

УДК 633.746:355.424.4.001

А.В. Никифоров, И.А. Пичко

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

МОДЕЛЬ ОГРАНИЧЕНИЙ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-АВИАЦИОННОМ И АЭРОДРОМНО-ТЕХНИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ПОЛЁТОВ В АВИАЦИОННОЙ ЧАСТИ

Предложена модель инженерно-авиационного и аэродромно-технического обеспечения (ИАО и АТО) полётов в авиационной части, базирующаяся на типовых моделях теории массового обслуживания. Получено аналитическое выражение, устанавливающее функциональную зависимость вероятности гарантированного ИАО и АТО запланированного для авиационной части объёма налёта от исправности парка средств наземного обеспечения (СНО) полётов и количества самолётов, выделяемых на одну лётную смену. Выражение может использоваться как модель ограничений системы ИАО и АТО полётов при постановке и решении экстремальных задач по планированию лётной подготовки.

Ключевые слова: процесс принятия решения, формализация, модель ограничений, критерий оптимальности.

Введение

Процессы ИАО и АТО полётов являются одним из важнейших факторов, который следует учитывать при организации и планировании лётной подготовки в авиационной части. Рассматривая при этом планирование как иерархическую задачу оптимального распределения ресурсов [1], [2], актуальным является вопрос получения адекватных моделей ограничений по пропускной способности обеспечивающих подсистем, ИАО и АТО полётов в том числе, которые имеют целесообразную для рассматриваемого управленческого уровня степень детализации.

Постановка задачи и цель статьи. Целью данной статьи является получение формализованного представления пропускной способности подсистем ИАО и АТО полётов в авиационной части как функции от значимых параметров состояния и организации работы подразделений инженерно-авиационной службы и аэродромно-технического обеспечения.

Основной материал

Состав параметров состояния и организации работы рассматриваемых подсистем, которые будут значимыми с точки зрения принятия решений на планирование лётной подготовки, в значительной степени зависит от иерархического уровня принимаемых решений. Так для решений, принимаемых на уровне командира авиационной части, должны использоваться обобщённые показатели, характеризующие управляемые объекты (подразделения ИАС и АТО) в целом, не опускаясь до отдельных технических экипажей или отдельных летательных аппаратов (ЛА). В этом случае в качестве параметров состояния и организации подсистемы ИАО полётов могут рассматриваться: запас межремонтного ресурса, который имеется на эксплуатируемых ЛА, и текущее значение коэффициента исправности авиационной техники (АТ). Для подсистемы АТО полётов аналогичную

роль играет коэффициент исправности парка средств наземного обеспечения (СНО) полётов

В качестве метрики, характеризующей состояние АТ, может браться максимально-допустимое число ЛА, которые выделяются на лётную смену. Данная величина позволяет учесть, и уровень исправности АТ (количество ЛА, выделяемых на одну лётную смену, не должно превышать располагаемого количества исправных ЛА, имеющихся на рассматриваемый период времени), и запас межремонтного ресурса, который имеется на ЛА (планирование выработки межремонтного ресурса АТ должно происходить ступенчато, с обеспечением рационального темпа отправки ЛА в капитальный ремонт и замены авиационных двигателей, что также ограничивает количество ЛА, выделяемых для проведения лётных смен).

Пропускная способность подсистемы АТО ограничивается исправностью парка СНО и организацией подготовок АТ к повторным вылетам в течение лётной смены. Считая, что уровень организации процесса подготовки АТ в течение лётной смены всегда близок к своему максимальному значению, пропускную способность подсистемы АТО целесообразно определять, исходя из коэффициента исправности парка СНО.

Событие достаточности или недостаточности выделенного количества ЛА и средств наземного обеспечения полётов, при установленном объёме налёта авиационной части, является случайным. Случайность проявляется в том, что при одном и том же соотношении объёма планируемого налёта и располагаемого рабочего ресурса выделяемых на полёты средств (ЛА и СНО), в зависимости от графика полётов, может происходить либо его срыв по нехватке ЛА или СНО в критические или чрезмерно напряжённые периоды полётов, либо – успешное выполнение, если интенсивность полётов равномер-

но распределена в течение стартового времени. Поэтому количественная мера, характеризующая пропускную способность подсистем ИАО и АТО должна определяться как вероятность. В данном случае следует рассматривать вероятность гарантированно-го ИАО и АТО запланированного объёма налёта при располагаемом количестве исправных ЛА и СНО.

Модель, прогнозирующая величину вероятности гарантированного инженерно-авиационного и аэродромно-технического обеспечения запланированного налёта авиационной части, может быть описана средствами теории массового обслуживания. Будем считать, что и подсистема ИАО, и подсистема АТО описываются моделями многоканальных систем массового обслуживания.

При описании модели ИАО под каналом обслуживания будем понимать один подготовленный к повторному вылету исправный ЛА. Под потоком заявок на обслуживание – поток вылетов (лётных часов), запланированных на лётную смену. Продолжительность обслуживания заявки равняется продолжительности одного вылета плюс продолжительность подготовки самолёта к повторному вылету. Приход заявки в момент, когда все каналы многоканального устройства заняты, сопровождается отказом в обслуживании данной заявки. Происходит срыв графика полётов по отсутствию достаточного количества самолётов. То есть, в данном случае, используется модель многоканального устройства обслуживания с отказами.

Во втором случае, при моделировании обеспечения процесса подготовки АТ к повторным вылетам, целесообразно использовать модель многоканального устройства обслуживания с очередью. Заявки, ЛА, на которых необходимо проводить подготовки к повторным вылетам, поступают в систему обслуживания. При наличии на аэродроме (в системе) свободных СНО, подготовка к повторному вылету начинается немедленно, при отсутствии свободных СНО (занятости всех каналов обслуживания) – заявка ожидает обслуживания в очереди. Вероятностной характеристикой процесса обслуживания для такой системы будет среднее время обслуживания заявки с учётом времени её пребывания в очереди.

Количество каналов обслуживания для системы АТО не может быть сведено к простой сумме имеющихся разнородных комплексов СНО, обеспечивающих один цикл подготовки АТ. Каждая заявка, поступающая в систему АТО, предполагает проведение комплекса разнородных работ. Каждый вид работ связан с каким-либо одним типом СНО, имея при этом различную продолжительность во времени и вероятность его возникновения в поступающих заявках. Например, операция заправки (дозаправки) самолёта маслом, как правило, проводится значительно реже, чем операция заправки топливом, которая выполняется при каждой подготовке ЛА к

повторному вылету. Следовательно, количество каналов обслуживания будет определяться как наименьшее из приведенных (редуцированных) количеств СНО всех типов, составляющих их парк

$$c = \min \left(n_1^{\text{СНО}} \cdot \phi_1^{\text{ред.}}, \dots, n_i^{\text{СНО}} \cdot \phi_i^{\text{ред.}}, \dots, n_N^{\text{СНО}} \cdot \phi_N^{\text{ред.}} \right), \quad (1)$$

$$\phi_i^{\text{ред.}} = \frac{t_{\text{п.в.СНО}}^{\text{макс.}}}{t_{\text{п.в.СНО}}^{(i)} \cdot k_{\text{исп.СНО}}^{(i)}}, \quad 0 \leq k_{\text{исп.СНО}}^{(i)} \leq 1, \quad (2)$$

где c – приведенное (редуцированное) количество каналов обслуживания в системе АТО;

$n_i^{\text{СНО}}$ – количество средств наземного обеспечения полётов i -го типа

$\phi_i^{\text{ред.}}$ – редуцированный коэффициент для СНО i -го типа, учитывающий его загруженность при обеспечении подготовок АТ;

$t_{\text{п.в.СНО}}^{(i)}$ – время, затрачиваемое СНО i -го типа при обеспечении подготовки к повторному вылету одного ЛА;

$t_{\text{п.в.СНО}}^{\text{макс.}}$ – максимальная продолжительность использования СНО при выполнении подготовки АТ к повторному вылету из всех типов, которые составляют их парк в авиационной части;

$k_{\text{исп.СНО}}^{(i)}$ – коэффициент использования СНО i -го типа при выполнении подготовок к повторным вылетам. Если данное средство используется при каждом цикле подготовки, то коэффициент использования равен 1.

Коэффициент редукиции имеет физический смысл кратности продолжительности использования в одном цикле подготовки СНО рассматриваемого типа к продолжительности критической (максимальной по времени) процедуры использования СНО при подготовке АТ. Такой критической процедурой может быть, например, операция заправки самолёта топливом. Следовательно, уменьшение времени выполнения операции при проведении подготовки АТ с помощью рассматриваемого типа СНО эквивалентно увеличению количества этих СНО в системе АТО. Также, уменьшение вероятности выполнения какого-либо вида работ в входящих заявках на выполнение подготовок АТ, эквивалентно увеличению количества СНО, с помощью которых должен выполняться данный вид работ.

Величина потока заявок или подготовок к повторному вылету ЛА, которые приходятся на один час стартового времени при проведении лётной смены, в системе АТО может быть вычислена как

$$\lambda_{\text{АТО}} = \frac{U_{\text{см.}}}{t_{\text{п}} \cdot t_{\text{ст}}}, \quad (3)$$

или

$$\lambda_{\text{АТО}} = \frac{N_{\text{п.см.}}}{t_{\text{ст}}}, \quad (4)$$

где $U_{см.}$, $N_{п.см.}$ — объём налёта, в лётных часах или самолетовылетах, соответственно, планируемый на лётную смену;

$\bar{t}_п$ — среднее время одного вылета;

$t_{ст}$ — стартовое время.

Среднее время выполнения подготовок ЛА к повторным вылетам с учётом их ожидания в очереди в рассматриваемой системе массового обслуживания оценивается как [3]

$$\bar{t}_{ПВ} = \frac{c(\lambda_{АТО})^c (t_{ПВ}^H)^{c+1}}{c!(c - \lambda_{АТО} t_{ПВ}^H)^2} \times \left(\frac{1}{\sum_{i=0}^{c-1} \frac{(\lambda_{АТО} t_{ПВ}^H)^i}{i!} + \frac{(\lambda_{АТО} t_{ПВ}^H)^c}{c!(1 - \lambda_{АТО} \frac{t_{ПВ}^H}{c})}} + t_{ПВ}^H \right), \quad (6)$$

где $t_{ПВ}^H$ — нормативное время продолжительности последовательности работ, выполняемых в течение подготовки к повторному вылету АТ.

На основании оценки среднего времени обслуживания заявки может быть вычислен коэффициент использования АТ в течение стартового времени

$$k_{исп.} = \frac{\bar{t}_п}{\bar{t}_{ПВ} + \bar{t}_п}. \quad (7)$$

Для известного коэффициента использования АТ пропускная способность одного ЛА (одного канала обслуживания системы ИАО) в течение лётной смены будет равна

$$\mu_{ИАО} = \frac{k_{исп.} t_{ст.}}{\bar{t}_п}. \quad (8)$$

При этом поток заявок в системе ИАО будет

$$\lambda_{ИАО} = \frac{U_{см.}}{\bar{t}_п}, \quad (9)$$

или

$$\lambda_{ИАО} = N_{п.см.}. \quad (10)$$

Как видно из (8) пропускная способность системы ИАО зависит от пропускной способности системы АТО, которая учитывается через величину обеспечиваемого системой АТО коэффициента использования АТ в течение лётной смены. Следовательно, система ИАО является объёмлющей по отношению к системе АТО систему обслуживания. Поэтому вероятность гарантированного обслуживания заявок в системе ИАО будет являться вероятностью гарантированного инженерно-авиационного и аэродромно-технического обеспечения запланированного налёта в авиационной части при заданных параметрах состояния и организации функциониро-

вания данных систем.

Вероятность того, что выделенного на лётную смену количества ЛА, при известном техническом состоянии парка СНО, гарантированно хватит для обеспечения запланированного налёта в течение отведённого стартового времени, может быть вычислена как

$$P_{АТ,СНО} = 1 - \bar{P}_{АТ,СНО}; \quad (11)$$

$$\bar{P}_{АТ,СНО} = \frac{\rho^{N_{ЛА}^{см.}}}{N_{ЛА}^{см.}!} \cdot P_0; \quad (12)$$

$$\rho = \frac{\lambda_{ИАО}}{\mu_{ИАО}} = \frac{U_{см.}}{k_{исп.} t_{ст.}}; \quad (13)$$

$$P_0 = \frac{1}{1 + \sum_{j=1}^{N_{ЛА}^{см.}} \frac{\rho^j}{j!}}, \quad (14)$$

где $\bar{P}_{АТ,СНО}$ — вероятность отказа в обслуживании заявки (вероятность срыва графика полётов по отсутствию достаточного количества ЛА) в системе инженерно-авиационного обеспечения полётов;

$N_{ЛА}^{см.}$ — количество ЛА, выделяемых для обеспечения одной лётной смены.

Выражения (3) – (14) являются моделью ограничения выполняемого объёма налёта в авиационной части в течение установленного периода времени, исходя из пропускной способности системы ИАО и АТО полётов. Данная модель позволяет определять величину вероятности гарантированного ИАО и АТО полётов в зависимости от объёма запланированного налёта, располагаемого количества приведенных каналов обслуживания системы АТО, зависящего от исправности парка СНО, и количества ЛА, выделяемых для проведения одной лётной смены в данный период времени.

На рис. 1 показан графический вид модели ограничений системы ИАО и АТО полётов, которая представляется как функция вероятности гарантированного ИАО и АТО полётов в авиационной части от количества приведенных каналов обслуживания парка СНО и числа ЛА, выделяемых для обеспечения лётной смены. Полученная функция соответствует запланированному объёму налёта на одну лётную смену – 20 часов, среднему времени полёта ЛА – 45 минут, стартовому времени – 6 часов, нормативном времени выполнения комплекса работ по подготовке ЛА к повторному вылету – 45 минут.

Главным недостатком (3) – (14) является необходимость использования процедур целочисленного программирования при решении оптимизационных задач с таким формализованным представлением пропускной способности систем ИАО и АТО полётов. Процедуры численной оптимизации, предполагающие использование монотонных функций с не-

прерывными аргументами, гораздо проще для своей реализации. Поэтому целесообразно использовать аппроксимацию (3) – (14), позволяющую уходить от применения процедур целочисленной оптимизации.

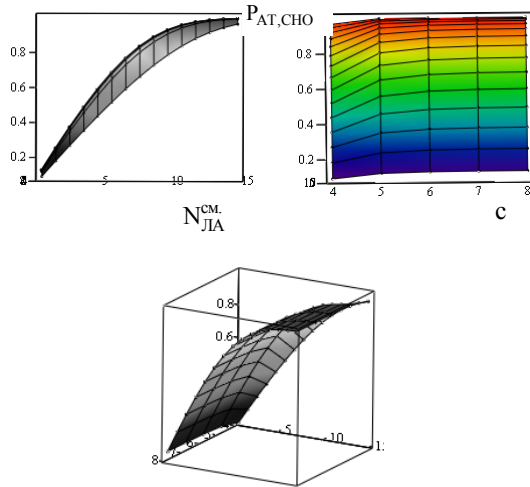


Рис. 1. Модель ограничений при ИАО и АТО полётов в авиационной части

Вид функции $P_{AT,CHO} = f(c, N_{LA}^{CM})$ позволяет говорить о её степенном характере. С удовлетворительной точностью её можно представить в виде следующих выражений

$$P_{AT,CHO} = 1 - e^{-\left(\frac{N_{LA}^{CM}}{\rho}\right)^{1,25}}; \quad (15)$$

$$\rho = \frac{\lambda_{IAO}}{\mu_{IAO}} = \frac{U_{CM}}{k_{исп.} \cdot \bar{t}_{ст}}; \quad (16)$$

$$k_{исп.} = \frac{\bar{t}_n}{\bar{t}_{ПВ} + \bar{t}_n} = \frac{\bar{t}_n}{\frac{1}{(c - \lambda_{ATO})} + \bar{t}_{ПВ} + \bar{t}_n}. \quad (17)$$

На рис. 2 показан вид $P_{AT,CHO} = f(c, N_{LA}^{CM})$, которая аппроксимирована с помощью (15) – (17).

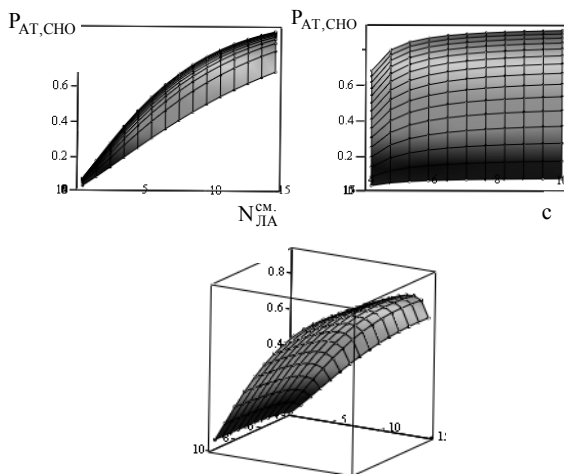


Рис. 2. Модель ограничений при ИАО и АТО полётов в авиационной части с использованием аппроксимации

Как видно, модель ограничений, использующая (15) – (17), задаёт меньшие величины вероятности гарантированного инженерно-авиационного и аэродромно-технического обеспечения полётов в зависимости от количества ЛА, выделяемых на проведение лётной смены.

Рост вероятности $P_{AT,CHO}$ по N_{LA}^{CM} в данном случае происходит с примерно одним и тем же темпом со слабым насыщением при больших величинах N_{LA}^{CM} . В случае ограничений, использующих (3) – (14), рост $P_{AT,CHO}$ при малых N_{LA}^{CM} происходит интенсивнее с выраженным переходом на участок насыщения при $N_{LA}^{CM} = 10$ ЛА.

Что касается изменения $P_{AT,CHO}$ по количеству каналов АТО, то модель (15) – (17) задаёт примерно одинаковый характер возрастания вероятности гарантированного инженерно-авиационного и аэродромно-технического обеспечения от c во всём диапазоне изменения N_{LA}^{CM} .

При малых величинах c темп возрастания $P_{AT,CHO}$ максимальный. При возрастании c происходит уменьшение величины производной $\frac{\partial P_{AT,CHO}}{\partial c}$. Модель (3) – (14) задаёт неодинаковую

производную $\frac{\partial P_{AT,CHO}}{\partial c}$ в зависимости от N_{LA}^{CM} .

Так при малых и больших величинах N_{LA}^{CM} , в начале и конце диапазона изменения данной величины, происходит уменьшение темпа прироста $P_{AT,CHO}$ по c .

То есть поверхность, изображающая график функции $P_{AT,CHO} = f(c, N_{LA}^{CM})$ и которая представлена на рисунке 2 имеет большую кривизну при малых c , если двигаться вдоль оси c , и меньший изгиб (переход на участок насыщения) при увеличении N_{LA}^{CM} , чем это характерно для поверхности, изображённой на рисунке 1.

Данное обстоятельство обуславливает занижение возможностей системы инженерно-авиационного и аэродромно-технического обеспечения при малых количествах каналов обслуживания парка СНО и ЛА, выделяемых на проведение лётной смены. Однако, если при планировании лётной подготовки исходить из концепции обеспечения гарантированного результата или, иначе, рассматривая план не как предельно-достижимую планку, а как норматив, ниже которого опускаться нельзя, данная погрешность при моделировании ограничений системы инженерно-авиационного и аэродромно-технического обеспечения полётов допустима.

Выводы

Таким образом, в статье предложена математическая модель ограничений, описывающая пропускную способность системы ИАО и АТО полётов в авиационной части. Моделирование свойств данных подсистем обеспечения целесообразно проводить, используя типовые модели теории массового обслуживания.

Для математического описания функционирования подсистемы ИАО полётов была использована модель многоканального устройства обслуживания с отказами. Для моделирования системы АТО – модель многоканального устройства с очередью заявок.

Для представления парка СНО в виде совокупности однородных каналов обслуживания в статье предложен метод соизмерения разнородных наземных средств, использующий коэффициенты редукции. Величины этих коэффициентов зависят от частоты использования соответствующих средств в течение лётной смены и от загруженности данных средств в технологическом цикле проведения работ по подготовке ЛА к повторному вылету.

Модель ограничений по пропускной способности ИАО и АТО, использующая аппарат теории массового обслуживания, может применяться для постановки и решения различных задач оптимизации при оптимальном планировании лётной подготовки в авиационной части при условии привлечения аппарата целочисленного программирования.

Для снятия подобных ограничений на применяемые процедуры и алгоритмы в статье предложена аппроксимация полученной математической модели пропускной способности системы ИАО и АТО полётов в виде монотонной непрерывной функции степенного вида. Обеспечиваемая при этом точность вычисления ожидаемой величины вероятности гарантированного ИАО и АТО полётов удовлетворяет концепции планирования по ожидаемому гарантированному результату.

Список литературы

1. Никифоров А.В. Система задач и алгоритм принятия решения командиром авиационной части при выработке замысла годового плана лётной подготовки / А.В. Никифоров // Збірник наукових праць Об'єднаного науково-дослідного інституту Збройних Сил. – Х.: ОНДІ ЗС. – 2005. – Вип. 1(1). – С. 41-51.
2. Никифоров О.В. Обрис перспективної автотимізованої системи оптимального планування льотної підготовки як засобу підвищення ефективності процесу організації бойової підготовки авіаційної частини / О.В. Никифоров // Збірник наукових праць ХУ ПС. Х.: ХУ ПС, 2005. – Вип. 1(1). – С. 111-113;
3. Таха Х. Введение в исследование операций. В 2-х книгах. Пер. с англ. / Х. Таха. – М.: Мир, 1985. – Кн. 1 – 484 с., кн. 2 – 496 с.

Поступила в редколлегию 19.02.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.М. Фоменко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

МОДЕЛЬ ОБМЕЖЕНЬ ПРИ ІНЖЕНЕРНО-АВІАЦІЙНОМУ І АЕРОДРОМНО-ТЕХНІЧНОМУ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ПОЛЬОТІВ В АВІАЦІЙНІЙ ЧАСТИНІ

А.В. Нікіфоров, І.А. Пічко

Запропонована модель інженерно-авіаційного і аеродромно-технічного забезпечення (ІАО і АТО) польотів в авіаційній частині, що базується на типових моделях теорії масового обслуговування. Отриманий аналітичний вираз, що встановлює функціональну залежність вірогідності гарантованого ІАО і АТО запланованого для авіаційної частини об'єму льоту від справності парку засобів наземного забезпечення (СНО) польотів і кількості літаків, що виділяються на одну льотну зміну. Вираз може використовуватися як модель обмежень системи ІАО і АТО польотів при постановці і вирішенні екстремальних завдань по плануванню льотної підготовки.

Ключові слова: процес ухвалення рішення, формалізація, модель обмежень, критерій оптимальності.

A MODEL OF LIMITATIONS IS AT THE ENGINEER-AVIATION AND COMMUTER-TECHNICAL PROVIDING OF FLIGHTS IN AN AIR-UNIT

A.V.. Nikiforov, I.A. Pichko

The model of the engineer-aviation and commuter-technical providing (IAO and ATO) of flights is offered in an air-unit which is based on the typical models of theory of mass service. Analytical expression, which sets functional dependence of authenticity of assured IAO and ATO of the volume of raid from the good condition of park of facilities of the surface providing (SNO) of flights and amount of airplanes which are selected on one flying changing planned for an air-unit, is got. Expression can be utilized as a model of limitations of the system of IAO and ATO of flights at raising and decision of extreme tasks on planning of flying preparation.

Keywords: decision-making process, formalization, model of limitations, criterion of optimum.