контейнера исходных данных GroupBox, в которых размещены поля для ввода значений исходных данных. Кнопками «Расчет» запускается выполнение двух задач: расчет своевременного вылета ЛА и расчет своевременного вылета ЛА на перехват по модели [1]. Кроме основных искомых вероятностей выполняется расчет дополнительных показателей. При наведении курсора мыши на любое обозначение параметра на главной форме, рядом с ним всплывает подсказка (рис. 2).

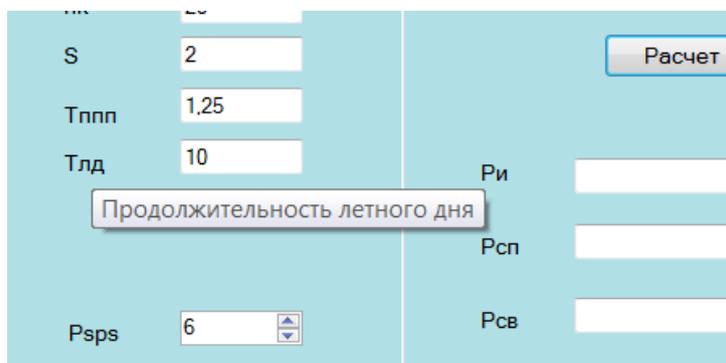


Рис. 2. Демонстрация всплывающей подсказки
Fig. 2. The tool tip demonstration

Программа для ЭВМ, разработанная по вышеуказанной модели, используется в программно-аппаратном комплексе для исследований и оценивания в испытаниях характеристик авиационных комплексов.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Результаты исследований влияния на вероятность своевременного вылета различных факторов и их сочетаний представлены на рис. 3–6. Эти рисунки показывают зависимость искомой вероятности от наиболее важных параметров, характеризующих условия решения задачи: заданная напряженность вылетов, число каналов обслуживания, продолжительность летного и рабочего дней, времени подготовки к повторному вылету и т. д.

На рис. 7–9 показаны результаты моделирования вероятности своевременного вылета на перехват воздушного объекта.

При моделировании использованы следующие исходные данные:

- общее количество летательных аппаратов – 30 штук;
- продолжительность рабочего дня – 14 часов;
- заданное напряжение вылетов – 4;
- время полета – 1 час;
- количество каналов ремонта – 10;
- среднее время восстановления эксплуатационных повреждений ЛА – 2,5 часа;
- среднее время восстановления повреждений ЛА от внешних факторов – 21,5 часа;
- средний налет на отказ в полете – 5 часов;
- продолжительность подготовки к повторному вылету – 1,25 часа;
- продолжительность летного дня – 10 часов;
- количество каналов обслуживания – 20;
- коэффициент отхода ЛА в текущий ремонт – 0,05.

Исходные данные при моделировании задачи перехвата: $R_n = 200$ км; $R_{обн} = 400$ км; $V_{ц} = 500$ км/ч; $T_3 = 50$ мин.

Все используемые исходные данные носят гипотетический характер, однако они вполне реальны с точки зрения технического существования.



Рис. 3. Зависимость вероятности своевременного вылета ЛА от заданной напряженности
Fig. 3. A/C timely departure probability dependence on the given intensity

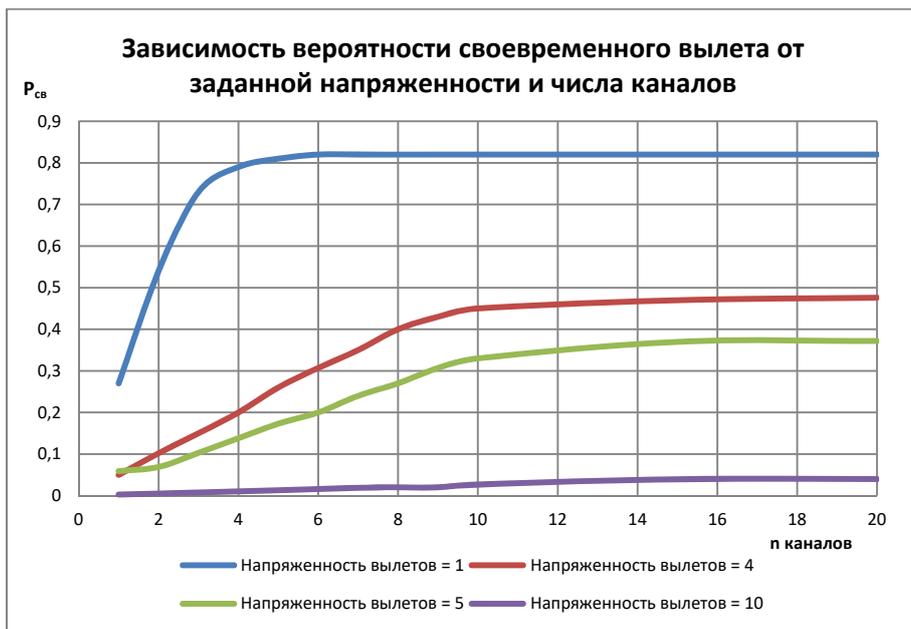


Рис. 4. Зависимость вероятности своевременного вылета ЛА от заданной напряженности и числа каналов
Fig. 4. A/C timely departure probability dependence on the given intensity and number of channels

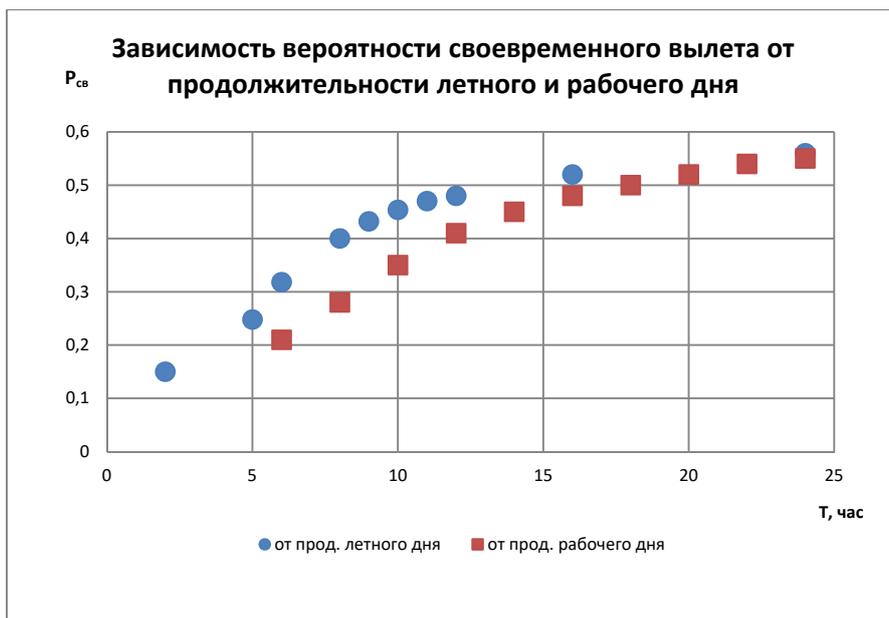


Рис. 5. Зависимость вероятности своевременного вылета ЛА от продолжительности летного и рабочего дня
Fig. 5. A/C timely departure probability dependence on the duration of the flight and working day

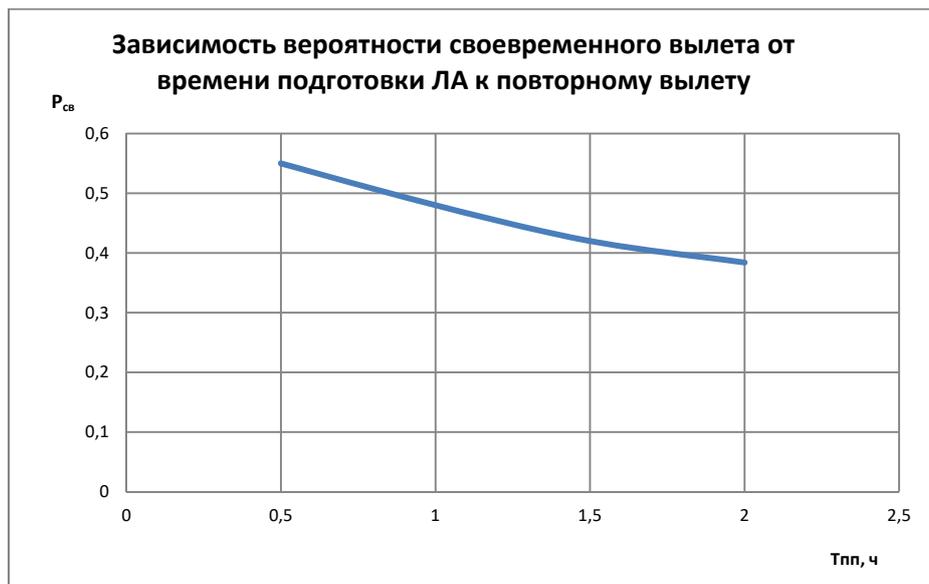


Рис. 6. Зависимость вероятности своевременного вылета ЛА от времени подготовки к повторному вылету
Fig. 6. A/C timely departure probability dependence on the time of preparation for re-departure



Рис. 7. Зависимость вероятности своевременного вылета ЛА на перехват от скорости цели
Fig. 7. A/C timely departure probability dependence on the interception of the target speed

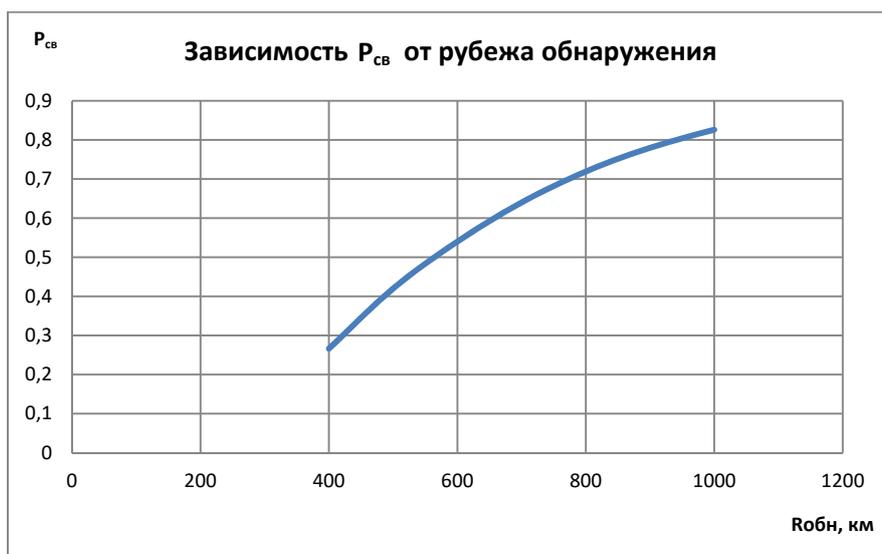


Рис. 8. Зависимость вероятности своевременного вылета ЛА на перехват от рубежа обнаружения
Fig. 8. A/C timely departure probability dependence on the interception of detection line

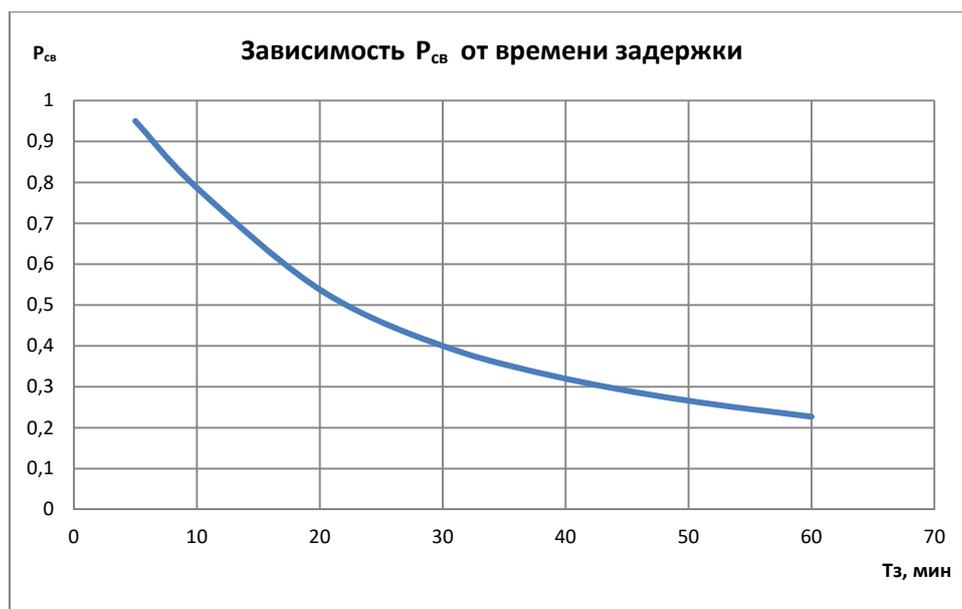


Рис. 9. Зависимость вероятности своевременного вылета ЛА на перехват от времени задержки
Fig. 9. A/C timely departure probability dependence on the interception of delay time

В результате исследований установлены следующие основные закономерности при решении задачи своевременного вылета.

Заданная напряженность существенно влияет на вероятность своевременного вылета, снижая ее с увеличением числа необходимых вылетов. Модель позволила получить зависимость $P_{св}$ от заданной напряженности, величина которой составила до 10 вылетов. Однако при необходимости этот параметр легко варьируется в любом необходимом диапазоне. Из рис. 2 видно, что при принятых начальных условиях моделирования искомая вероятность достигает недопустимо малого уровня (менее 0,1).

Рис. 3 демонстрирует зависимость искомой вероятности одновременно от заданной напряженности и числа каналов обслуживания. Существенное влияние на вероятность своевре-

менного вылета оказывает продолжительность летного и рабочего дня (рис. 4). На рис. 5 представлена зависимость $P_{св}$ от времени подготовки ЛА к повторному вылету. Четко видно, что при создании ЛА конструкторы должны обеспечивать приемлемую эксплуатационную технологичность, так как время подготовки более 2,5 часов снижает искомую вероятность до значений менее 0,3, что делает эксплуатацию таких ЛА нецелесообразной.

Результаты моделирования вероятности своевременного вылета ЛА на перехват показывают, что при принятых исходных данных на вероятность $P_{св}$ существенное влияние оказывает скорость перехватываемого воздушного объекта (рис. 6): при увеличении скорости приближающегося воздушного объекта вероятность своевременного вылета, обеспечивающего перехват, уменьшается. В то же время увеличение рубежа обнаружения воздушного объекта приводит к повышению вероятности своевременного вылета (рис. 7).

Очевидно (рис. 8), что время задержки вылета необходимо сокращать, для того чтобы росло значение вероятности своевременного вылета ЛА на перехват воздушного объекта.

Моделируя искомые вероятности, можно выполнять сравнительную оценку ЛА на основе методов многокритериального выбора и упорядочивания объектов, как это сделано в [13].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемая методика, модель и программная реализация расчета вероятности своевременного вылета ЛА позволяет выполнять исследования вероятностных характеристик ЛА и оценивать влияние на них различных факторов, может быть использована в летных испытаниях, в том числе для получения новых данных об объекте испытаний и исследований за счет применения моделирования.

Представлены результаты исследований по определению зависимости вероятности своевременного вылета летательного аппарата от наиболее важных параметров, характеризующих условия решения этой задачи.

Методика оценки $P_{св}$ может быть использована на этапе государственных летных испытаний в интересах оценки возможностей ЛА, а программная реализация при моделировании различных ситуаций по своевременному вылету ЛА в широком диапазоне изменения внешних условий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Макаренко В.Н. Боевые авиационные комплексы и их эффективность / В.Н. Макаренко, В.К. Харченко, А.Д. Кузнецов, С.В. Николаев. Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2018. 297 с.
2. Николаев С.В. Определение в испытаниях вероятности обнаружения наземных объектов с борта летательного аппарата // Научный Вестник МГТУ ГА. 2017. Т. 20, № 5. С. 131–144. DOI: 10.26467/2079-0619-2017-20-5-131-144
3. Singh M. Traffic Management Models for Wireless Communication Network. М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2015. 232 с.
4. Parthasarathy P.R., Sudhesh R. Time-dependent analysis of state-dependent queues. М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2012. 204 с.
5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: учебник для вузов. 8-е изд. стер. М.: Высшая школа, 2007. 575 с.
6. Ивченко Г.И., Каштанов В.А., Коваленко И.Н. Теория массового обслуживания. 2-е изд., испр. и доп, 2012. 304 с.
7. Уолрэнд Дж. Введение в теорию сетей массового обслуживания. М.: Мир, 1993. 336 с.
8. Shortle J. Fundamentals of Queueing Theory. 5th Edition. Wiley, 2018. 556 p.

9. Шилдт Г. С# 4.0: полное руководство: пер. с англ. М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2011. 1056 с.
10. Уотсон К. Visual С# 2010: полный курс: пер. с англ./ Карли Уотсон, Кристиан Нейгел, Якоб Хаммер Педерсен, Джон Д. Рид, Морган Скиннер. М.: Диалектика, 2010. 960 с.
11. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. М.: КНОРУС, 2010. 192 с.
12. Мильграмм Ю.Г. Таблицы и графики для вероятностных расчетов. Часть 1. М.: ВВИА, 1974. 381 с.
13. Терентьев В.Б. Упорядочивание объектов на основе многокритериального анализа // Автоматизация. Современные технологии. 2017. Том 71, № 9. С. 410–412.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Николаев Сергей Владимирович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры испытаний летательных аппаратов МАИ (НИУ), филиал «Взлет», заместитель начальника научно-испытательного отдела 929 Государственного летно-испытательного центра МО РФ, nikozavr1978@yandex.ru.

AIRCRAFT TIMELY DEPARTURE PROBABILITY TECHNIQUE CALCULATION

Sergey V. Nikolaev¹

¹*Moscow Aviation Institute (National Research University) "Vzlet" Branch,
Akhtubinsk, Russia*

ABSTRACT

The article proposes the probability determination technique of timely aircraft departure, which is based on mathematical modeling method. It is proposed to use the indicator of timely departure probability, a calculation method of which is different from the known methods by taking into account the aircraft maintenance and repair system. This technique applies modern information technologies and the adopted approach is also supplemented with the mathematical model software implementation. The method of aircraft timely departure probability calculation is based on the model of the aircraft maintenance and repair system, utilizing the theory of mass service mathematical apparatus. The technique allows us to achieve the practical objectives of flight tests implementing aircraft maintainability evaluation and also complements the existing methodological support of the tests. The developed computer program provides the calculation of the required indicators for various values and combinations of factors which influence the result. Modeling was performed, and the study results of the main factors of probability effect, influencing timely departure are presented. Eventually the basic laws in solving the problem of aircraft timely departure, including interception of flying object are established.

Key words: flight tests, departure probability, timely departure, aircraft.

REFERENCES

1. **Makarenko, V.N., Kharchenko, V.K., Kuznecov, A.D. and Nikolaev, S.V. (2018).** *Boevyye aviatsionnyye komplekсы i ikh effektivnost* [Combat aviation systems and their effectiveness]. Voronezh: VUNC VVS "VVA", 297 p. (in Russian)
2. **Nikolaev, S.V. (2017).** *Test determination of probability of airborne detection of ground surface objects*. Civil Aviation High Technologies, vol. 20, no. 5, pp. 131–144. DOI:10.26467/2079-0619-2017-20-5-131-144. (in Russian)

3. **Singh M.** (2015). *Traffic Management Models for Wireless Communication Network*. M.: LAP Lambert Academic Publishing, 232 p.
4. **Parthasarathy, P.R. and Sudhesh, R.** (2012). *Time-dependent analysis of state-dependent queues*. Moscow: LAP Lambert Academic Publishing, 204 p.
5. **Ventsel, E.S.** (2007). *Teoriya veroyatnostey: Uchebnik dlya VUZov* [Probability Theory: Textbook. for Universities.]. 8th ed., ster. Moscow: Vysshaya shkola, 575 p. (in Russian)
6. **Ivchenko, G.I., Kashtanov, V.A. and Kovalenko, I.N.** (2012). *Teoriya massovogo obsluzhivaniya* [Queuing theory.]. Moscow: "LIBROKON", 2nd ed., 304 p. (in Russian)
7. **Walrand, J.** (1988). *An Introduction to Queueing Networks*. Prentice Hall, 384 p.
8. **Shortle, J.F., Thompson, J.M., Gross, D. and Harris, C.M.** (2018). *Fundamentals of Queueing Theory*. 5th Edition, Wiley, 556 p.
9. **Schildt, H.** (2010). *C# 4.0 The Complete Reference*. McGraw-Hill Education, 976 p.
10. **Watson, K., Nagel, C., Pedersen, Ja. and Reid, J.** (2010). *Beginning Visual C# 2010*, Wrox, 1080 p.
11. **Venttsel, Ye.S.** (2010). *Issledovanie operatsiy: zadachi, printsipy, metodologiya* [Research of operations: tasks, principles, methodology]. Moscow: KNORUS, 192 p. (in Russian)
12. **Milgramm, Yu.G.** (1974). *Tablitsy i grafiki dlya veroyatnostnykh raschetov. Chast 1* [Tables and graphs for probabilistic calculations. Part 1]. Moscow: VVIA, 381 p. (in Russian)
13. **Terentyev, V.B.** (2017). *The objects ordering on the grounds of multicriteria analysis. Avtomatizatsiya. Sovremennyye tekhnologii* [Automation. Modern technologies], vol. 71, no. 9, pp. 410–412. (in Russian)

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Sergey V. Nikolaev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Aircraft Testing Chair, Moscow Aviation Institute (National Research University), Branch "Vzlet", Deputy Head of the Research and Test Department 929 of the State Flight Test Center of the Ministry of Defense of the Russian Federation "Testing A/C" Chair, MAI (NRU), nikozavr1978@yandex.ru.

Поступила в редакцию 08.06.2019
Принята в печать 24.09.2019

Received 08.06.2019
Accepted for publication 24.09.2019