

УДК 697.43 + 697.94

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ПРОГРАММЫ РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМАХ

¹Росляков Е.М., ²Зверев А.В., ¹Некрасов И.Н.

¹ФГКВОУ ВО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского»,
Санкт-Петербург, e-mail: vka@mil.ru;

²Филиал АО «Корпорация «СПУ-ЦКБ ТМ» «Специальное конструкторское бюро «Титан»»,
Санкт-Петербург

В статье исследуется вопрос формирования оптимальной программы ремонтно-восстановительных мероприятий на основе построения имитационной модели процедуры планирования ремонта инженерных систем. Сформулирована задача выбора оптимальной программы ремонта, выполнение которой обеспечит требуемое техническое состояние оборудования инженерных систем при соблюдении условия по ограничению объема выделяемых ресурсов. Предложен показатель технического состояния, отражающий опасность потенциальных отказов – величина возможного ущерба. Данный показатель построен с использованием метода анализа видов, последствий и критичности отказов. Выполнено построение имитационной модели, отражающей содержание и последовательность процедур формирования программы ремонтно-восстановительных мероприятий и позволяющей осуществить оптимизацию планирования ремонта. Представлен алгоритм выбора рационального управленческого решения с использованием предложенной модели. Применение предложенной модели позволяет повысить эффективность технической эксплуатации инженерных систем

Ключевые слова: программа ремонтно-восстановительных мероприятий, имитационная модель, величина потенциального ущерба, анализ видов, последствий и критичности отказов, инженерные системы

THE MODEL OF THE FORMATION PROCESS OF THE PROGRAM OF THE REPAIR AND RECOVERY WORKS

¹Roslyakov E.M., ²Zverev A.V., ¹Nekrasov I.N.

¹Mozhaisky Military Space Academy, Sankt-Petersburg, e-mail: vka@mil.ru;

²Branch of the JSC «Corporation «SPU-CCB-TM»
«The special constructing bureau «Titan»», Saint-Petersburg

In the article the question of forming an optimal programme of repair and remediation on the basis of simulation procedures for planning repair of engineering systems. Formulated the problem of choosing the optimal repair program, which will provide the required technical condition of the equipment of engineering systems subject to the conditions of limitation of resources. Proposed indicator of the technical condition, reflecting the risk of potential failures of the magnitude of possible damage. This indicator is constructed using the method of analysis of types, consequences and criticality of failures. Construction of the simulation model reflecting the content and the sequence of formation of the program of repair and restoration activities and to allow for optimization of planning repair. The algorithm of selection of rational management decisions using the proposed model. The application of this model improves the efficiency of technical operation of engineering systems.

Keywords: the program of the repair and recovery activities, the simulation model, the amount of the possible damage, the analysis of types, consequences and criticality of the failures, the engineering systems

Управление техническим состоянием в процессе эксплуатации изделий предполагает проведение ремонтно-восстановительных мероприятий (РВМ). В настоящее время получила широкое распространение система РВМ по фактическому состоянию [3]. Применение данной системы требует наличия достаточной информации о фактическом состоянии объекта, а также методического аппарата обоснования видов и объемов ремонтно-восстановительных мероприятий, выполнение которых обеспечит достижение требуемого технического состояния при наличии ограничений на выделяемые для проведения РВМ ресурсы. Решение задачи планирования РВМ пред-

полагается на основе разработки имитационной модели, отражающей процессы и параметры формирования программы РВМ.

Цель исследования заключается в построении имитационной модели формирования рациональной программы РВМ как основы методики планирования мероприятий по управлению техническим состоянием изделия.

Объект исследования. В качестве объекта исследования в настоящей статье рассматриваются инженерные системы (ИС), предназначенные для обеспечения потребителей теплом, водой [1].

Состояние эксплуатируемых инженерных систем в настоящее время достигло

критического уровня и требует принятия организационно-технических мер, направленных на повышение эффективности планирования и проведения ремонтно-восстановительных мероприятий, в частности реконструкции, модернизации и различных видов ремонтов.

Планирование мероприятий по реконструкции и ремонту ИС предполагает формирование программы ремонтно-восстановительных мероприятий (РВМ) и разработку конкретных организационно-распорядительных документов.

Исходные предположения и допущения метода исследования

В общем виде диалектическое противоречие данного исследования состоит в том, что, с одной стороны, требуется обеспечить требуемый уровень эффективности функционирования инженерных систем зданий и сооружений, а с другой стороны, его необходимо достичь в условиях ограниченного финансирования и ограничений по срокам вывода объектов из эксплуатации.

При разрешении проблемы оптимальной организации комплекса РВМ возникают задачи обоснования номенклатуры наиболее критичного с точки зрения последствия потенциальных отказов оборудования ИС, определения видов и объемов мероприятий по восстановлению при наличии ограничений на выделяемые ресурсы.

Выполненный анализ методов оценки опасности отказов позволил выделить метод *FMESA*-анализа, известного у нас в стране как метод анализа видов, последствий и критичности отказов (АВПКО) [4, 5, 6].

Метод АВПКО отличается тем, что позволяет формировать массивы исходных данных для планирования технического обслуживания и ремонтов объектов, существенно отличающихся по конструктивному исполнению, продолжительности эксплуатации и физическим принципам функционирования.

Процедуры планирования РВМ представляется возможным представить с помощью имитационной модели, позволяющей отразить отдельные процессы формирования программы РВМ и связи между ними [8].

Разработка модели

Разработка модели планирования ремонтно-восстановительных мероприятий строится на основе следующих предпосылок.

Система A включает подсистемы $\{a_i\}$, $i = \overline{1, N}$, каждая из которых состоит из некоторого числа агрегатов $a_i = \{a_{ij}\}$, $j = \overline{1, M}$. Состояние подсистемы и агрегата харак-

теризуется показателем возможного ущерба U_i и U_{ij} соответственно, который может быть нанесен в случае отказа системы или агрегата. Значения U_{ij} определяются на основе результатов экспертного опроса. Значения ущерба подсистемы U_i определяется в соответствии с выражением

$$U_i = \sum_{j=1}^M U_{ij}. \quad (1)$$

Выполнение комплекса ремонтно-восстановительных мероприятий на системе приводит к снижению величины возможного ущерба со стороны тех элементов инженерной системы, которые подвергнуты РВМ. Для отдельного агрегата ИС снижение ущерба можно представить в виде выражения

$$Z_{ij} = U_{ij}^{(-)} - U_{ij}^{(+)}, \quad (2)$$

Содержание РВМ характеризуется, во-первых, перечнем объектов, подвергаемых РВМ; во-вторых, v -м видом ремонтно-восстановительных мероприятий, которые отражаются матрицей δ_{ij}^v ; в-третьих, объемом мероприятий W_{ij}^v , соответствующих видов воздействий v .

Совокупность элементарных решений δ_{ij}^v образует матрицу ξ -го варианта управленческого решения (УР)

$$\Delta_{\xi} = \left| \delta_{ij}^v \right|, \quad i = \overline{1, N}; \\ j = \overline{1, M}; \quad v = \overline{1, K}. \quad (3)$$

Для системы A формируется совокупность W_{ξ} , соответствующая ξ -му варианту управленческого решения, элементами которой являются объемы расходования различных видов ресурсов для максимально полного устранения опасности ущерба W_{ij}^v :

$$W_{\xi} = \left| W_{ij}^v \right|, \quad i = \overline{1, N}; \quad j = \overline{1, M}; \quad v = \overline{1, K}. \quad (4)$$

Основанием для формирования матрицы (4) служат сметы на выполнение РВМ.

Задача в формализованном виде представляется следующим образом.

Необходимо найти такое управленческое решение Δ_{ξ} , чтобы

$$\Xi = Z/C \rightarrow \max, \quad (5)$$

где Z – степень снижения возможного ущерба после проведения РВМ, в соответствии с выбранным УР Δ_{ξ} , при условии $Z > Z_{\min}$; C – стоимость ресурсов, причем выделяемый объем ресурсов ограничен, т.е. $C \leq C^{\text{пол}}$.

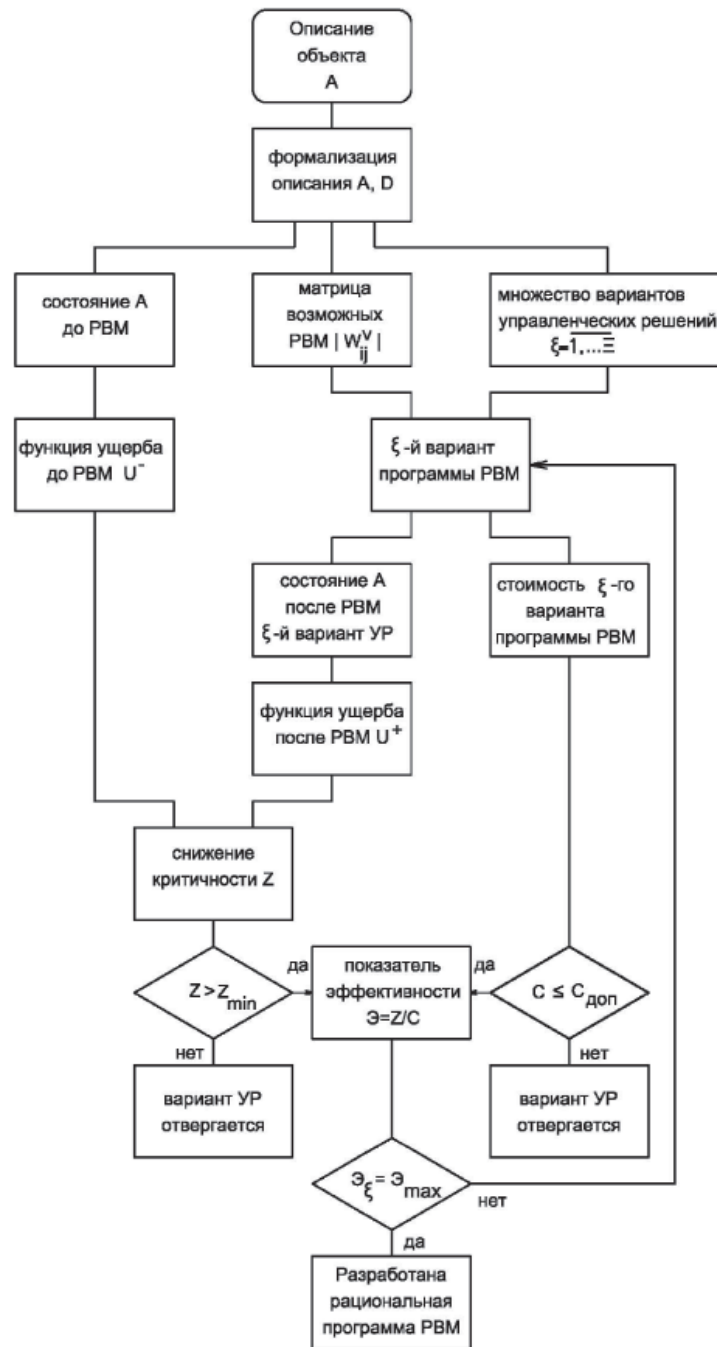


Рис. 1. Модель формирования программы РВМ

Значения показателей определяются с помощью следующих выражений

$$\begin{cases} Z = \sum_{i=1}^N Z_i = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M Z_{ij}; \\ Z_{ij} = U_{ij}^{(-)} \cdot \delta_{ij}^v; \\ C = \sum_{j=1}^M \overline{S_{j\mu}} \cdot w_{ij} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \overline{S_{ij\mu}} \cdot w_{ij}, \end{cases} \quad (6)$$

где $s_{ij\mu}$ – стоимость единицы μ -го вида ресурса при проведении РВМ на j -м агрегате i -й подсистемы.

Модель выбора рациональной программы РПМ, отражающая состав и взаимосвязь процедур, представлена на рис. 1.

Снижение критичности дефекта после выполнения управленческого воздействия δ_v следует определять по формуле

$$Z\left(\frac{b_k^l d_\mu}{\delta_v}\right) = U(b_k^l d_\mu) \cdot \delta_v, \quad (7)$$

где b_k^l – агрегат k -го класса l -го типа; d_μ – дефект μ -го вида агрегата данного класса и типа.

Для определения эффективности решения выполняется оценка стоимости проведения РВМ. Для этого предлагается воспользоваться ресурсным методом оценки прямых затрат $C_{пз}$ на проведение РВМ [7]:

$$C_{пз} = C_{103п} \cdot T_p + \sum_{j=1}^m C_{MJ} \cdot V_{MJ} + \sum_{i=1}^n C_{эi} \cdot T_{эi}, \quad (8)$$

где $C_{103п}$ – сметная стоимость одного человеко-часа трудозатрат; T_p – трудозатраты в человеко-часах; C_{MJ} – сметная стоимость строительного материала; V_{MJ} – сметный объем строительного материала; m – количество видов применяемых строительных материалов; $C_{эi}$ – стоимость машино-часа строительной машины; $T_{эi}$ – время эксплуатации строительной машины; n – количество машин, участвующих в строительстве.

Эффективность проводимых мероприятий оценивается *показателем* (5).

Процедура выбора рационального управленческого решения с использованием

предложенной модели осуществляется в соответствии с алгоритмом (рис. 2).

На основании алгоритма выбора рационального управленческого решения формируется программа РВМ и конкретные организационно-технические документы.

Результаты исследования и их обсуждение

Принятый в качестве метода оценки технического оборудования инженерных систем метод АВПКО позволяет выявить наиболее критичные с точки зрения возможного ущерба потенциальных отказов агрегатов и выполнить их ранжирование по критерию критичности. Введенный показатель величины возможного ущерба позволяет оценить результативность комплекса РВМ, планируемых к проведению на инженерных системах. Предложенная имитационная модель отражает процессы формирования исходных данных для планирования РВМ, получения значений величины ущерба, стоимости проведения варианта программы РВМ, оценки эффективности варианта и процедуры выбора оптимальной программы по заданным критериям.

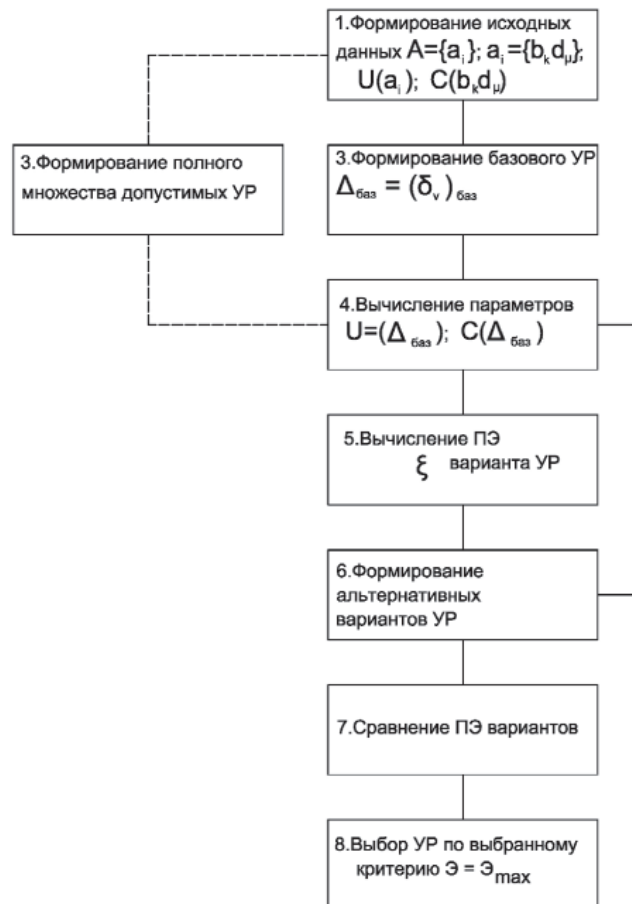


Рис. 2. Алгоритм выбора рационального управленческого решения

Выводы

Инженерные системы зданий и сооружений предназначены для обеспечения нормальных условий функционирования технологического оборудования и жизнедеятельности персонала. В настоящее время состояние инженерных систем в стране оценивается как критическое. Их ресурс выработан на 60–80 %. Требуется проведение масштабных ремонтно-восстановительных мероприятий, причем в условиях жестких ограничений на выделяемые ресурсы.

Предложен подход и инструменты, позволяющие осуществить обоснованный выбор программ ремонтно-восстановительных мероприятий на инженерных системах, учитывая их особенности.

Применение предложенной модели обеспечивает повышение эффективности технической эксплуатации инженерных систем.

Список литературы

1. Анализ видов, последствий и критичности отказов: методические материалы. – М.: АНО НИЦ CALS-технологий, 2010. – 21 с.
2. Годлевский В.Е. Применение метода анализа видов, причин и последствий потенциальных несоответствий (FMEA) на различных этапах жизненного цикла автомобильной продукции / В.Е. Годлевский [и др.] / под ред. В.Я. Кокоткова. – Самара: Г П «Перспектива, 2002. – 160 с.
3. ГОСТ 27.310-95. Межгосударственный стандарт. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения. – Минск: Международный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – 13 с.

4. Козин П.А. Экономика специальных технических систем военно-строительных комплексов. – МОРФ, 2001. – 110 с.

5. Павловский Ю.Н. Имитационное моделирование: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Ю.Н. Павловский, Н.В. Белотелов, Ю.И. Бродский. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 236 с.

6. Прохорович В.Е. Прогнозирование состояния сложных технических комплексов. – СПб.: Наука, 1999. – 158 с.

7. Росляков Е.М. Специальные технические системы. – МОРФ, 2003. – 377 с.

8. Теория и практика эксплуатации объектов космической инфраструктуры. Т. 1. Объекты космической инфраструктуры. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 400 с.

References

1. Analiz vidov, posledstvij i kritichnosti otkazov. Metodicheskie materialy. M.: ANO NIC CALS-tehnologij, 2010. 21 p.
2. Godlevskij V.E. Primenenie metoda analiza vidov, pricin i posledstvij po-tencialnyh nesootvetstvij (FMEA) na razlichnyh jetapah zhiznennogo cikla avtomobilnoj produkcii / Godlevskij V.E. [i dr.] / Pod redakciej V.Ja. Kokotkova. Samara: G P «Perspektiva, 2002. 160 p.
3. GOST 27.310 95. Mezhgosudarstvennyj standart. Na-dezhnost v tehnikе. Analiz vidov, posledstvij i kritichnosti otkazov. Osnovnye polozhenija. Minsk: Mezhdunarodnyj sovet po standartizacii, metrologii i sertifikacii. 13 p.
4. Kozin P.A. Jekonomika specialnyh tehnicheskikh sistem voenno-stroitelnyh kompleksov. MO RF, 2001. 110 p.
5. Pavlovskij Ju.N. Imitacionnoe modelirovanie: ucheb. posobie dlja stud. Vyssh. Ucheb. Zavedenij / Ju.N. Pavlovskij, N.V. Belotelov, Ju.I. Brodskij. M.: Izdatel'skij centr «Akademija», 2008. 236 p.
6. Prohorovich V.E. Prognozirovanie sostojanija slozhnyh tehnicheskikh kompleksov. SPb.: Nauka, 1999. 158 p.
7. Rosljakov E.M. Specialnye tehnicheskie sistemy. MO RF, 2003. 377 p.
8. Teorija i praktika jekspluatacii obektov kosmicheskoy infrastruktury. Tom 1. Obekty kosmicheskoy infrastruktury. SPb.: BHV-Peterburg, 2006. 400 p.