УДК 519.852:623
DOI: 10.17277/voprosy.2017.02.pp.170-175

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЕМ И МОДЕРНИЗАЦИЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА АВИАЦИОННОМ РЕМОНТНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Д. О. Крикунов

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», г. Воронеж, Россия

Рецензент д-р техн. наук, доцент В. П. Ирхин

Ключевые слова: линейное программирование; нечеткие параметры; оптимизация; ремонтное производство; целевая функция.

Аннотация: Рассмотрен вопрос оптимизации процесса ремонта авиационной техники на авиационном ремонтном предприятии. Применена математическая модель, основанная на принципах нечеткой логики. В частности, решена задача нечеткого линейного программирования с нечеткими параметрами ограничений целевой функции.

Понятие сильной и развитой армии государства включает не только внедрение новейших технологий, наличие обученного и всесторонне подготовленного личного состава, умение владеть им современной боевой техникой, наличие этой техники, но и возможность ее своевременного ремонта, восстановления и модернизации. Сильная армия, как в мирное, так и военное время, должна иметь возможность своевременно возвращать неисправленную и поврежденную технику в строй. Особую важность данная задача получает во время боевых действий. Опыт региональных войн и локальных конфликтов показывает, что более 90 % поврежденной техники возвращено в строй путем выполнения ремонта [1].

Крикунов Дмитрий Олегович – адъюнкт кафедры эксплуатации радиотехнических средств (обеспечения полетов), e-mail: slimkri@mail.ru, ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», г. Воронеж, Россия.

Работа различных ремонтных предприятий по ремонту и восстановлению техники раз-личных видов и родов вооруженных сил осуществляется по разработанному производственному графику. Для каждого отдельного типа техники разрабатывается технологический график ремонта. Все операции, прописанные в данном графике (время, отводимое на проведение конкретной операции, количество рабочей силы, затрачиваемые ресурсы и т. д.), выполняются в соответствии с определенными требованиями [2].

Однако на современном этапе, как показывает статистика, большинство ремонтных заводов работают далеко не на полную мощность. Состояние, например, авиационных ремонтных предприятий (**АРП**) в настоящее время таково, что охват авиационной техники ремонтом составляет по самолетам, вертолетам и двигателям 23, 7 и 5 % от потребного соответственно; при этом производственные возможности ремонтных заводов составляют 27 %, а финансирование 22 % [1]. Финансирование играет большую роль, но такие низкие показатели по производству связаны в первую очередь с тем, что технологические графики ремонта не оптимизированы по различным параметрам и подразумевают под собой большие трудозатраты.

Необходимо разработать математическую модель, оптимизирующую работу ремонтного предприятия путем минимизации трудозатрат и различных ресурсов в процессе реализации технологического графика, с учетом накладываемых ограничений.

Непосредственными звеньями производственной структуры АРП являются цеха – наиболее крупные самостоятельные звенья, которые могут иметь технологическую или предметную специализацию. В цехах технологической направленности (**ЦТН**) выполняются однородные технологические процессы и операции, например механические и гальванические. Цеха предметной направленности выполняют неоднородные процессы и операции. К таким относятся следующие цеха: по ремонту планера (**ЦРП**), двигателей (**ЦРД**), авиационного оборудования (**ЦРАО**), электрооборудования (**ЦРЭО**), радиоэлектронного оборудования (**ЦРРО**), авиационного вооружения (**ЦРАВ**) [2].

Рассмотрим линейные модели принятия оптимальных решений для случая, когда ограничения содержат нечеткие параметры. Имеем целевую функцию, описывающую выполнение работ,

$$f_i(x) = \sum_i c_{i,j} x_i \xrightarrow[x]{} \min, \tag{1}$$

где $c_{i,j}$ – управляющие параметры (i – номер операции, j – номер изделия); x_i – контролируемые входные параметры (время выполнения технологической операции). Здесь $f_i(x)$ – целевая функция операций для отдельного цеха на АРП.

Накладываемые на целевую функцию ограничения содержат нечеткие параметры и имеют вид

$$\sum_i \tilde{h}_{i,j} x_i \succ \tilde{d}_j, \tag{2}$$

где $\tilde{h}_{i,j}$ – распределение технологических операций по изделиям (i-я операция в j-м изделии); $\tilde{d}_j$ – полное время выполнения технологических операций в конкретном изделии.

Нечеткость в параметрах в данном случае обусловлена следующим. В течение года, как было сказано выше, ремонт на АРП осуществляется по заранее спланированному производственному графику. Однако на современном этапе, в связи с неспокойной обстановкой на Ближнем Востоке и вовлечении Российской Федерации в Сирийский конфликт, возникает внеплановое поступлении поврежденной техники в ремонт. Когда и с какими повреждениями поступит техника на АРП неизвестно, но это необходимо учитывать, для того чтобы более равномерно использовать ресурсы и получить максимальную загрузку производства. Появляется неопределенность, нечеткость. Ремонт поврежденной техники в этом случае будет осуществляться по состоянию в соответствии с руководящими документами.

Для дальнейших расчетов нечеткие параметры представим нечеткими числами $(L-R)$-типа. В нечетких числах $(L-R)$-типа индексы L и R означают левую и правую границы нечеткого числа. Такие числа являются разновидностью нечетких чисел специального вида. Они задаются по определенным правилам, что необходимо для снижения объема вычислений.

Если положить, что левая часть выражения (2) равна $\tilde{A}$, а правая $\tilde{B}$, то можно определить что «$\tilde{A}$ содержится в $\tilde{B}$», то есть $\tilde{A} \subseteq \tilde{B}$. В такой интерпретации корректная запись неравенства (2) будет иметь вид

$$\sum_i \tilde{h}_{i,j} x_i \subseteq \tilde{d}_j. \quad (3)$$

В соответствии с теорией нечетких множеств вводим дискретные α-уровни [3], значения которых будут соответствовать степени принадлежности элементов x множества X нечеткому множеству A. Что в свою очередь определяется функцией принадлежности $\mu_A(x)$. Формально нечеткое множество A определяется как множество упорядоченных пар или кортежей вида $< x, \mu_A(x) >$, где x является элементом некоторого универсального множества или универсума X, а $\mu_A(x)$ – функция принадлежности, которая ставит в соответствие каждому из элементов $x \in X$ некоторое действительное число из интервала $[0, 1]$, то есть данная функция определяется в форме отображения [4]

$$\mu_A : X \to [0, 1]$$

и задается с помощью не возрастающих на множестве неотрицательных действительных чисел функций действительного переменного $L(x)$ и $R(x)$:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} L\left(\dfrac{a-x}{\alpha}\right), \text{ если } x \le a; \\ R\left(\dfrac{x-a}{\beta}\right), \text{ если } x \ge a, \end{cases}$$

где a – мода; $\alpha > 0$, $\beta > 0$ – левые и правые коэффициенты нечеткости соответственно [2].

Степень принадлежности $\mu_A(x)$ является субъективной мерой того, насколько элемент $x \in X$ соответствует понятию, смысл которого формализуется нечетким множеством A.

Обзор некоторых способов описания нечеткости приведен в работе [5]. Критерии ограничения (3) рассматриваются применительно к каждому уровню α_k (где k – число α-уровней). Для того чтобы это сделать, необходимо расписать выражение (3) в виде системы интервальных ограничений на каждом α_k-уровне. В данном случае из (3) получим

$$\sum_i \left[h_{i,j}^L(\alpha_k); h_{i,j}^R(\alpha_k) \right] x_i \subseteq \left[d_{i,j}^L(\alpha_k), d_{i,j}^R(\alpha_k) \right]. \tag{4}$$

Приведение (4) к системе обычных линейных неравенств осуществляется записью отдельных неравенств с соответствующим отношением для левой и правой границ интервалов:

$$\sum_i h_{i,j}^L(\alpha_k) x_i \geq d_j^L(\alpha_k);$$
$$\sum_i h_{i,j}^R(\alpha_k) x_i \leq d_j^R(\alpha_k).$$

Таким образом, на каждом α_k-уровне формируется обычная задача линейного программирования, решению которой приписывается соответствующее значение функции принадлежности, то есть α-уровня.

Следовательно, теперь ограничения (3) можно представить в следующем виде:

$$\begin{array}{c} \tilde{h}_{i,j} x_i + \tilde{h}_{i+1,j} x_{i+1} + \ldots + \tilde{h}_{n,j} x_n \succ \tilde{d}_j; \\ \tilde{h}_{i,j+1} x_i + \tilde{h}_{i+1,j+1} x_{i+1} + \ldots + \tilde{h}_{n,j+1} x_n \succ \tilde{d}_{j+1}; \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \tilde{h}_{i,m} x_i + \tilde{h}_{i+1,m} x_{i+1} + \ldots + \tilde{h}_{n,m} x_n \succ \tilde{d}_m, \end{array} \tag{5}$$

при $i = 1, 2, ..., n$; $j = 1, 2, ..., m$.

Учитывая вышесказанное, для каждого нечеткого числа $\tilde{h}$ поставим в соответствие сумму [5]

$$\tilde{h} = \frac{\sum_k (h^L(\alpha_k) + h^R(\alpha_k))\alpha_k}{i\sum_k \alpha_k},$$

тоже самое сделаем для $\tilde{d}$:

$$\tilde{d} = \frac{\sum_k (d^L(\alpha_k) + d^R(\alpha_k))\alpha_k}{i\sum_k \alpha_k}.$$

Выполнив данные преобразования, исключили нечеткость в системе (5), поэтому заменим знак «$\succ$» на «≥». Подставив полученные выражения левой и правой части в систему (5), получим ее в следующем виде:

$$\frac{\sum_k \left(h_{i,j}^L(\alpha_k) x_i + h_{i,j}^R(\alpha_k) x_n \right) \alpha_k}{i \sum_k \alpha_k} + \frac{\sum_k \left(h_{i+1,j}^L(\alpha_k) x_i + h_{i+1,j}^R(\alpha_k) x_n \right) \alpha_k}{i+1 \sum_k \alpha_k} + \ldots$$

$$\ldots + \frac{\sum_k \left(h_{n,j}^L(\alpha_k) x_i + h_{n,j}^R(\alpha_k) x_n \right) \alpha_k}{n \sum_k \alpha_k} \geq \frac{\sum_k \left(d_j^L(\alpha_k) x_i + d_j^R(\alpha_k) x_i \right) \alpha_k}{j \sum_k \alpha_k};$$

$$\frac{\sum_k \left(h_{i,j+1}^L(\alpha_k) x_i + h_{i,j+1}^R(\alpha_k) x_n \right) \alpha_k}{i \sum_k \alpha_k} + \frac{\sum_k \left(h_{i+1,j+1}^L(\alpha_k) x_i + h_{i+1,j+1}^R(\alpha_k) x_n \right) \alpha_k}{i+1 \sum_k \alpha_k} + \ldots$$

$$\ldots + \frac{\sum_k \left(h_{n,j+1}^L(\alpha_k) x_i + h_{n,j+1}^R(\alpha_k) x_n \right) \alpha_k}{n \sum_k \alpha_k} \geq \frac{\sum_k \left(d_{j+1}^L(\alpha_k) x_i + d_{j+1}^R(\alpha_k) x_i \right) \alpha_k}{j+1 \sum_k \alpha_k};$$

....

$$\frac{\sum_k \left(h_{i,m}^L(\alpha_k) x_i + h_{i,m}^R(\alpha_k) x_n \right) \alpha_k}{i \sum_k \alpha_k} + \frac{\sum_k \left(h_{i+1,m}^L(\alpha_k) x_i + h_{i+1,m}^R(\alpha_k) x_n \right) \alpha_k}{i+1 \sum_k \alpha_k} + \ldots$$

$$\ldots + \frac{\sum_k \left(h_{n,m}^L(\alpha_k) x_i + h_{n,m}^R(\alpha_k) x_n \right) \alpha_k}{n \sum_k \alpha_k} \geq \frac{\sum_k \left(d_m^L(\alpha_k) x_i + d_m^R(\alpha_k) x_i \right) \alpha_k}{m \sum_k \alpha_k},$$

где $h_{i,j}$ – нечеткое распределение технологических операций в границах L и R по изделиям (i-я операция в j-м изделии) при $i = 1, 2, \ldots, n$, $j = 1, 2, \ldots, m$; d_j – полное время выполнения технологических операций в конкретном изделии в границах L и R.

Все величины положительны: $h_{ij} \geq 0$, $d_j \geq 0$, $x_i \geq 0$.

Сходимость данной системы неравенств позволяет оптимально распределить временные интервалы осуществления технологических операций с учетом уже выполненных работ по всем изделиям, включая спонтанно поступившие воздушные суда с боевыми повреждениями. Реализовать решение полученной в результате моделирования системы возможно, например, в программном продукте MATLAB (Fuzzy Logic Toolbox), позволяющем производить подобные расчеты.

Таким образом, получаем систему, дающую возможность провести расчеты по оптимизации процесса ремонта и восстановления авиационной техники. При этом учитываются и выполняются все ограничения, связанные с неопределенностью повреждений техники, поступающей на АРП. Используемый метод позволяет получать четкие оптимальные решения при нечетких ограничениях, накладываемых на целевую функцию.

Список литературы

1. Организация инженерно-авиационного обеспечения : учеб. пособие / В. А. Воронцев [и др.]. – Воронеж : ВУНЦ ВВС «ВВА», 2014. – 298 с.
2. Васецкий, В. В. Автоматизация диспетчерского управления авиационного ремонтного предприятия / В. В. Васецкий, В. П. Ирхин ; Воен. авиац. инженер. ун-т. – Воронеж : Изд-во ВАИУ, 2011. – 206 с.
3. Яхьяева, Г. Э. Нечеткие множества и нейронные сети : учеб. пособие / Г. Э. Яхьяева. – М. : Интернет-Университет Информ. Технологий : БИНОМ. Лаб. знаний, 2006. – 316 с.
4. Леоненков, А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. В. Леоненков. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
5. Артемов, М. А. Исследование задачи линейного программирования с нечеткими параметрами / М. А. Артемов, М. Г. Матвеев, И. Ю. Стародубцев // Вестн. Воронеж. гос. техн. университета. – 2011. – Т. 7, № 12-1. – С. 39 – 42.

References

1. Voroncev V.A., Ivanchura V.I., Moshkin V.V., Cyganov Ju.T. *Organizatsiya inzhenerno-aviatsionnogo obespecheniya* [Organization of aviation engineering software], Voronezh: VUNC VVS "VVA", 2014, 298 p. (In Russ.)
2. Vaseckij V.V., Irhin V.P. *Avtomatizatsiya dispetcherskogo upravleniya aviatsionnogo remontnogo predpriyatiya* [Automation Supervisory Control Aircraft repair facility], Voronezh: Izdatel'stvo VAIU, 2011, 206 p. (In Russ.)
3. Yakh'yaeva G.E. *Nechetkie mnozhestva i neironnye seti* [Fuzzy sets and neural networks], Moscow: BINOM. Laboratoriya znanii, Internet Universitet Informatsionnykh Tekhnologii, 2006, 316 p. (In Russ.)
4. Leonenkov A.V. *Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH* [Fuzzy modeling in the environment MATLAB and fuzzyTECH], St. Petersburg: BHV-Peterburg, 2005, 736 p. (In Russ.)
5. Artemov M.A., Matveev M.G., Starodubtsev I.Y. [Research Problem Linear Programming with the Fuzzy Parameters], *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [The Bulletin of Voronezh State Technical University], 2011, vol. 7, no. 12-1, pp. 39-42. (In Russ., abstract in Eng.)

The Dynamic Model of Control over the Repair and Modernization of Aircraft for Military Use at an Aircraft Repair Enterprise

D. O. Krikunov

Military Educational-Research Centre of Air Force "Air Force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin", Voronezh, Russia

Keywords: fuzzy parameters; linear programming; manufacture repair; optimization; target function.

Abstract: The article discusses optimization of aviation equipment repair in the aviation repair plant. The mathematical model based on the principles of fuzzy logic was applied. In particular, the author solves the problem of fuzzy linear programming with fuzzy parameters of the target function constraints.
