

УДК 623.483

doi: 10.53816/23061456_2025_5–6_127

**НАЗНАЧЕНИЕ СПЕЦИАЛИСТОВ-РЕМОНТНИКОВ НА ВЫПОЛНЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ РЕМОНТА ОБРАЗЦОВ
АРТИЛЛЕРИЙСКОГО ВООРУЖЕНИЯ С УЧЕТОМ КВАЛИФИКАЦИИ
И МИНИМАЛЬНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ РАБОТ**

**APPOINTMENT OF REPAIR SPECIALISTS TO PERFORM TECHNOLOGICAL
OPERATIONS FOR REPAIRING ARTILLERY WEAPONS SAMPLES, TAKING
INTO ACCOUNT THE QUALIFICATIONS AND MINIMUM DURATION OF WORK**

Канд. техн. наук П.В. Филатов

Ph.D. P.V. Filatov

Филиал Военной академии материально-технического обеспечения им. А.В. Хрулева (г. Пенза)

Рассмотрено решение многокритериальной задачи поддержки оперативного управления ремонтом артиллерийских орудий в ремонтно-восстановительном органе (РВО). Разработан метод информационно-аналитической поддержки управления восстановлением артиллерийского вооружения, обеспечивающий повышение коэффициента сохранения эффективности образцов за счет сокращения времени восстановления путем рационального распределения специалистов службы ракетно-артиллерийского вооружения и выполняемых ими технологических операций на участках РВО с учетом стохастичности процесса восстановления. Для реализации метода разработаны: функциональная и математическая модели; алгоритм решения оптимизационной задачи; методика формирования и визуализации технологического графика и маршрутно-технологических карт.

Ключевые слова: ремонт артиллерийских орудий, оперативное управление, метод информационно-аналитической поддержки.

The solution of the multi-criteria task of supporting the operational management of the repair of artillery guns in the repair and restoration authority is considered. A method of information and analytical support for the management of the restoration of artillery weapons has been developed, which ensures an increase in the coefficient of conservation of the effectiveness of samples by reducing the recovery time through the rational distribution of specialists from the missile and artillery armament service and their technological operations in the repair and restoration authority sites, taking into account the stochasticity of the restoration process. To implement the method, we have developed: functional and mathematical models; an algorithm for solving an optimization problem; a methodology for forming and visualizing a technological graph and route-technological maps.

Keywords: repair of artillery guns, operational management, information and analytical support method.

Правильное сочетание и расположение в пространстве основных факторов производства ремонта артиллерийского вооружения (АВ)

является главным условием рациональной организации восстановления образцов в ремонтном подразделении.

Для этого, во-первых, необходимо правильно распределить весь ремонтный фонд, установить специализацию подразделений — участков (постов) ремонта, а также кооперацию внутри них и между отдельными специалистами-ремонтниками. Особо тщательной проработки требуют вопросы кооперации и взаимодействия между специалистами, ремонтирующими разные типы образцов АВ, разные части одних и тех же комплексных артиллерийских орудий (АО), таких как, например, специальной артиллерийской части орудий и их средств подвижности.

Во-вторых, установить пропорциональность между звеньями (частями) технологического процесса и специалистами РВО, а также правильное сочетание труда ремонтников с орудиями и предметами труда, то есть взаимодействие специалистов между собой и материальными, вещественными факторами производства ремонта.

В-третьих, необходимо обеспечить непрерывность процесса производства ремонта, не допускать простоя специалистов и орудий труда (оборудования), а также «пролеживания» предметов труда (объектов ремонта).

В ходе анализа последних локальных войн и вооруженных конфликтов стало очевидным, что показатель стоимости ремонта не может быть главным при планировании мероприятий восстановления ремонтного фонда. Такой критерий не может приниматься за основной, так как за выполнением любой задачи стоят человеческие жизни. В качестве основного критерия, определяющего эффективность планируемых мероприятий восстановления артиллерийских орудий, должен выступать показатель времени, который необходимо обратить в минимум. Другим показателем эффективности в условиях противодействия противника необходимо считать вероятность успешного восстановления (АО) за заданное время, который при управлении восстановлением необходимо обратить в максимум. Также желательно, чтобы потери средств восстановления были бы минимальными. Кроме того, целесообразно максимально сократить время простоя специалистов для обеспечения оперативности ремонта всех АО, находящихся в подразделении. Стоимость ремонта не следует исключать, а целесообразно учитывать ее в качестве дополнительного пока-

зателя разрабатываемых планов ремонта после всех изложенных. Стоимость ремонта необходимо минимизировать. Такая множественность показателей эффективности восстановления, из которых одни желательно обратить в максимум, а другие — в минимум, характеризует информационно-аналитическое обеспечение организации ремонта АВ как сложную задачу исследования операций.

Задача поддержки оперативного управления ремонтом АВ в РВО является многокритериальной или векторной задачей, а наличие в ней случайных величин, таких как вероятность восстановления за заданное время, вероятные потери при ремонте, случайное время восстановления, делает ее стохастической.

Для решения указанной задачи разработан метод информационно-аналитической поддержки управления восстановлением АВ, обеспечивающий повышение коэффициента сохранения эффективности образцов за счет сокращения времени восстановления путем рационального распределения специалистов службы ракетно-артиллерийского вооружения (РАВ) и выполняемых ими технологических операций (ТОп) на участках РВО с учетом стохастичности процесса восстановления. Сущность метода состоит в следующем:

- 1) в разработке функциональной модели системы оперативного управления проведением ремонтных работ;
- 2) в разработке математической модели восстановления образцов АВ;
- 3) в создании алгоритма решения оптимизационной задачи распределения работ по критерию времени восстановления в стохастической постановке для выбора наилучшего плана организации технологического процесса производства ремонта;
- 4) в разработке методики формирования и визуализации технологического графика (ТГ) и маршрутно-технологических карт (МТК) выполнения операций восстановления АВ специалистами РВО.

Функциональная модель системы оперативного управления проведением ремонтных работ с АВ описывает совокупность выполняемых системой и ее элементами функций. Взаимодействие между специалистами службы РАВ осуществляется через должностных лиц, а именно:

начальника службы РАВ, командира РВО, командира ремонтной роты вооружения (командира ремонтного взвода вооружения).

В результате обобщения описания элементов системы оперативного управления проведением ремонтных работ с образцами и их связей построена функциональная модель системы управления восстановлением АВ (рис. 1).

Для формирования математической модели восстановления образцов АВ необходимо найти такую совокупность параметров системы восстановления АВ, при которых коэффициент технической готовности артиллерийских формирований направления группировки войск (сил) ГрВ(с) будет максимальным, причем затраты средств и времени не должны превышать заданных значений, то есть

$$(K_{\text{ТГ}} \rightarrow \max), C_{\text{В}} \leq C_{\text{В}}^{\text{ТР}}, T_{\text{В}} \leq T_{\text{расп}}.$$

В военное время эффективность использования образцов АВ оценивается коэффициентом сохранения эффективности [1] за время боевой операции t_{60} . Это время может измеряться продолжительностью фронтовой (армейской) операции. В этом случае плановые технические обслуживания (ТО-1, ТО-2) и ремонты (СР, КР) не проводятся, хранение также отсутствует. Поэтому коэффициент сохранения эффективности для военного времени определяется по формуле

$$K_{\text{эф}} = K_{\text{ТГ}}(t_{60}) \cdot P_{\text{оз}}(t_{60}), \quad (1)$$

где $K_{\text{ТГ}}(t_{60})$ — коэффициент технической готовности;

$P_{\text{оз}}(t_{60})$ — вероятность успешного функционирования (боевого использования) АВ в интервале времени от t до t_3 .

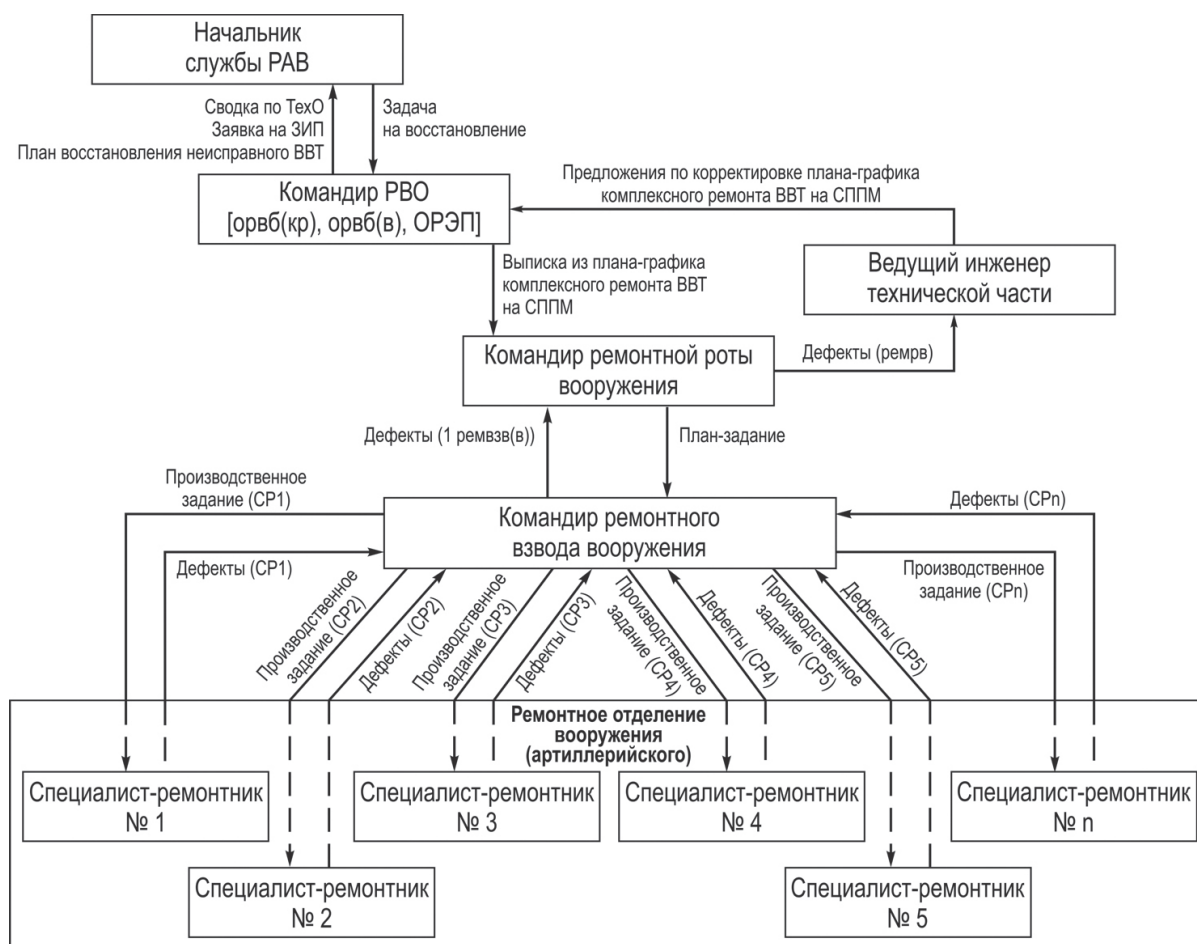


Рис. 1. Функциональная модель системы управления восстановлением артиллерийского вооружения в орвб(кр)

Коэффициент технической готовности [2] определяется по формуле

$$K_{\text{ТГ}} = K_{\text{ПП}} \cdot K_{\text{Г}},$$

где $K_{\text{ПП}}$ — коэффициент планируемого применения образцов АВ определенной номенклатуры;

$K_{\text{Г}}$ — коэффициент готовности.

Частными критериями коэффициента технической готовности, зависящими от эффективности системы управления восстановлением АВ, являются:

– коэффициент планируемого применения образцов АВ $K_{\text{ПП}}$;

– коэффициент готовности $K_{\text{Г}}$.

Согласно [2] коэффициент планируемого применения вооружения — это доля определенного периода эксплуатации, в течение которого образцы вооружения не должны находиться на плановых видах технического обслуживания (ТО-1, ТО-2) или ремонта (СР, КР). Коэффициент планируемого применения определяется по формуле

$$K_{\text{ПП}} = 1 - \frac{T_{\text{ТО}} + T_{\text{В}}}{T_{\text{СР}}},$$

где $T_{\text{ТО}}$ — время технического обслуживания образцов АВ;

$T_{\text{В}}$ — время восстановления АВ;

$T_{\text{СР}}$ — время средней наработки на отказ.

Время технического обслуживания образцов при подготовке к применению определяется выражением

$$T_{\text{ТО}} = t_{\text{инф}} + t_{\text{реш}} + t_{\text{п}},$$

где $t_{\text{инф}}$ — время получения информации;

$t_{\text{реш}}$ — время принятия решения;

$t_{\text{п}}$ — время подготовки АВ к стрельбе (контрольного осмотра перед стрельбой).

Коэффициент готовности определяется по формуле

$$K_{\text{Г}}(t_{\text{бo}}) = \frac{\hat{T}(t_{\text{бo}})}{\hat{T}(t_{\text{бo}}) + \hat{T}_{\text{В}}(t_{\text{бo}})}, \quad (2)$$

где $\hat{T}(t_{\text{бo}})$ — средняя наработка на отказ (повреждение) за время $t_{\text{бo}}$. Здесь учитываются экс-

плуатационные отказы и боевые повреждения, полученные за время $t_{\text{бo}}$;

$\hat{T}_{\text{В}}(t_{\text{бo}})$ — среднее время восстановления всех отказов (повреждений) за время $t_{\text{бo}}$ (здесь могут быть ТР и СР).

Показатель $P_{\text{оз}}(t_{\text{бo}})$ в формуле (1) учитывает вероятность восстановления $P_{\text{в}}(t_{\text{бo}})$ изделий за $t_{\text{бo}}$ и определяется по зависимости

$$P_{\text{оз}}(t_{\text{бo}}) = P(t_{\text{бo}}) + Q(t_{\text{бo}}) \cdot P_{\text{в}}(t_{\text{бo}}).$$

Здесь $P(t_{\text{бo}})$ и $Q(t_{\text{бo}})$ — вероятности безотказной работы и отказа (повреждения) за время операции $t_{\text{бo}}$; $P_{\text{в}}(t_{\text{бo}})$ — вероятность восстановления за время операции $t_{\text{бo}}$.

Величина наработки на отказ (повреждение) в формуле (2) определяется по статистической зависимости

$$T(t_{\text{бo}}) = \frac{t_{\Sigma}}{r(t_{\Sigma})},$$

где t_{Σ} — суммарная наработка (календарное время) за время операции $t_{\text{бo}}$;

$r(t_{\Sigma})$ — общее количество всех отказов (повреждений) за время t_{Σ} .

Цель функционирования системы управления восстановлением АВ сводится к сокращению продолжительности времени восстановления $T_{\text{В}}$. В связи с этим выразим коэффициент технической готовности через продолжительность времени подготовки и восстановления:

$$K_{\text{ТГ}} = \left(1 - \frac{t_{\text{инф}} + t_{\text{реш}} + t_{\text{п}} + T_{\text{В}}}{T_{\text{СР}}} \right) \cdot \frac{T}{T + T_{\text{В}}}. \quad (3)$$

Из выражения (3) следует, что уменьшение времени на подготовку и восстановление позволяет увеличить коэффициент технической готовности и, соответственно, коэффициент сохранения эффективности АВ во время проведения операции.

Структура математической модели, разработанной на основе функциональной модели, имеет вид, представленный на рис. 2.

В соответствии с рассмотренными показателями сформулирована задача информационно-аналитической поддержки восстановления АВ за минимальное время.

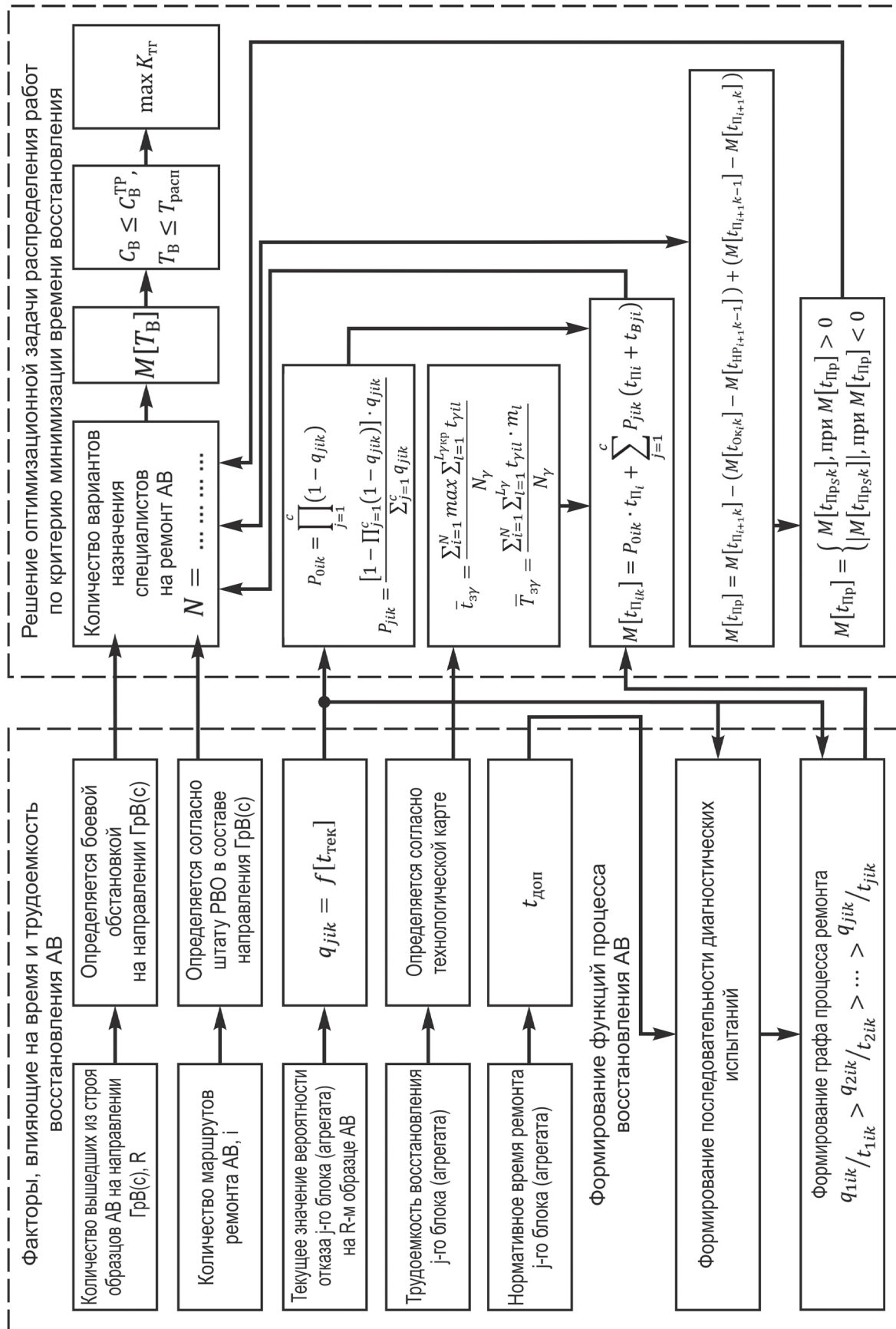


Рис. 2. Структура математической модели системы восстановления артиллерийского вооружения

С учетом условий сформулированной задачи значения показателей, оказывающих влияние на время восстановления, которое в свою оче-

редь влияет на коэффициент технической готовности артиллерийских подразделений, можно выразить:

$$\left\{ \begin{array}{l} K_{\text{ТГ}} \rightarrow \max; \\ T_{\text{в}} = f(K_i, i, k, t_{\text{П}i}, q_{jik}, t_{\text{В}ji}) \rightarrow \min; \\ \text{при} \\ K_i \text{ — количество специалистов на } i\text{-м маршруте ремонта } K_i = 1; \\ i \text{ — количество маршрутов ремонта, } i = 1, \dots, 5; \\ k \text{ — количество ремонтируемых орудий, } k = 1, \dots, 4; \\ t_{\text{П}i} > 0 \text{ — время выполнения операции на } i\text{-м маршруте;} \\ q_{jik} \geq 0 \text{ — текущее значение вероятности отказа элемента орудия;} \\ t_{\text{В}ji} \text{ — время восстановления узла (блока).} \end{array} \right.$$

Задача распределения специалистов по технологическим операциям ремонта АВ может быть сведена к задаче о назначениях линейного программирования [3] — разновидности классической транспортной задачи, хотя она и не имеет ничего общего с транспортировкой грузов.

Задача о назначениях формулируется следующим образом [4]. Имеется m групп исполнителей ($i = 1, \dots, m$), по S_i специалистов в каждой группе и n ремонтируемых изделий АВ (категорий работ) ($j = 1, \dots, n$) по D_j технологических операций в каждой. Производительность специалиста i -й группы определяется коэффициентом производительности (КПр), зависящим от занимаемой штатной должности: для командира ремонтного взвода, заместителя командира ремонтного взвода и командиров ремонтных отделений КПр = 1,0; для старшего мастера КПр = 0,95; для мастера КПр = 0,9; для слесаря КПр = 0,7; для водителя КПр = 0,5. Продолжительность t_{ij} выполнения одной технологической операции j -го изделия АВ зависит от коэффициента производительности КПр специалиста i -й группы и трудоемкости ремонта всего изделия Tr_j :

$$t_{ij} = \frac{Tr_j}{D_j \cdot \text{КПр}_i}.$$

Предполагается, что количество исполнителей в точности равно количеству работ (технологических операций):

$$\sum_{i=1}^m S_i = \sum_{j=1}^n D_j,$$

а каждая технологическая операция должна быть обязательно выполнена.

Известна стоимость затрат c_{ij} на выполнение каждой группой специалистов технологических операций на каждом изделии АВ. Таблица (матрица) стоимостей затрат c_{ij} задана:

$$\left\| \begin{array}{cccc} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{m1} & c_{m2} & \dots & c_{mn} \end{array} \right\|.$$

Требуется составить такой план расстановки специалистов, при котором все технологические операции на каждом изделии АВ были бы выполнены, и при этом общая стоимость всех затрат была минимальна. В ходе последних локальных войн и вооруженных конфликтов в качестве основного критерия, определяющего эффективность планирования восстановления образцов, выступает показатель времени, который также необходимо обратить в минимум. При этом должны учитываться два условия:

— число специалистов из каждой группы, назначенных на выполнение работ на различных изделиях, должно быть равно размеру группы;

– число работ на каждом изделии АВ, распределенных между специалистами, должно быть равно общему количеству работ на этом изделии АВ.

Наилучшим планом назначения специалистов по работам (количество назначенных специалистов из каждой группы на ремонтируемое изделие АВ описывается переменной x_{ij}) будет считаться такой план, при котором математическое ожидание (МОЖ) времени окончания всех ремонтных работ было бы минимальным. Такая задача, где оптимальным считается план с минимальным временем T , называется задачей о назначении по критерию времени [5].

Требуется найти такие назначения переменной x_{ij} , чтобы выполнялись балансовые условия

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n x_{ij} = S_i, (i=1, \dots, m); \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} = D_j, (j=1, \dots, n), \end{cases} \quad (4)$$

и, кроме того, обращалось бы в минимум МОЖ времени окончания всех работ $M[T_B]$. Дополнительно, на значения самих назначений на работы x_{ij} накладывается очевидное ограничение

$$x_{ij} \geq 0. \quad (5)$$

Выразим МОЖ суммарного времени восстановления образцов АВ в РВО $M[T_B]$ через МОЖ времен выполнения работ (технологических операций) t_{ij} и значения переменной x_{ij} . Так как все работы заканчиваются в момент, когда кончается самая длительная из них в маршрутах ремонта, то МОЖ времени восстановления $M[T_B]$ есть максимальное из всех МОЖ времен t_{ij} , стоящих в ячейках, содержащих ненулевые работы

$$M[T_{\hat{A}}] = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot t_{ij}, \quad x_{ij} > 0, \quad (6)$$

где знак $x_{ij} > 0$ показывает, что берется максимальное не из всех t_{ij} , а только из тех маршрутов ремонта, для которых работы отличны от нуля.

Необходимо составить такой план назначений на работы x_{ij} , для которого МОЖ суммарного времени восстановления АВ $M[T_B]$ обращается в минимум:

$$M[T_{\hat{A}}] = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot t_{ij} \rightarrow \min, \quad x_{ij} > 0. \quad (7)$$

Из всех решений, удовлетворяющих условию (7), необходимо выбрать такое, чтобы общая стоимость всех работ C не превышала заданного значения C_{3AD} , то есть

$$C < C_{3AD}. \quad (8)$$

Под стоимостью работ может подразумеваться не только их денежное выражение, а, например, количество материальных средств, необходимое для производства ремонтных работ.

Вероятность выявления скрытых дефектов P_{Def} при ремонте узлов и агрегатов изделий АВ должна быть максимальной, то есть

$$P_{Def} \rightarrow \max. \quad (9)$$

Поставленная задача не является задачей линейного программирования, так как величина T_B не является линейной функцией переменных x_{ij} .

Анализ выражения целевой функции и ограничений (4), (6), (7), (8), (9) и граничных условий (5) позволил классифицировать сформулированную задачу о назначениях как задачу нелинейного программирования с векторной целевой функцией в стохастической постановке.

Алгоритм решения оптимизационной задачи распределения работ по критерию времени восстановления в стохастической постановке подробно рассмотрен в [6]. Кроме того, разработанный алгоритм реализован в виде программы для ЭВМ [7].

В рамках реализации рассматриваемого метода разработан алгоритм [8] формирования МТК восстановления АВ с учетом вероятностей выявления скрытых дефектов конкретных элементов образца АВ и времени их устранения (рис. 3), обеспечивающий сокращение общего времени восстановления.

Алгоритм имеет следующую последовательность действий.

1. Ввод исходных данных.

Исходными данными являются:

– количество маршрутов ремонта i ;

– время выполнения t -й ТОп на i -м маршруте

те — $t_{ТОп_i}$;



Рис. 3. Алгоритм формирования МТК с учетом вероятностей выявления скрытых дефектов

– текущее значение вероятности выявления скрытого дефекта j -го блока на i -ом маршруте k -го образца — t_{Bji} ;

– среднее значение времени восстановления j -го блока (системы) на i -м маршруте k -го образца — q_{jik} .

2. Деление ТОп на группы, в зависимости от влияния на них факта обнаружения и устранения скрытого дефекта в процессе выполнения последующих ТОп.

Первая группа — операции, которые не требуют повторного выполнения, то есть при выявлении скрытого дефекта после его устранения необходимо выполнить ТОп, при выполнении которой был выявлен дефект; работы, которые были выполнены ранее, повторному выполнению не подлежат.

Вторая группа — операции, которые требуют повторного выполнения, то есть при выявлении дефекта, после его устранения необходимо заново выполнить все ТОп, которые были завершены ранее.

3. Определение очередности выполнения ТОп на основе значений вероятностей выявления скрытого дефекта. Очередность данных работ устанавливается строго в порядке убывания отношения вероятности обнаружения дефекта к времени устранения

$$\frac{q_{1ik}}{t_{1ik}} > \frac{q_{2ik}}{t_{2ik}} > \dots > \frac{q_{jik}}{t_{jik}}.$$

4. Формирование МТК выполнения работ с указанием очередности выполнения ТОп. При этом ТОп, относящиеся к первой группе, проводятся в первую очередь, а затем относящиеся ко второй группе, и очередность данных операций устанавливается в порядке убывания отношений вероятностей отказа к времени их устранения (рис. 4).

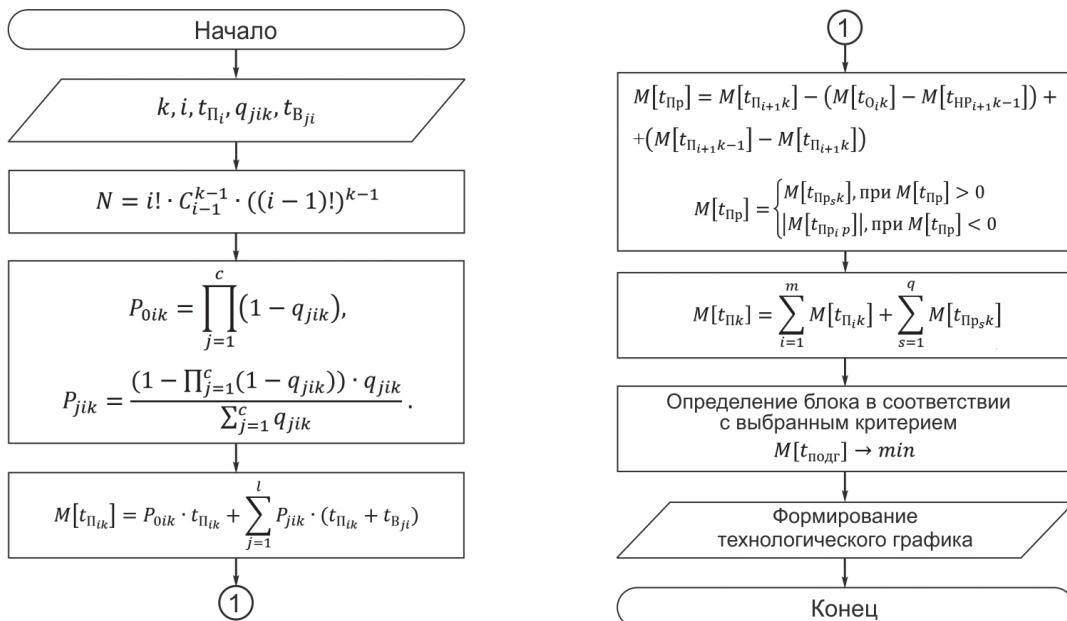


Рис. 4. Алгоритм формирования ТГ с учетом вероятностей отказов и времени их восстановления

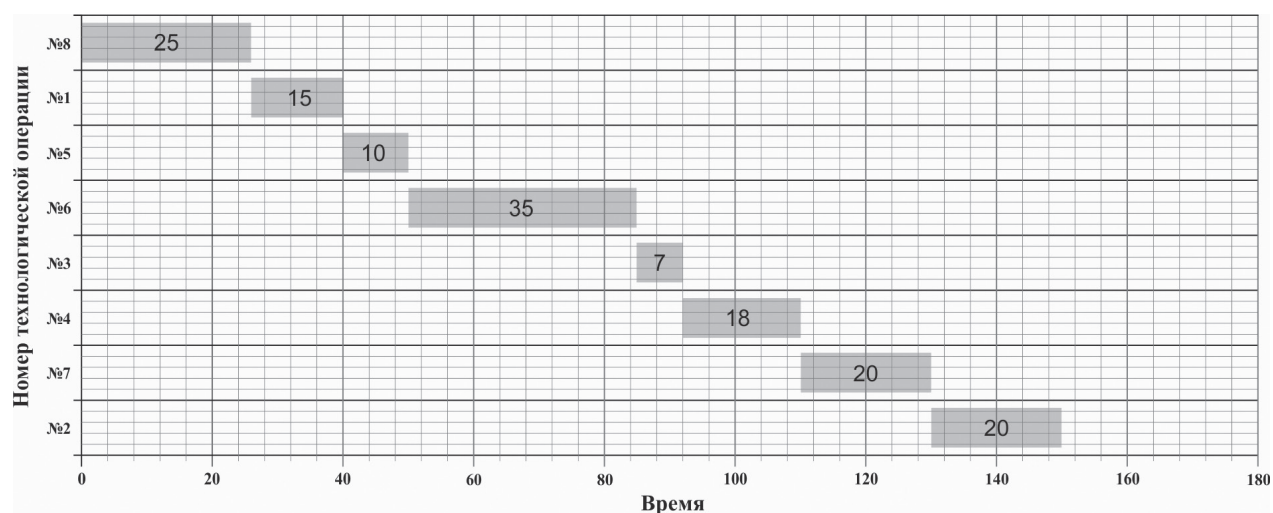


Рис. 5. Очередность выполнения ТОп специалистами РО с учетом вероятности выявления скрытых дефектов на первом изделии

Пример построения технологического графика (ТГ) в виде графика Ганта [9] приведен на рис. 5.

Учет вероятности выявления скрытого дефекта и степени влияния факта его обнаружения и устранения в процессе выполнения технологических операций позволяет определить рациональную последовательность выполнения работ специалистами ремонтного органа (РО) по критерию минимум времени выполнения в случае выявления скрытого дефекта.

Таким образом использование разработанного метода информационно-аналитической поддержки управления восстановлением АВ для решения многокритериальной задачи поддержания оперативного управления ремонтом АВ в РВО обеспечивает повышение коэффициента сохранения эффективности [10] образцов АВ за счет сокращения времени восстановления путем рационального распределения специалистов службы РАВ, ремонтных органов и выполняемых ими технологических операций на участках ремонта с учетом стохастичности процесса восстановления.

Систему поддержки принятия решений (СППР) на основе разработанного метода предлагается внедрить в ремонтно-восстановительных частях всех уровней ответственности. СППР данного уровня, основываясь на получении диагностической информации и базе данных о возможностях сил и средств ремонтных

подразделений части, трудоемкости ремонта поступившего ремонтного фонда, обеспечивают подготовку предложений о назначении специалистов-ремонтников на выполнение технологических операций с учетом их квалификации и достижения минимальной продолжительности ремонта образцов, находящихся в ремонтном подразделении. Одной из возможностей СППР является формирование и выдача суточного производственного задания каждому специалисту и контроль его выполнения в автоматизированном режиме.

Список источников

1. Чухнин В.Н. Теоретические основы надежности вооружения: учеб. пособие. Пенза: ПАИИ, 2004. 246 с.
2. ГОСТ Р 56111–2014. Номенклатура показателей эксплуатационно-технических характеристик. М.: Стандартинформ, 2015. 15 с.
3. Мадера А.Г. Математические модели и принятие решений в управлении: Руководство для топ-менеджеров: учебник. М.: Ленанд, 2022. 688 с.
4. Фролова Г.Н., Каньшина З.И., Подолько Е.А. Методы оптимальных решений: учеб.-метод. пособие. Благовещенск: ДальГАУ, 2015. 56 с.
5. Мадера А.Г. Количественные методы разработки и принятия решений в менеджменте:

Компьютерное моделирование в Microsoft Excel: практикум. М.: Ленанд, 2024. 120 с.

6. Филатов П.В., Алчинов В.И. Алгоритм решения оптимизационной задачи распределения работ по критерию минимизации времени восстановления // Труды МВАА. 2024. № 2. С. 232–237.

7. Решение задачи нелинейного программирования о назначениях по критерию времени в стохастической постановке: свид. о гос. рег. программ для ЭВМ 2025612240 Рос. Федерация; заяв. 28.11.2024; опубл. 28.01.2025.

8. Филатов П.В. Алгоритмы формирования маршрутных технологических карт и технологических графиков восстановления артиллерийского вооружения с учетом выявления скрытых дефектов и времени их устранения // Труды МВАА. 2025. № 1. С. 214–219.

9. Кларк У. Графики Ганта. Учет и планирование работы: учебник. 5-е изд. М.: Техника управления, 1995. 142 с.

10. ГОСТ 27.002–2015. Надежность в технике. Термины и определения. М.: Стандартиформ, 2016. 25 с.

References

1. Chukhnin V.N. Theoretical foundations of weapons reliability: textbook. Penza: PAI, 2004. 246 p.

2. GOST R 56111–2014. Nomenclature of indicators of operational and technical characteristics. Moscow: Standartinform, 2015. 15 p.

3. Madera A.G. Mathematical models and decision-making in management: A guide for top managers: textbook. Moscow: Lenand, 2022. 688 p.

4. Frolova G.N., Kanshina Z.I., Podolko E.A. Methods of optimal solutions: textbook manual. Blagoveshchensk: DalGAU, 2015. 56 p.

5. Madera A.G. Quantitative methods of development and decision-making in management: Computer modeling in Microsoft Excel: practical. Moscow: Lenand, 2024. 120 p.

6. Filatov P.V., Alchinov V.I. Algorithm for solving the optimization problem of work distribution according to the criterion of minimizing recovery time // Proceedings of the MWAA. 2024. No 2. Pp. 232–237.

7. Solution of nonlinear programming problem about appointments by time criterion in stochastic formulation: certificate of state registration of computer programs 2025612240 Ros. Federation; application. 28.11.2024; published 28.01.2025.

8. Filatov P.V. Algorithms for the formation of route technological maps and technological schedules for the restoration of artillery weapons, taking into account the identification of hidden defects and the time for their elimination // Proceedings of the MWAA. 2025. No 1. Pp. 214–219.

9. Clark W. Gantt graphs. Accounting and work planning: textbook. 5th ed. Moscow: Control Engineering, 1995. 142 p.

10. GOST 27.002–2015. Reliability in technology. Terms and definitions. Moscow: Standartinform, 2016. 25 p.