

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УЧЕТА И ОПТИМИЗАЦИИ РЕМОНТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ: ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ РЕМОНТА

Саламатина П.А., Мазурмович О.Н.

*Самарский национальный исследовательский
университет имени академика С.П. Королева,
Российская Федерация, г. Самара*

Аннотация. В работе представлен алгоритм оптимизации процесса обслуживания камер, направленный на сокращение временных затрат специалистов.

Предложен метод автоматического формирования плана ремонтных работ на основе поступающих клиентских заявок. Ключевая особенность решения – расчет оптимального количества камер для обслуживания путем нахождения минимального значения среди четырех показателей: максимальной производственной мощности, остатка бюджета, количества свободных человеко-часов и объема доступных запчастей в период времени t .

Описана логика работы системы, включая механизм расстановки приоритетов и формирования очередности ремонта. Внедрение алгоритма позволяет минимизировать ручной труд при планировании, сократить время обработки заявок и повысить общую эффективность ремонтных процессов.

Результаты исследования могут быть применены на предприятиях, занимающихся техническим обслуживанием и ремонтом оборудования, для автоматизации планирования и рационального использования ресурсов.

Ключевые слова: автоматизация, планирование работ, обслуживание камер, очередность ремонта, минимизация, распределение нагрузки.

Введение

Рассматривается предприятие, на которое поступает поток неисправного оборудования [1]. В условиях ограниченных ресурсов и сжатых сроков выполнения заказов особую актуальность приобретает задача оптимизации [2] очередности ремонтных работ. Для ее решения в рамках разрабатываемой модели системы целесообразно предусмотреть механизм, позволяющий системе самостоятельно формировать

очередность ремонта оборудования [3] – с учетом таких параметров, как срочность, сложность работ, доступность запчастей и загруженность специалистов. Это обеспечит более эффективное планирование [4] и соблюдение сроков исполнения заказов [5].

Определение приоритета ремонта

Приоритет $P_i(t)$ вычисляется автоматически [6] в каждый момент времени t :

$$P_i(t) = \frac{A_i(t)}{B_i(t)},$$

где $A_i(t)$ – факторы, повышающие приоритет; $B_i(t)$ – факторы, понижающие приоритет.

Факторы повышения приоритета [7] зависят от следующих показателей:

$$A_i(t) = \frac{v_i}{10} \cdot \Gamma_i(t) \cdot [1 + \Upsilon_i(t) + \Phi_i(t)] - \text{факторы повышения приоритета,}$$

где

$\frac{v_i}{10}$ – нормализованная критичность камеры; $\Gamma_i(t)$ – гарантийный множитель; $\Upsilon_i(t)$ – фактор срочности; $\Phi_i(t)$ – фактор риска простоя.

Гарантийный множитель $\Gamma_i(t)$ вычисляет гарантийный срок камеры следующим образом:

$$\Gamma_i(t) = \begin{cases} 1 + \exp\left(-\frac{d_i^{\text{гарант}}(t)}{7}\right), & \text{если } d_i^{\text{гарант}}(t) \leq 30 \\ 1, & \text{если } d_i^{\text{гарант}}(t) > 30 \\ 0, & \text{если гарантия истекла} \end{cases},$$

где $d_i^{\text{гарант}}(t)$ – количество дней до окончания гарантии: $d_i^{\text{гарант}}(t) = (t_i^{\text{уст}} + g_i)$.

Фактор срочности $\Upsilon_i(t)$ показывает, насколько быстро камера должна быть отремонтирована:

$$\gamma_i(t) = \frac{1}{1 + \exp\left(-\alpha \cdot \left(\frac{d_i - t}{\tau_i^{\text{норм}}} - \beta\right)\right)},$$

где $(d_i - t)$ – оставшееся время до желаемого срока исполнения; $\tau_i^{\text{норм}}$ — нормативное время ремонта (возьмем $\tau_i^{\text{норм}} = 24$); α, β — параметры сигмоиды (возьмем $\alpha = 2, \beta = 1$).

$\Phi_i(t)$ – фактор риска простоя [7] повышает свое значение, если камеру не берут в работу или истекает срок выполнения работ:

$$\Phi_i(t) = \min\left(1, \frac{t - a_i}{0.7 \cdot \tau_i^{\text{макс}}}\right),$$

где $(t - a_i)$ — уже прошедшее время ожидания; $\tau_i^{\text{макс}}$ — максимально допустимое время простоя.

Фактор снижения приоритета $B_i(t)$ зависит от наличия запчастей [8], от длительности и стоимости ремонта [9]:

$$B_i(t) = [1 + \sum_{p \in P} \max(0, 1 - \frac{q_{pt}}{z_{ip}})] \cdot \frac{\sum_{m \in m_i} t_{im}^{\text{рем}}}{8} \cdot \Lambda_i(t),$$

где $\sum_{p \in P} \max(0, 1 - \frac{q_{pt}}{z_{ip}})$ – дефицит запчастей [10]; q_{pt} – количество запчастей типа p на складе в период t ; z_{ip} – количество запчастей типа p , необходимых для ремонта неисправности камеры i ; $\frac{\sum_{m \in m_i} t_{im}^{\text{рем}}}{8}$ – длительность ремонта (нормализовано к рабочему дню [9]); $\Lambda_i(t)$ – стоимостной множитель:

$$\Lambda_i(t) = 1 + (1 - \gamma_i(t)) \cdot \frac{c_i^{\text{рем}}}{\bar{c}^{\text{рем}}},$$

где $\gamma_i(t) = \mathbb{1}_{t \leq t_i^{\text{уст}} + g_i}$ – индикатор гарантии; $c_i^{\text{рем}}$ – стоимость ремонта камеры i ; $\bar{c}^{\text{рем}}$ – средняя стоимость всех ремонтов.

Приоритет $P_i(t)$ для некоторой камеры i будет снижен, если факторы $B_i(t)$ возрастут [7].

Таким образом, система, согласно вычисленным приоритетам камер, составит очередь на ремонт, и специалист в отделе ремонта последовательно приступит к обслуживанию [11]: сначала выполнит ремонт первой камеры в очереди, после приступит ко второй, при условии отсутствия новых заявок с более высоким приоритетом.

Определение оптимального количества камер для обслуживания

Модель динамически [12] вычисляет N_t^* – количество камер для ремонта в период t :

$$N_t^* = \min\{N^{\max}, \frac{B_t^{\text{остаток}}}{\overline{c^{\text{рем}}}}, \frac{R_t^{\text{доступ}}}{\overline{r^{\text{треб}}}}, \frac{\sum_{p \in P} q_{pt}}{\overline{z^{\text{треб}}}}\},$$

где $N^{\max} = \text{const}$ – максимальная производственная мощность (максимальное количество камер, которые можно отремонтировать одновременно, определяется количеством рабочих мест, стендов, оборудования); $\frac{B_t^{\text{остаток}}}{\overline{c^{\text{рем}}}}$ – бюджетное ограничение; $B_t^{\text{остаток}} = B^{\text{общ}} - \sum_{\tau=1}^{t-1} \sum_{i \in S_\tau} c_i^{\text{рем}}$ – остаток бюджета; $\overline{c^{\text{рем}}} = \frac{1}{|I_t|} \sum_{i \in I_t} c_i^{\text{рем}}$ – средняя стоимость ремонта; $\frac{R_t^{\text{доступ}}}{\overline{r^{\text{треб}}}}$ – ограничение по персоналу; $R_t^{\text{доступ}} = \sum_{w \in W} R_w^t$ – общее количество доступных человеко-часов; $\overline{r^{\text{треб}}} = \frac{1}{|I_t|} \sum_{i \in I_t} \sum_{m \in m_i} t_{im}^{\text{рем}}$ – среднее время ремонта; $\frac{\sum_{p \in P} q_{pt}}{\overline{z^{\text{треб}}}}$ – ограничение по запчастям; $\overline{z^{\text{треб}}} = \frac{1}{|I_t|} \sum_{i \in I_t} \sum_{p \in P} z_{ip}$ – среднее количество требуемых запчастей.

Оптимальное количество камер для обслуживания [13] определяется путем нахождения минимального значения среди четырех показателей: максимальной производственной мощности, остаток бюджета, количества свободных человеко-часов, объема доступных запчастей для ремонта в рассматриваемый период времени t .

Такой подход позволяет учесть все основные ресурсные ограничения и избежать перегрузки по любому из критических параметров [14].

Искомое количество камер на ремонт N_t^* гарантированно не превысит возможности предприятия по трудозатратам, финансированию, материально-техническому обеспечению и производственной мощности, что обеспечит грамотное планирование ремонтных работ.

Описание алгоритма формирования очереди

Опишем шаги выполнения алгоритма формирования очереди ремонта камер в некоторый период t :

- 1) получить список камер I_t , поступивших на ремонт;
- 2) измерить q_{pt} , R_w^t , $B_t^{\text{остаток}}$;
- 3) вычислить $P_i(t)$ для каждой камеры в очереди $i \in I_t$;
- 4) вычислить N_t^* по формуле (7.1);
- 5) отсортировать камеры I_t по убыванию приоритета $P_i(t)$;
- 6) выбрать первые N_t^* камер из отсортированного списка: $S_t = \{i_1, i_2, \dots, i_{N_t^*}\}$;
- 7) проверить ограничения [11] для каждой камеры из отсортированного списка $i \in S_t$:

$$\begin{cases} c_i^{\text{рем}} \leq B_t^{\text{остаток}} \\ \sum_m t_{im}^{\text{рем}} \leq R_t^{\text{доступ}}; \\ \forall p: z_{ip} \leq q_{pt} \end{cases}$$

- 8) Установить $x_{it} = 1$ для $i \in S_t$;
- 9) Обновить ресурсы: $B_{t+1}^{\text{остаток}}$, $q_{p,t+1}$.

Таким образом, внедрение данного алгоритма в систему учета на предприятии позволит существенно сократить время [15], которое специалисты затрачивают на прием клиентских заявок и формирование плана ремонтных работ для камер. После запуска системы сотрудник будет получать готовый план автоматически, без необходимости ручного составления.

Список литературы

1. Ерохина Е.В., Пантелеева М.В. Система технического обслуживания и ремонта оборудования на промышленном предприятии: проблемы и особенности // Теоретические аспекты развития экономики. 2025. № 4 (8). С. 10–17. DOI: 10.18572/3034-2341-2025-4-8-10-17.
2. Гераськин, М. И. Оптимизация кредитного портфеля банка с учетом рыночного риска на основе метода множителей Лагранжа / М. И. Гераськин, М. В. Иванова // Управление большими системами: сборник трудов. – 2024. – № 110. – С. 211-234. – DOI 10.25728/ubs.2024.110.8. – EDN CRCUAY.
3. Капулина М.И. Современные методы технического обслуживания и ремонта оборудования // Вестник магистратуры. 2025. № 4–1 (163). С. 10–11.
4. Самуйлов Е.Г., Половникова Н.А. Повышение эффективности деятельности предприятия путем внедрения ERP-систем // Экономика и бизнес: теория и практика. 2025. № 12 (130). С. 371–375. DOI: 10.24412/2411-0450-2025-12-371-375.
5. Насонов М.А. Повышение эффективности планирования профилактического обслуживания оборудования на промышленном предприятии // Достижения науки и технологий (ДНИТ-IV-2025) сборник научных статей по материалам IV Всероссийской (национальной) научной конференции. Красноярск, 2025. С. 231–239.
6. Юрченко О.А., Козлова Е.А. Внедрение системы предиктивного обслуживания оборудования как один из элементов автоматизации технологических процессов // Научное сотрудничество в Евразийском пространстве: цифровизация и модернизация промышленности с применением искусственного интеллекта : Материалы международного форума, посвящённого 35-летию Технологического университета Таджикистана, Душанбе, 10 апреля 2025 года. Душанбе: Технологический университет Таджикистана, 2025. С. 591-597.
7. Баймурзина Г. К. Содержательные аспекты бизнес-процессов по техническому обслуживанию и ремонту промышленного оборудования //Региональная и отраслевая экономика. 2026. №. 2. С. 43-50.
8. Кабикенов С. Ж. Прогнозирование потребности и оптимизация запасных частях для технического обслуживания и ремонта автомобилей //Bulletin of LN Gumilyov Eurasian National University Technical Science and Technology Series. 2025. – Т. 151. №. 2. С. 250-261.
9. Черемин А. Н. Система поддержки принятия решений для планирования ремонта оборудования ЖКХ // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2025. № 3 (53). С. 71–76.

10. Баймурзина Г. К. Оптимизация управления запасами комплектующих и материалов в бизнес-процессах по техническому обслуживанию и ремонту промышленного оборудования //Прикладные экономические исследования. 2026. №. 3. С. 10-17.

11. Насонов М. А., Манцеров С. А. Управление потоками заданий ремонтных бригад на основе правил приоритета //Программные продукты и системы. 2026. Т. 39. №. 1. С. 144-156.

12. Кузнецова О.А. Экономико-математическое моделирование (модели прогнозирования рынка и деятельности предприятия).//Учебное пособие/ Самарский университет 2023. 84 с.

13. Шипшова О.А., Бакеев Д.А., Халиев М.С.-У. Цифровая трансформация предприятий: экономическая эффективность внедрения ИТ-решений в малом и среднем бизнесе // Экономика и управление: проблемы, решения. 2025. Т. 8, № 5. С. 195–203.

14. Ящун Т.В., Ильмушкина А.А., Кротов Е.Ю. Разработка и внедрение интеллектуальных систем для управления экономическими процессами в рамках ИТ-проектов в промышленности // Экономика и управление: проблемы, решения. 2025. Т.12, № 3. С. 157–164.

15. Черепанова Т. Г. Внедрение интегрированной системы динамического планирования на машиностроительном предприятии //Экономика и бизнес: теория и практика. 2026. №. 1 (131). С. 288-293.

MODELING A SYSTEM FOR ACCOUNTING AND OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT REPAIR: DETERMINING THE REPAIR SEQUENCE

P.A. Salamatina, O.N. Mazurmovich

*Samara University,
Samara, Russian Federation*

Abstract. The paper presents an algorithm for optimizing the camera maintenance process aimed at reducing specialists' time expenditures.

A method for automatically generating a repair work plan based on incoming client requests is proposed. The key feature of the solution is calculating the optimal number of cameras for maintenance by finding the minimum value among four indicators: maximum production capacity, remaining budget, number of available man-hours, and the volume of available spare parts during the time period t .

The system's operating logic is described, including the mechanism for setting priorities and establishing the repair sequence. Implementing the algorithm allows minimizing manual labor in planning, reducing the time required to process requests, and improving the overall efficiency of repair processes.

The research results can be applied at enterprises engaged in equipment maintenance and repair to automate planning and ensure rational use of resources.

Keywords: automation, work planning, camera maintenance, repair sequence, minimization, workload distribution.