



УДК 623.486
ГРНТИ 78.25.13

ОПТИМАЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ ОЧЕРЕДНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ СПЕЦИАЛИСТАМИ ИНЖЕНЕРНО- АВИАЦИОННОЙ СЛУЖБЫ

М.И. ЯЦЕЧКО

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

С.В. ИППОЛИТОВ, кандидат технических наук, доцент

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

А.Ю. САВЧЕНКО, кандидат технических наук

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

А.С. БУКИРЁВ

Войсковая часть 46453 (республика Крым, г. Джанкой)

В статье разработан алгоритм оптимального распределения специалистов инженерно-авиационной службы по критерию минимума времени подготовки группы воздушных судов с учетом текущих вероятностей их отказов по каждой специальности. Осуществлена программная реализация алгоритма с использованием объектно-ориентированного языка программирования Delphi. С использованием данного алгоритма реализован технологический график подготовки группы воздушных судов.

Ключевые слова: алгоритм, инженерно-авиационная служба, воздушное судно, оптимизация системы управления, авиационная техника.

OPTIMAL ALGORITHM FOR FORMING THE ORDER OF WORK EXECUTION BY SPECIALISTS OF THE AVIATION ENGINEERING SERVICE

M.I. YATSECHKO

MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)

S.V. IPPOLITOV, Candidate of Technical sciences, Associate Professor

MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)

A.YU. SAVCHENKO, Candidate of Technical sciences

MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)

A.S. BUKIRYOV

Military unit 46453 (Republic of Crimea, Dzhankoy)

The article develops an algorithm for optimal distribution of specialists of the engineering and aviation service according to the criterion of the minimum time for preparing a group of aircraft, taking into account the current probability of their failures for each specialty. The algorithm was implemented using the object-oriented programming language Delphi. Using this algorithm, the technological schedule for preparing a group of aircraft is implemented.

Keywords: algorithm, aviation engineering service, aircraft, optimization of the control system, aviation equipment.

Введение. С учетом нарастающей интенсивности полетов авиации Воздушно-космических сил Российской Федерации, роль инженерно-авиационной службы (ИАС) в процессе подготовки группы воздушных судов (ВС) к полетам возрастает, а в условиях ограниченного количества личного состава особенно. Анализ работ в области применения



автоматизированных систем управления технической эксплуатацией авиационной техники показал, что существующие алгоритмы не учитывают вероятностные отказы по специальностям конкретного воздушного судна, при распределении личного состава в условиях ограниченного их количества для выполнения работ на авиационной технике. С целью минимизации времени подготовки группы воздушных судов при выполнении ими задач, решение которых предусматривает одновременный вылет авиационного подразделения (звена), в условиях ограниченного количества личного состава инженерно-авиационной службы, необходимо разработать алгоритм оптимального распределения специалистов по ВС [1, 2].

Актуальность. В авиационных частях и подразделениях для распределения личного состава ИАС используется матричный или сетевой метод планирования работ, который предусматривает большое количество «ручных» операций и требует больших временных затрат. Для автоматизации и оптимизации распределения личного состава с учетом времени подготовки ВС по каждой специальности и вероятностей отказов ВС разработан алгоритм, который предписывает порядок действий и очередность работ с целью достижения минимума времени подготовки группы ВС имеющимся количеством специалистов. Разработанный алгоритм в условиях ограниченного количества личного состава ИАС позволяет оптимально распределить по ВС специалистов, которые еще не выполняли работы на конкретном ВС, а также учесть вероятности отказов ВС по специальностям при определении очередности [3, 4].

Рассматривается задача подготовки к одновременному вылету четырех ВС, при этом количество специалистов ИАС по каждой из специальностей меньше четырех. Необходимо распределить личный состав по ВС оптимально по критерию минимума времени подготовки группы ВС. Очередность выполнения работ специалистами на ВС зависит от двух основных факторов: времени подготовки ВС по специальности и количества личного состава ИАС. Очевидно, что при количестве специалистов по каждой специальности меньше, чем количество ВС, в первую очередь должны выполнять работу те специалисты, у которых максимальное время подготовки по специальности, т.к. их простой увеличивает общую продолжительность подготовки группы ВС. С другой стороны, приоритет в очередности работ имеют специалисты тех специальностей, которых меньше по численности. Таким образом, приоритет каждой специальности можно определить из соотношения:

$$R_i = \frac{T_{Pi}}{K_i}, \quad (1)$$

где T_{Pi} – время подготовки ВС по i -ой специальности; K_i – количество личного состава по i специальности.

При распределении личного состава ИАС для выполнения работ на ВС нужно учитывать, что парк ВС состоит из авиационной техники, находящейся в различном техническом состоянии и имеющей различную наработку и ресурс. Поэтому необходимо определять очередность выполнения работ на ВС, не только исходя из приоритета специалистов, но и с учетом статистических показателей надежности по всем ВС. Возникает задача формирования очередности выполнения работ специалистами ИАС на основе приоритетов специальностей и вероятностей отказов всех ВС по всем специальностям.

Очевидно, что в первую очередь необходимо выполнять подготовку тех ВС, вероятность отказов которых больше, т.к. в случае проявления данного события будет затрачено дополнительное время на восстановление.

Следовательно, очередность выполнения работ специалистами по конкретным ВС прямопропорциональна приоритету специальностей и вероятности отказа воздушных судов по специальностям:

$$O_i^k = R_i \cdot Q_i^k, \quad (2)$$



где Q_i^k – вероятности отказов всех ВС по всем специальностям; R_i – приоритет каждой специальности.

В качестве критерия оптимизации распределения личного состава ИАС по ВС рассматривается минимум времени подготовки группы ВС. С учетом выбранного критерия приведенного обоснования формирования очередности выполнения работ специалистами на ВС целевая функция оптимального распределения имеет вид:

$$t_n(T_{Pi}, K_i, Q_i^k) \rightarrow \min.$$

Данная целевая функция достигается за счет выполнения следующих условий:

$$R_i = \frac{T_{Pi}}{K_i}; O_i^k = R_i \cdot Q_i^k; O_{i\max}^k \rightarrow O_{i\min}^k.$$

Таким образом, с целью автоматизации процесса оптимального по критерию минимума времени подготовки группы ВС распределения личного состава ИАС в условиях недостаточного количества специалистов для организации параллельной подготовки группы ВС к полету и с учетом технического состояния подготавливаемой авиационной техники, необходимо разработать соответствующий алгоритм.

На основе выше изложенного разработан оптимальный алгоритм для распределения личного состава ИАС по конкретным ВС с целью выполнения работ в условиях ограниченного количества специалистов и с учетом вероятностей отказов всех ВС по всем специальностям.

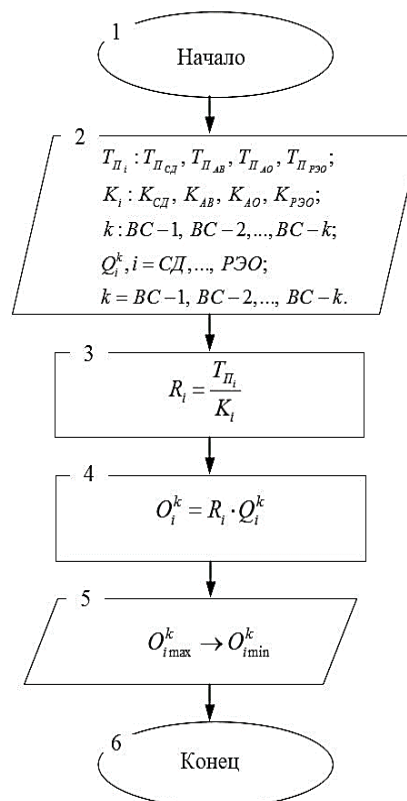


Рисунок 1 – Алгоритм формирования очередности выполнения работ специалистами инженерно-авиационной службы в процессе подготовки группы воздушных судов с учетом вероятностей отказов по каждой специальности



Исходными данными для решения задачи формирования очередности выполнения работ специалистами на ВС являются:

количество специалистов по i -ой специальности – K_i ;

время подготовки ВС по i -ой специальности – T_{Pi} ;

количество ВС, которое нужно подготовить – k ;

вероятности отказов всех ВС по всем специальностям – Q_i^k .

На основе введенных данных необходимо осуществить расчет приоритета специальностей (1) и очередность выполнения работ на конкретных ВС (2). Таким образом, алгоритм будет иметь вид, представленный на рисунке 1.

В качестве пользовательского интерфейса оператора предлагается использовать следующие формы таблиц. В таблицу 1 вносятся данные о количестве личного состава по каждой специальности, а в таблицу 2 – время выполнения подготовки к полету соответствующими специалистами.

Таблица 1 – Количество личного состава по специальностям

Специальность	К (человек)
СД	-
АО	-
РЭО	-
АВ	-

Таблица 2 – Время подготовки воздушных судов каждым специалистом по специальности

Специальность	Время работы T_p (минут)
СД	-
АО	-
РЭО	-
АВ	-

Текущая вероятность отказов всех ВС по всем специальностям должна уточняться после каждого полета, что обеспечит ее актуальность в любой момент времени. Форма для учета данных показателей надежности представлена в виде таблицы 3.

Таблица 3 – Вероятности отказов воздушных судов по каждой специальности

Специальность	k_i			
	ВС 1	ВС 2	ВС 3	ВС 4
$Q_{СД}^k$	-	-	-	-
$Q_{АВ}^k$	-	-	-	-
$Q_{АО}^k$	-	-	-	-
$Q_{РЭО}^k$	-	-	-	-

Предложенный алгоритм может быть использован для ввода исходных данных с учетом особенностей конкретного авиационного подразделения или воинской части.

В результате применения разработанного алгоритма формируется очередность выполнения работ всеми специальностями на конкретных ВС, которая представляется в форме таблицы 4.

Таблица 4 – Очередность специалистов при обслуживании группы воздушных судов с учетом вероятностей отказов по каждой специальности

Приоритет	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Номер ВС	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Специальность	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



При необходимости вывода промежуточного результата – приоритета специальностей (например, когда нет информации по вероятностям отказов), предлагается использовать форму таблицы 5.

Таблица 5 – Приоритет по специальностям личного состава с учетом количества специалистов ИАС

R (приоритет)	K(человек)
R СД	-
R АВ	-
R АО	-
R РЭО	-

Рассмотрим методический пример. Пусть для подготовки четырех ВС привлекается три специалиста по СД, два по АО, один по РЭО и два по АВ. Время подготовки по СД составляет 30 минут, АО – 15 минут, РЭО – 10 минут и АВ – 5 минут. Вероятности отказов ВС по специальностям:

$$\begin{aligned}
 Q_{СД}^1 &= 0,1; Q_{СД}^2 = 0,1; Q_{СД}^3 = 0,2; Q_{СД}^4 = 0,1; \\
 Q_{АО}^1 &= 0,3; Q_{АО}^2 = 0,1; Q_{АО}^3 = 0,2; Q_{АО}^4 = 0,1; \\
 Q_{РЭО}^1 &= 0,2; Q_{РЭО}^2 = 0,1; Q_{РЭО}^3 = 0,3; Q_{РЭО}^4 = 0,2; \\
 Q_{АВ}^1 &= 0,05; Q_{АВ}^2 = 0,1; Q_{АВ}^3 = 0,04; Q_{АВ}^4 = 0,02.
 \end{aligned}$$

Пример заполнения исходных данных представлен в таблицах 6–8. Результат применения формулы (1) по определению приоритета специальностей выводится в виде таблицы 9.

Таблица 6 – Количество личного состава по специальностям

Специальность	K (человек)
Самолеты и двигатели (СД)	3
Авиационное оборудование (АО)	2
Радиоэлектронное оборудование (РЭО)	2
Авиационное вооружение (АВ)	1

Таблица 7 – Время подготовки воздушных судов каждым специалистом по специальности

Специальность	Время работы – Тп (минут)
Время работы (Тп) СД	30
Время работы (Тп) АО	15
Время работы (Тп) РЭО	10
Время работы (Тп) АВ	5

Таблица 8 – Вероятности отказов воздушных судов специальности

Специальность	ki			
	BC1	BC2	BC3	BC 4
$Q_{СД}^k$	0,1	0,1	0,2	0,1
$Q_{АО}^k$	0,3	0,1	0,2	0,1
$Q_{РЭО}^k$	0,2	0,1	0,3	0,2
$Q_{АВ}^k$	0,05	0,1	0,04	0,02

Таблица 9 – Приоритет по специальностям личного состава с учетом количества личного состава ИАС

R (приоритет)	K (человек)
R СД	10
R АО	7,5
R РЭО	10
R АВ	1,67



При необходимости построения аналитических выражений зависимости приоритета специалистов от их количества по каждой специальности, для более детальной оценки сложившейся ситуации по обеспечению подготовок ВС, строятся графики и их аппроксимации (рисунок 2).

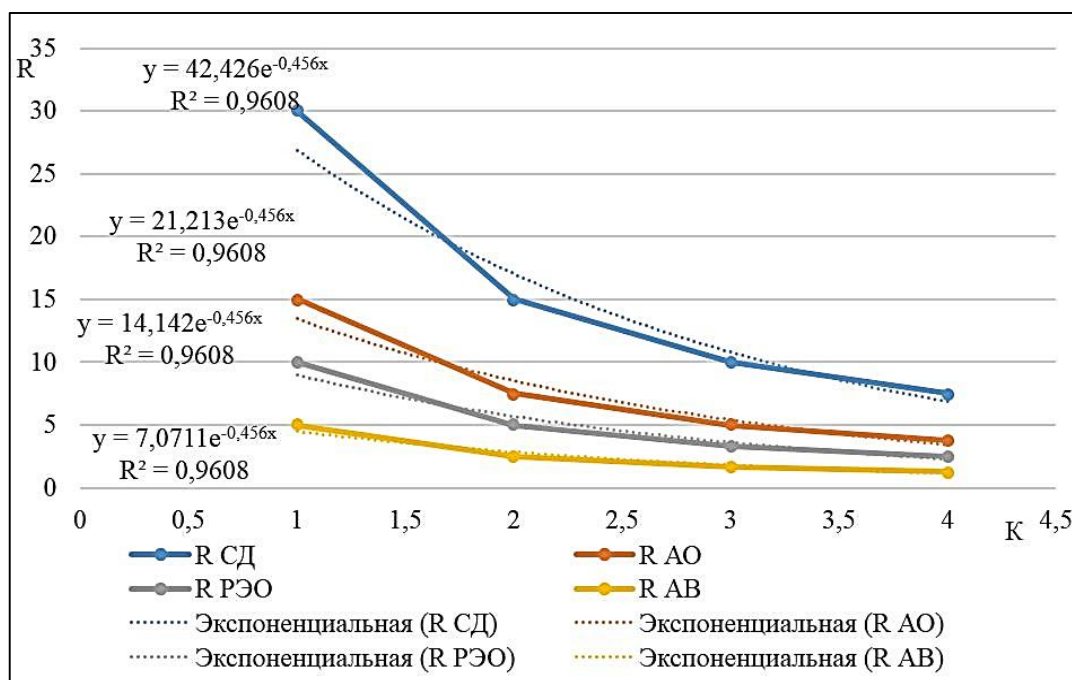


Рисунок 2 – Отображение зависимости приоритета от количества личного состава по специальности

Далее для наглядности и оценки зависимости рейтинга от количества личного состава специалистов ИАС представлен график на рисунке 3.

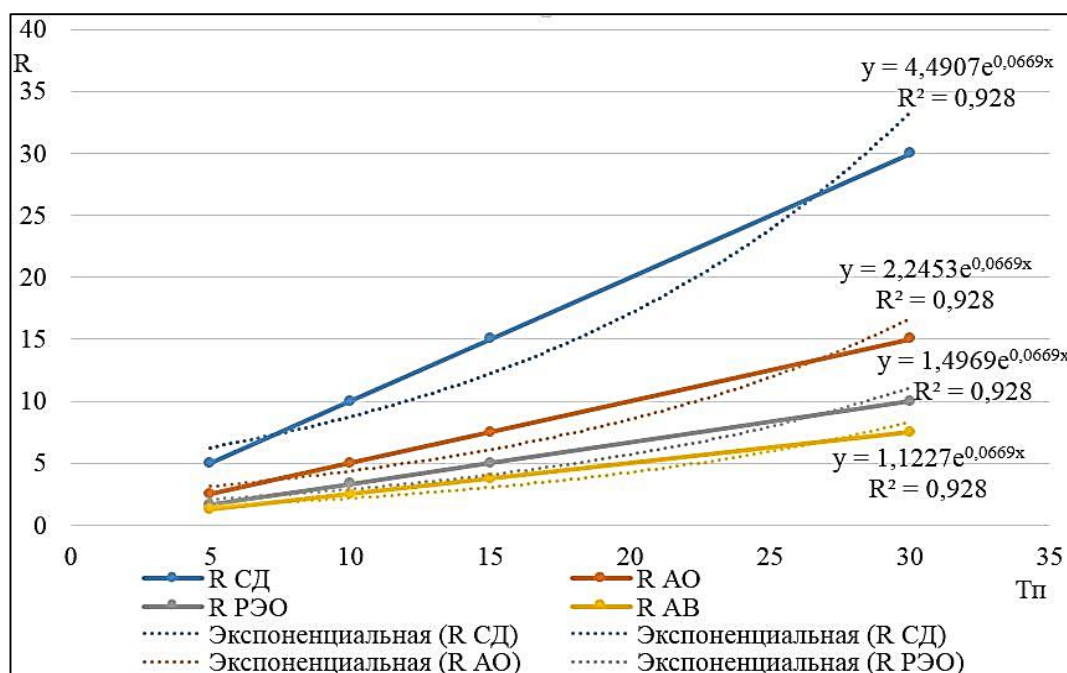


Рисунок 3 – Отображение зависимости приоритета от времени выполнения работ специалистами по каждой из специальности



В результате применения разработанного алгоритма на основе заданных исходных данных сформирована очередность выполнения работ специалистами на конкретных ВС, представленная в форме таблицы 10.

Таблица 10 – Приоритет специалистов с учетом вероятностей отказов всех ВС по каждой специальности

32,5	31,5	31,4	31,3	4,75	4,38	4,33	4,06	4,05	4	4	3,67	1,44	1,33	1,31	1,29
ВС 3	ВС 4	ВС 2	ВС 1	ВС 1	ВС 3	ВС 3	ВС 2	ВС 4	ВС 1	ВС 4	ВС 2	ВС 2	ВС1	ВС 3	ВС 4
СД	СД	СД	СД	АО	АО	РЭО	АО	АО	РЭО	РЭО	РЭО	АВ	АВ	АВ	АВ

На основе полученных результатов выполнения алгоритма оптимального распределения специалистов инженерно-авиационной службы по критерию минимума времени подготовки группы воздушных судов, с учетом текущих вероятностей их отказов по каждой специальности, формируется график подготовки четырех ВС, имеющимися силами ИАС, с учетом времени подготовки по каждой специальности и вероятностей отказов ВС (рисунок 4).

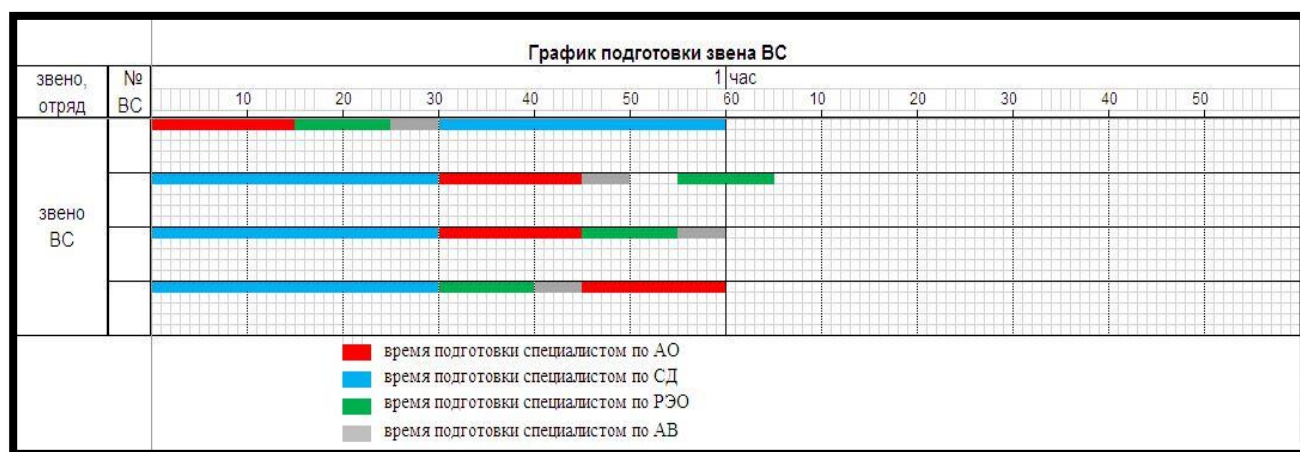


Рисунок 4 – График подготовки группы ВС (звена) в условиях ограниченных сил ИАС

Выводы. С целью минимизации времени подготовки группы воздушных судов при выполнении ими задач, решение которых предусматривает одновременный вылет авиационного подразделения (звена), в условиях ограниченного количества личного состава инженерно-авиационной службы разработан алгоритм, реализующий процедуру оптимального распределения личного состава в процессе выполнения работ на авиационной технике по критерию минимума времени подготовки группы воздушных судов.

Обоснованы процедуры: определения приоритета выполнения работ по специальностям в зависимости от количества соответствующих специалистов и времени выполнения ими подготовок к полету; формирования очередности выполнения работ личным составом по конкретным воздушным судам в зависимости от приоритета специальностей и вероятностей их отказов.

Осуществлена программная реализация алгоритма с использованием объектно-ориентированного языка программирования Delphi.

В результате исследования разработанного алгоритма установлено, что время подготовок группы воздушных судов составляет минимально возможное значение в заданных условиях, при этом очередность выполнения работ сформирована с учетом текущих вероятностей отказов всех воздушных судов по всем специальностям, что обеспечит минимизацию данного критерия в случае отказов авиационной техники.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральные авиационные правила инженерно-авиационного обеспечения государственной авиации. Книга первая. М.: МО РФ, 2004. 252 с.
2. Е.А. Румянцев и др. Инженерно-авиационное обеспечение боевых действий частей авиации Вооруженных сил и эксплуатации авиационного оборудования. М.: 1989. 397 с.
3. Управление организационно-техническими системами. Учебник для иностранных военнослужащих, обучающихся в Военно-воздушной инженерной академии имени профессора Н.Е. Жуковского. В.Я. Головин, А.С. Шаламов, Ю.В. Митрофанов и др. / под ред. В.Я. Головина. М.: Изд. ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2006. 580 с.: илл. 245; библиограф. 55.
4. Кудрявцев Е.М. Microsoft Project. Методы сетевого планирования и управления проектом. М.: ДМК Пресс, 2005. 240 с.

REFERENCES

1. Federal'nye aviacionnye pravila inzhenerno-aviacionnogo obespecheniya gosudarstvennoj aviacii. Kniga pervaya. M.: MO RF, 2004. 252 p.
2. E.A. Romyancev i dr. Inzhenerno-aviacionnoe obespechenie boevykh dejstvij chastej aviacii Vooruzhennyh sil i `ekspluatacii aviacionnogo oborudovaniya. M.: 1989. 397 p.
3. Upravlenie organizacionno-tehnicheskimi sistemami. Uchebnik dlya inostrannyh voennosluzhaschih, obuchayuschihsya v Voенno-vozdushnoj inzhenernoj akademii imeni professora N.E. Zhukovskogo. V.Ya. Golovin, A.S. Shalamov, Yu.V. Mitrofanov i dr. / pod red. V.Ya. Golovina. M.: Izd. VVIA im. prof. N.E. Zhukovskogo, 2006. 580 p.: ill. 245; bibl. 55.
4. Kudryavcev E.M. Microsoft Project. Metody setevogo planirovaniya i upravleniya proektom. M.: DMK Press, 2005. 240 p.

© Яцечко М.И., Ипполитов С.В., Савченко А.Ю., Букирёв А.С., 2020

Яцечко Михаил Иванович, адъюнкт 93 кафедры, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, yatsechko@list.ru.

Ипполитов Сергей Викторович, кандидат технических наук, доцент, начальник 93 кафедры, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, s_ippolitoff@mail.ru.

Савченко Андрей Юрьевич, кандидат технических наук, доцент 93 кафедры, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, savaau83@mail.ru.

Букирёв Александр Сергеевич, инженер группы обслуживания авиационного оборудования, 39 вертолетный полк 4 армии ВВС и ПВО, войсковая часть 46453, Россия, 296100, республика Крым, г. Джанкой, ул. Московская, 238, bukiрев@inbox.ru.