

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ПОДГОТОВКОЙ ГРУППЫ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ¹

Ю.И. Буряк

Государственный НИИ авиационных систем
Россия, 125319, Москва, ул. Викторенко, 7
E-mail: buryak@gosniias.ru

А.А. Скрынников

Государственный НИИ авиационных систем
Россия, 125319, Москва, ул. Викторенко, 7
E-mail: a1260@mail.ru

Ключевые слова: группа воздушных судов, техническое обслуживание, алгоритм расчета состава бригады специалистов, реальное время.

Аннотация: Предложен подход к решению задачи определения состава бригады специалистов, которая обеспечила бы возможность подготовки группы однотипных воздушных судов к применению в течение заданного времени. При решении задачи для каждого рассматриваемого варианта состава бригады находится рациональное допустимое расписание. Сформирована постановка задачи и разработан алгоритм рационального планирования работ при заданном составе бригады. При возникновении нарушения плана решается задача рационального планирования работ при увеличении состава бригады.

1. Введение

При проведении технического обслуживания воздушных судов (ВС) возникает необходимость организации всего комплекса технологических операций, в том числе планирование и распределение инженерно-технического состава (ИТС), средств наземного обслуживания общего пользования, контрольно-поверочной аппаратуры и пр. Весь личный состав инженерно-авиационной службы (ИАС) разбит на технические бригады (ТБ), в состав которых входят техники и специалисты по разным специальностям. За каждой ТБ закрепляются 3-4 воздушных судов (ВС). В рамках организации полетов группы ВС руководство ИАС определяет потребное время, необходимое количество средств технического обслуживания, осуществляет рациональное распределение сил и средств для проведения работ, например, для проведения предполетной подготовки, подготовки к повторному вылету.

Планирование работ осуществляется исходя из штатного личного состава ИАС и существующего регламента выполнения работ [1-3].

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 18-08-00488а.

Однако на практике при проведении предполетной подготовки, подготовки к повторному вылету возникает необходимость корректировки распределения сил исходя из наличествующего состава ИАС и необходимости устранения неисправностей, обнаруженных после полета, а также при организации подготовки вылета группы самолетов к заданному времени. В этом случае встает задача управления работами по подготовке авиационной техники.

Как задача планирования работ, так и задача управления работами связана с упорядочиванием работ по времени, по исполнителям с учетом накладываемых ограничений. Ограничения связаны с требуемой очередностью выполнения работ, с возможностью одновременной работы на одном ВС нескольких специалистов и возможностью одновременного использования средств технического обслуживания.

Такие ограничения достаточно просто формализуются и задача поиска оптимального решения сводится к задаче линейного программирования. Однако необходимость рассмотрения огромного числа вариантов упорядочивания работ, выполняемых на одном ВС, вариантов организации последовательности обслуживания одним специалистом нескольких ВС может потребовать неприемлемо большого времени для проведения расчетов [4-5]. Оптимальное календарное планирование работ может быть получено с использованием теории расписаний. Ряд задач теории расписаний может быть сформулирован как задачи линейного программирования [6-9].

В значительной мере объемы вычислений будут расти при решении задачи обоснования требуемого количества специалистов, обслуживающих группу ВС при заданном ограничении на время подготовки всей группы.

В этой связи возникает необходимость нахождения не оптимального, а некоторого рационального допустимого решения, которое было бы не намного хуже оптимального, но для нахождения которого не требовались бы большие вычислительные ресурсы.

В данной работе предлагается алгоритм обоснования состава бригады специалистов, которая обеспечила бы возможность подготовки группы однотипных ВС к применению в течение заданного времени. При решении задачи для каждого рассматриваемого варианта состава бригады находится рациональное допустимое расписание.

2. Постановка задачи минимизации численности бригады специалистов

Известно множество I ВС, которые необходимо подготовить к применению в течение заданного периода времени T_{max} . Обозначим через t_i^B время вылета i -го ВС, $i \in I$, $t_i^B \leq T_{max}$.

Подготовка i -го ВС состоит из последовательного набора технологических операций (работ) в количестве R_i . Для операции под номером $1 \leq r \leq R_i$ известны времена $t_{i,r}^{H0}, t_{i,r}^{K0}$ начала и окончания выполнения этой операции. Операции выполняются последовательно, то есть для $1 \leq r \leq R_i - 1$ выполняется $t_{i,r+1}^{H0} = t_{i,r}^{K0}$. Понятно также, что должно выполняться свойство $t_{i,R_i}^{K0} \leq t_i^B$, означающее, что вылет ВС может произойти только тогда, когда все операции выполнены.

Для подготовки группы ВС к вылету имеется бригада из специалистов различных категорий, множество которых мы обозначаем через J . Обозначим через n_j количество имеющихся специалистов j -ой категории, $j \in J$. Для каждой r -ой технологической операции подготовки i -го ВС определено множество $J_{i,r} \in J$ категорий необходимых спе-

специалистов. Предполагается, что для выполнения r -й работы необходимо по одну специалисту каждой категории из множества $J_{i,r}$.

Для определения потребности в специалистах различных категорий, участвующих в процессе подготовки i -го ВС, определим функцию $\Delta_{i,r,j}: [0, T_{max}] \rightarrow \{0,1\}$, $i \in I, 1 \leq r \leq R_i, j \in J$, равенством

$$\Delta_{i,r,j}(t) = \begin{cases} 1, & \text{если } j \in J_{i,r} \text{ и } t_{i,r}^{\text{HO}} \leq t \leq t_{i,r}^{\text{KO}}, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

Здесь через $[0, T_{max}] \subset R$ мы обозначаем замкнутый отрезок времени от 0 до T_{max} на оси вещественных чисел R . Таким образом, функция $\Delta_{i,r,j}(t)$ принимает значение 1 тогда и только тогда, когда момент времени t попадает на период выполнения r -ой операции над i -ым ВС, а также для выполнения этой операции имеется специалист категории j . В противном случае функция $\Delta_{i,r,j}(t)$ принимает значение 0. Удобно продолжить функцию $\Delta_{i,r,j}$ на всю ось времени равенством $\Delta_{i,r,j}(t) = 0$, для $t \in R \setminus [0, T_{max}]$.

Начало выполнения r -ой операции подготовки i -го ВС может произойти с задержкой, вызванной занятостью нужного специалиста на другом ВС. Обозначим эту задержку через $del_{i,r}$. Тогда условие того, что каждое ВС будет готово ко времени вылета, записывается математически как

$$t_{i,R_i}^{\text{KO}} + \sum_{r=1}^{R_i} del_{i,r} \leq t_i^{\text{B}}, i \in I,$$

а условие, что в любой момент времени будет обеспечиваться необходимое количество специалистов, как

$$\sum_{i \in I} \sum_{r=1}^{R_i} \Delta_{i,r,j}(t - \sum_{r'=1}^r del_{i,r'}) \leq n_j, j \in J, t \in [0, T_{max}].$$

Таким образом, задача о минимизации бригады специалистов для подготовки группы ВС ставится следующим образом. Необходимо найти такие наборы чисел $(n_j)_{j \in J}$ и $(del_{i,r})_{i \in I, 1 \leq r \leq R_i}$, где n_j – целые неотрицательные числа, а $del_{i,r}$ – вещественные неотрицательные числа, при которых:

- 1) сумма $\sum_{j \in J} n_j = \min$;
- 2) выполняются ограничения

$$t_{i,R_i}^{\text{KO}} + \sum_{r=1}^{R_i} del_{i,r} \leq t_i^{\text{B}}, i \in I,$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{r=1}^{R_i} \Delta_{i,r,j}(t - \sum_{r'=1}^r del_{i,r'}) \leq n_j, j \in J, t \in [0, T_{max}].$$

3. Методика рационального управления работами по подготовке группы ВС к заданному времени

3.1. Алгоритм рационального планирования работ при заданном составе бригады

Задачу информационной поддержки принятия решения предлагается свести к двум подзадачам: рациональному планированию работ при заданном составе бригады и увеличении состава бригады при возникновении нарушения плана.

Для решения задачи планирования работ по подготовке к вылету группы ВС минимизируем время простоя, связанное с началом выполнения работ, имеющих большую длительность. В этой связи при планировании очередности выполнения работ предлагается в первую очередь по возможности ставить работы, имеющие максимальную

длительность. Пусть проводится обслуживание n ВС m специалистами. Состав бригады специалистов задается вектором $K = \{k_1, k_2, \dots, k_m\}$, где k_i – число специалистов, допущенных к выполнению i -й работы ($i = 1 \dots m$). Время выполнения i -й работы вне зависимости от номера ВС неизменно и равно t_m . Планирование предлагается вести последовательно по времени, начиная с $t=0$, с шагом Δt . Алгоритм заключается в следующем.

Определяем текущее время t . Рассматриваем j -й ВС (начиная с $j = 1$). Для рассматриваемого ВС формируются множества $A_j(t)$ и $B_j(t)$. Множество $A_j(t) = \{a_1(t), \dots, a_m(t)\}$ включает элементы $a_i(t)$, каждый из которых принимает два возможных значения: $a_i(t) = 0$, если i -й работы на j -том ВС к моменту времени t выполнена (или же начата), и $a_i(t) = 1$ в противном случае. Множество $B_j(t) = \{b_1(t), \dots, b_m(t)\}$ включает элементы $b_i(t)$, значения которых равно числу свободных к моменту времени t специалистов, допущенных к выполнению i -й работы. Тогда $C_j(t) = A_j(t) \cdot B_j(t)$ будет включать множество свободных специалистов, готовых к выполнению еще не начатых работ на j -том ЛА. Если множество $C_j(t)$ имеет отличные от нуля элементы, то к выполнению в момент времени t j -том ВС назначается такая работа i^* , время выполнения которой максимально среди всех работ, для которых $c_{i^*}(t) > 0$: $i^* : t_{i^*} = \max\{t_1, \dots, t_m\} \wedge c_{i^*}(t) > 0$. После назначения работы принимается $a_{i^*}(t) = 0$, а значение элемента $b_{i^*}(t)$ уменьшается на единицу. После этого переходим к $j + 1$ ВС ($j + 1 \leq n$). При $j + 1 > n$ переходим к следующему моменту времени $t + \Delta t$.

Программная реализация предложенного алгоритма показала высокую скорость расчетов рационального варианта, в том числе при большом числе выполняемых работ, при большой численности группы ВС и любой численности специалистов каждого направления. В качестве примера на рис. 1 приведен календарный график выполнения пяти работ на двух ВС при $t_1=1$; $t_2=8$; $t_3=3$; $t_4=4$; $t_5=2$ и $K = \{1,1, 1,1, 1\}$.

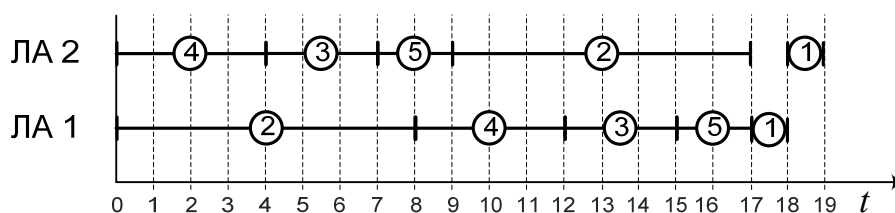


Рис. 1.

Очевидно, что для рассматриваемого примера время подготовки группы составило бы 18 единиц времени. Полученный план при заданных условиях не является оптимальным – все работы будут завершены за 19 единиц времени. Это объясняется тем, что в соответствии с предложенным алгоритмом при $t=7$ на втором ВС началась работа J_5 , которая еще не закончилась в момент освобождения специалиста 2, выполняющего работу наибольшей продолжительности. Предложенный алгоритм хорошо работает и при условии $k_i > 1$. Анализ решений, полученных для различных исходных данных, показал, что рациональное планирование с использованием предложенного алгоритма не намного хуже потенциально возможного оптимального решения, а простота реализации позволяет оперативно рассмотреть различные варианты комплектования бригады специалистами.

В случае нарушения плана выполнения работ возникает необходимость его коррекции, т.е. выполнения дополнительных работ в заданный период времени путем последовательного увеличения количества специалистов группы. Так как решение о планировании очередности выполнения работ является рациональным, то и решение о составе бригады, необходимой для подготовки группы ВС в заданный срок, также будет рациональным.

4. Заключение

Разработан алгоритм определения требуемого состава бригады специалистов и рационального планирования работ, которая обеспечила бы возможность подготовки группы однотипных ВС к применению в течение заданного времени. Показано, что использование рационального алгоритма планирования работ на ВС позволяет избежать громоздких вычислений, связанных с комбинаторной оптимизацией. Большая скорость вычислений позволяет легко решать рассматриваемую задачу, как в детерминированной постановке, так и с учетом случайных факторов. Проведены расчеты, доказывающие применимость предложенного подхода.

Список литературы

1. Яблонский С.Н., Яковышенко О.В., Шумский А.В. Инженерно-авиационное обеспечение боевых действий и боевой подготовки частей авиации Вооруженных Сил: учебник для инженерно-технических ВУЗов ВВС / Под ред. С. Н. Яблонского. М.: Изд. ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, 2009. 300 с.
2. Ефименко А.Ф., Ковалюк Н.П. Эксплуатация боевой авиационной техники: учебник для инженерно-технических ВУЗов ВВС / Под ред. М.В. Кузнецова. М.: Изд. ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1999.
3. Писарев В.Н. Применение теории массового обслуживания в задачах инженерно-авиационного обеспечения. М: Изд. ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1965.
4. Математические модели задач оптимального планирования предполетной подготовки летательных аппаратов. <https://pandia.ru/text/80/171/33237.php>/дата обращения 26.08.2018.
5. Алгоритмы решения задач оптимального планирования предполетной подготовки летательных аппаратов. <https://gigabaza.ru/doc/177593.html/>. Дата обращения 30.08.2018
6. Лазарев А.А., Гафаров Е.Ф. Теория расписаний. Задачи и алгоритмы. М.: МГУ, 2011. 222 с.
7. Портал В.М., Семенов А.И. Теория расписаний. М.: Знание, 1972.– 64 с.
8. Brucker P. Scheduling algorithms. New York: Springer, 2007. 379 p.
9. Johnson S.M. Optimal two-and-three-stage production schedules with set-up times included // Naval Research Logistic. 1954. Vol. 1. P. 61-68.