

**А.А. Пахомова***Воронежский институт МВД России,
г. Воронеж, Российская Федерация***О.В. Пьянков***Воронежский институт МВД России,
г. Воронеж, Российская Федерация*

Эвристический алгоритм оптимизации технического обслуживания средств связи и автоматизации

Аннотация. Рассматриваются вопросы планирования технического обслуживания средств связи и автоматизации в подразделениях органов внутренних дел Российской Федерации. Указывается ограниченность применения ранее разработанного алгоритма полного перебора для построения оптимального плана-графика. Исследуются свойства видов технического обслуживания, особенности их распределения по месяцам года. Предлагаются эвристические правила, позволяющие уменьшить объем вычислений для построения оптимального плана-графика технического обслуживания. На основе сгенерированных правил предложен эвристический алгоритм оптимизации технического обслуживания средств связи и автоматизации в подразделениях органов внутренних дел Российской Федерации. Приводятся результаты вычислительного эксперимента по построению оптимального плана-графика технического обслуживания, в том числе оценивается эффективность нового алгоритма по сравнению с полным перебором, делается вывод о его возможности практического применения.

Ключевые слова. Техническое обслуживание, план-график, эвристические правила, оптимизация, вычислительный эксперимент.

Информация о статье. Дата поступления: 3 октября 2024 г.; дата принятия к публикации: 16 декабря 2024 г.; дата онлайн-размещения: 24 декабря 2024 г.

Original article

A.A. Pakhomova*Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia,
Voronezh, Russian Federation***O.V. Pyankov***Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia,
Voronezh, Russian Federation*

A Heuristic Algorithm for Optimizing the Maintenance of Communications and Automation Equipment

Abstract. The issues of planning the maintenance of communications and automation facilities in the departments of the internal affairs bodies of the Russian Federation are considered. The limitations of using the previously developed full-search algorithm to build an optimal schedule are indicated. The properties of types of maintenance and the peculiarities of their distribution by months of the year are investigated. Heuristic rules are proposed to reduce the number of calculations to build an optimal maintenance schedule. Based on the

generated rules, a heuristic algorithm for optimizing the maintenance of communications and automation facilities in the departments of the internal affairs bodies of the Russian Federation is proposed. The results of a computational experiment on the construction of an optimal maintenance schedule are presented, including evaluating the effectiveness of the new algorithm compared to a complete search, and concluding that its practical application is possible.

Keywords. Maintenance, schedule, heuristic rules, optimization, computational experiment.

Article info. Received 3 October, 2024; Accepted 16 December, 2024; Available online 24 December, 2024.

Введение

Основная цель комплекса организационных мероприятий и технических операций, входящих в состав технического обслуживания, заключается в поддержании работоспособности (исправности) средств связи и автоматизации (ССиА) и снижение вероятности их отказов при использовании по назначению, при хранении и транспортировании [1]. В соответствии с ¹ в подразделениях органов внутренних дел составляются планы-графики проведения технического обслуживания ССиА с указанием месяца его проведения для каждого средства в отдельности. При этом указывают один из видов технического обслуживания: ТО № 1 (ежеквартальное), ТО № 2 (полугодовое), ТО № 3 (годовое), при этом каждый последующий вид включает в себя предшествующий (так в ТО № 2 входит ТО № 1 и дополнительные технические операции).

При заполнении плана-графика могут возникать ситуации, связанные с неравномерным распределением мероприятий технического обслуживания по месяцам, что может приводить к невозможности его осуществления в требуемом объеме и качестве. Среди причин невозможности осуществления мероприятий технического обслуживания могут быть: привлечение технического персонала к решению иных, более важных задач; недостаток кадров в подразделениях органов внутренних дел; удаленность некоторых объектов от сотрудников на значительные расстояния, а вследствие увеличения времени для прибытия и т.п. В свою очередь непроведение технического обслуживания или его проведение в неполном объеме с требуемым качеством, несомненно будет сказываться на частоте появления отказов ССиА, а следовательно, снижению эффективности решения поставленных перед подразделениями территориальных органов МВД России задач [1]. В [2] предложено для оценки равномерности распределения мероприятий технического обслуживания использовать среднеквадратическое отклонение σ суммарного времени технического обслуживания по месяцам

¹ Об утверждении Наставления по технической эксплуатации средств связи и автоматизации территориальных органов Министерства внутренних дел Российской Федерации : Приказ МВД России № 772. СТРАС «ЮРИСТ» (дата обращения: 20.09.2024).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{12} (T_j - T_{cp})^2}{12}} \approx 0,289 \sqrt{\sum_{j=1}^{12} (T_j - T_{cp})^2} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где T_j — время технического обслуживания всех ССиА в j -м месяце, T_{cp} — среднее арифметическое T_j .

Постановка задачи

Представленный в [2] алгоритм полного перебора возможных вариантов размещения видов технического обслуживания по месяцам для каждого ССиА имеет степенной рост числа необходимых для определения оптимального распределения вычислений, определяемых как c^n , где n — число используемых в подразделении ССиА, c — количество различных размещений видов ТО для одного ССиА (первоначально это количество можно определить как число размещений четырех ТО по двенадцати месяцам, т.е. $c = A_{12}^4$). Это ограничивает возможности применения данного алгоритма незначительным количеством ССиА (фактически для полного перебора за разумное время n не должно превышать четырех), что не позволяет найти оптимальное в смысле (1) распределение видов ТО по месяцам.

Таким образом необходим подход, позволяющий увеличить количество рассматриваемых ССиА.

Решение.

Введем следующие обозначения:

- t_i^k — длительность технического обслуживания i -го средства ($i = 1, \dots, n$), k -го вида ($k = 1, 2, 3$);
- $t_{i,j}^k$ — длительность технического обслуживания i -го средства k -го вида, осуществляемого в j -ом месяце года.

Вполне очевидны следующие свойства:

- длительности последующих видов ТО возрастают

$$t_{i,j}^1 < t_{i,j}^2 < t_{i,j}^3,$$

а длительность ТО не зависит от того в каком месяце оно осуществляется

$$t_{i,j1}^k = t_{i,j2}^k \quad (j1 \neq j2);$$

– для каждого ССиА за год минимальная общая продолжительность ТО всех видов составляет

$$T_i = t_{i,j1}^1 + t_{i,j2}^1 + t_{i,j3}^2 + t_{i,j4}^3,$$

причем должно выполняться условие

$$j1 \neq j2 \neq j3 \neq j4;$$

– распределения ССиА при $n \leq 3$ тривиальны: требуется занимать месяцы года таким образом, чтобы в каждом месяце было только одно ТО.

На основе выделенных свойств можно предложить следующие эвристические правила, которые могут позволить уменьшить количество рассматриваемых вариантов, а, следовательно, увеличить допустимое для расчета значение n :

1. Исключить из рассмотрения варианты размещения видов ТО, в которых все операции проводятся только в одном месяце каждого квартала для всех имеющихся в подразделении ССиА, т.е. из двух вариантов, представленных ниже, первый вариант не допускать к рассмотрению, как заведомо имеющему худшее значение среднеквадратического отклонения (1).

№ п.п.	Наименование средств связи и автоматизации	Периодичность технического обслуживания (ТО № 1, ТО № 2, ТО № 3)											
		I квартал			II квартал			III квартал			IV квартал		
		Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
1	ССиА № 1	ТО № 1			ТО № 1			ТО № 2			ТО № 3		
2	ССиА № 2	ТО № 1			ТО № 1			ТО № 2			ТО № 3		
3	ССиА № 3	ТО № 1			ТО № 1			ТО № 2			ТО № 3		

Рис. 1. Вариант № 1 размещения видов технического обслуживания

№ п.п.	Наименование средств связи и автоматизации	Периодичность технического обслуживания (ТО № 1, ТО № 2, ТО № 3)											
		I квартал			II квартал			III квартал			IV квартал		
		Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
1	ССиА № 1	ТО № 1			ТО № 1			ТО № 2			ТО № 3		
2	ССиА № 2		ТО № 1			ТО № 1			ТО № 2			ТО № 3	
3	ССиА № 3			ТО № 1			ТО № 1			ТО № 2			ТО № 3

Рис. 2. Вариант № 2 размещения видов технического обслуживания

2. Исключить из рассмотрения стратегии размещения видов ТО, в которых не соблюдается требование наличия только одного вида ТО в каждом квартале, т.е. допустимыми размещениями видов ТО по кварталам будут только те, что представлены в табл. 1.

Таблица 1
Допустимые стратегии размещения видов ТО по кварталам

Номер стратегии	I квартал	II квартал	III квартал	IV квартал
1	ТО № 1	ТО № 2	ТО № 1	ТО № 3
2	ТО № 1	ТО № 2	ТО № 3	ТО № 1
3	ТО № 1	ТО № 3	ТО № 1	ТО № 2
4	ТО № 1	ТО № 3	ТО № 2	ТО № 1
5	ТО № 2	ТО № 1	ТО № 1	ТО № 3
6	ТО № 2	ТО № 1	ТО № 3	ТО № 1
7	ТО № 3	ТО № 1	ТО № 1	ТО № 2
8	ТО № 3	ТО № 1	ТО № 2	ТО № 1

3. Задать для первых двух произвольных ССиА, из числа тех для которых необходимо построить план-график, распределение по месяцам в явном виде с использованием для первого ССиА стратегии № 1 (см. табл. 1), для второго — стратегии № 2. Поскольку дальнейшее распределение видов ТО позволит перебрать все возможные варианты размещения видов ТО для месяцев (см. рис. 3), в которых уже будут явно заданы виды ТО первых двух ССиА, то этот шаг позволит не повторять лишние процедуры полного перебора, и в то же время снизить количество требуемых вычислений до c^{n-2} .

№ п.п.	Наименование средств связи и автоматизации	Периодичность технического обслуживания (ТО № 1, ТО № 2, ТО № 3)											
		I квартал			II квартал			III квартал			IV квартал		
		Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
1	ССиА № 1	ТО № 1			ТО № 1			ТО № 2			ТО № 3		
2	ССиА № 2		ТО № 3			ТО № 2			ТО № 1			ТО № 1	
3	ССиА № 3												

Рис. 3. Явное указание стратегии видов ТО для первых двух ССиА

В случае указания не для двух, а для трех произвольных ССиА распределений в явном виде, возникает риск, что оптимальный вариант распределения не будет получен. Например, на рис. 4 показано распределение ТО для четырех средств.

№ п.п.	Наименование средств связи и автоматизации	Периодичность технического обслуживания (ТО № 1, ТО № 2, ТО № 3)											
		I квартал			II квартал			III квартал			IV квартал		
		Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
1	Прибор 1	25	0	0	35	0	0	0	50	0	25	0	0
2	Прибор 2	0	40	0	0	15	0	15	0	0	0	25	0
3	Прибор 3	0	0	10	0	3	0	0	0	20	0	0	3
4	Прибор 4	0	0	6	0	0	18	6	0	0	0	0	12

Рис. 4. Пример оптимального распределения для четырех средств

Если посмотреть на распределение ТО во втором квартале, то видно, что задав распределение в явном виде для первых трех приборов:

Прибор 1 — Апрель — 35
Прибор 2 — Май — 15
Прибор 3 — Июнь — 3,

оказалось бы, что для Прибора 4 в этом квартале ТО № 3 длительностью 18 минут пришлось бы разместить в июне, тем самым T_{σ} стало бы равным 21, т.е. отклонение от среднего значения было бы большим, по сравнению с представленным на рис. 4.

Таким образом, на основе предложенных эвристических правил разработан следующий эвристический алгоритм, позволяющий увеличить число рассматриваемых ССиА при построении плана-графика технического обслуживания (см. рис. 5).

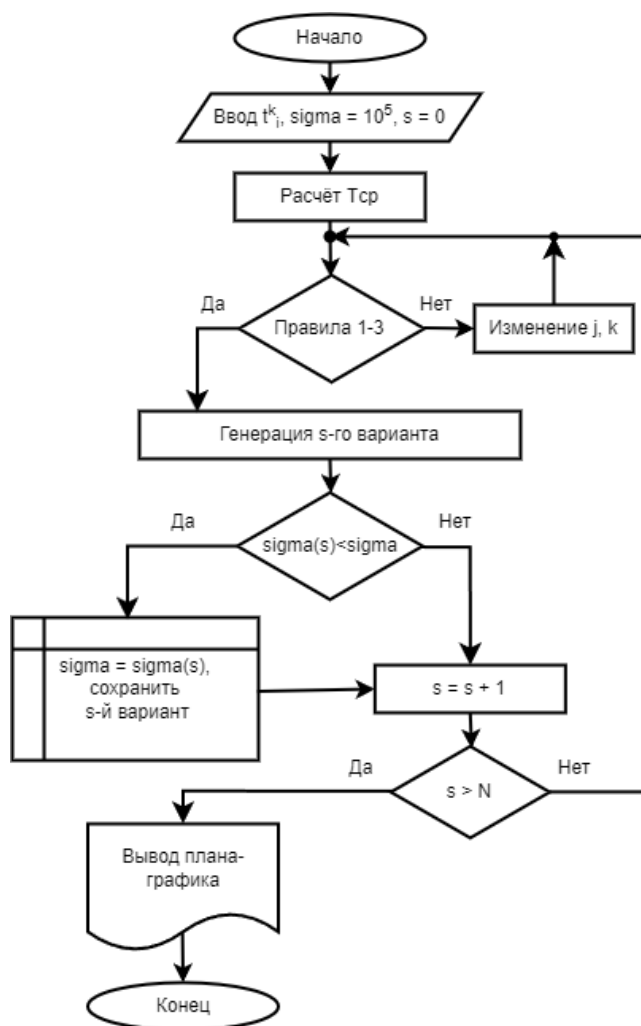


Рис. 5. Блок-схема эвристического алгоритма оптимизации технического обслуживания ССиА

При начале работы алгоритма вводятся исходные данные по продолжительностям технического обслуживания, определяется начальное значение оптимизируемого критерия $\sigma = 10^5$, задается начальное значение счетчика генерируемых вариантов плана-графика $s = 0$. Далее осуществляется расчет $T_{ср}$. С учетом сформированных эвристических правил 1–3 осуществляется последовательно генерация вариантов, для которых происходит расчет значения σ и его сравнение с уже имеющимся. В случае, если рассматриваемый вариант имеет меньшее значение критерия, он становится оптимальным, а значение σ обновляется. При рассмотрении всех вариантов ($s > N$), выводится оптимальный план-график и алгоритм заканчивает свою работу.

Вычислительный эксперимент

Разработанный алгоритм был реализован в виде соответствующей программы для ЭВМ в среде Delphi 12 Community Edition² (см. рис. 6).

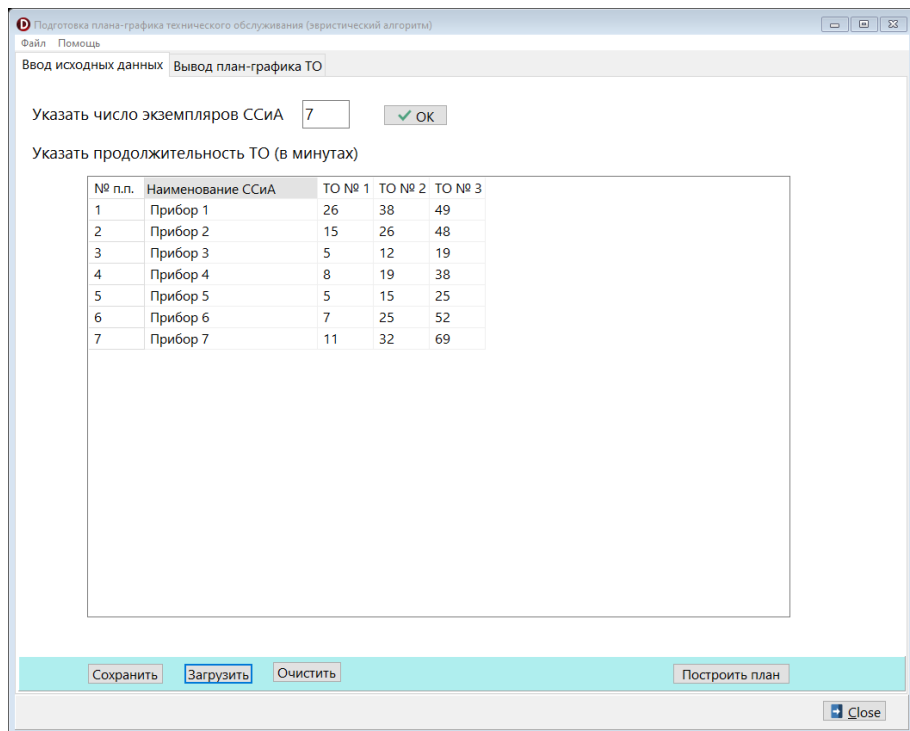


Рис. 6. Интерфейс программы «Подготовка плана-графика технического обслуживания (эвристический алгоритм)»

Для исходных данных, представленных на рис. 6, программой был составлен оптимальный план-график технического обслуживания (см. рис. 7). Время расчета составило 16 ч 56 мин 57 с (для сравнения: при составлении плана-графика полным перебором для $n = 4$ средств, время расчета оказалось равным 18 ч 34 мин 9 с).

Предложенный эвристический алгоритм позволил увеличить число средств связи, для которых требуется построить план-график технического обслуживания. Однако, для практических целей ограничение в семь приборов для построения плана-графика за разумное время, делает разработанные алгоритм и программное обеспечение применимым только для небольших подразделений, занимающихся обслуживанием технических

² URL: <https://www.embarcadero.com/ru/products/delphi/starter> — Delphi 12 Community Edition (дата обращения: 20.08.2024).

Ввод исходных данных Вывод план-графика ТО

Тср = 52 мин 45 сек Тсумм = 621 мин Ср. кв. откл. 8 мин 39 сек Сохранить в Excel

№ п.п.	Наименование средств связи и автоматизации	Заводской (инвентарный) номер	Периодичность технического обслуживания (ТО № 1, ТО № 2, ТО № 3)											
			I квартал			II квартал			III квартал			IV квартал		
			Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
1	Прибор 1		26	0	0	38	0	0	26	0	0	49	0	0
2	Прибор 2		0	15	0	0	26	0	0	48	0	0	15	0
3	Прибор 3		0	0	5	0	0	12	0	0	5	0	0	19
4	Прибор 4		8	0	0	0	0	38	19	0	0	0	0	8
5	Прибор 5		15	0	0	5	0	0	0	5	0	0	25	0
6	Прибор 6		0	0	52	0	7	0	7	0	0	0	0	25
7	Прибор 7		0	32	0	0	11	0	0	0	89	0	11	0
СУММАРНАЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ТО			49	47	57	43	44	50	52	53	74	49	51	52

Рис. 7. Оптимальный план-график технического обслуживания
 $\sigma = 8 \text{ мин } 39 \text{ с}$

средств. В связи с этим требуются иные подходы и вычислительные схемы [3], позволяющие находить оптимальный план-график технического обслуживания.

Заключение

Решение задач технического обслуживания средств связи и автоматизации определяется необходимостью повышения эффективности функционирования подразделений органов внутренних дел Российской Федерации. От организации мероприятий технического обслуживания зависит работоспособность используемых в служебной деятельности средств связи, в связи с этим предлагаемые действия, направленные на обеспечение равномерности проведения технического обслуживания, позволят обеспечить и более равномерную нагрузку на технический персонал. Предложенный эвристический алгоритм несмотря на обеспечение роста числа рассматриваемых средств связи, тем не менее позволил определить неудовлетворенность от его применения в практических подразделениях, использующих значительное число технических средств. Дальнейшее развитие этого направления и поиск новых эффективных вычислительных процедур позволит обеспечить практические подразделений действенным инструментом для решения задач планирования мероприятия технической эксплуатации, в том числе технической эксплуатации.

Список использованной литературы

1. Пьянков О.В. Организация технической эксплуатации защищенных систем связи : учебник / О.В. Пьянков. — Воронеж : Воронежский институт МВД России, 2024. — 109 с.

2. Быковских А.А. Разработка алгоритма оптимизации технического обслуживания средств связи и автоматизации / А.А. Быковских, О.В. Пьянков. — EDN IRTYEV // Вестник Воронежского института МВД России. — 2024. — № 3. — С. 68–75.

3. Аттетков А.В. Методы оптимизации : учебник / А.В. Аттетков, С.В. Галкин, В.С. Зарубин; под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Бауман, 2003. — 440 с.

References

1. P'yankov O.V. *Organization of Technical Operation of Secure Communication Systems*. Voronezh, Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs Publ., 2024. 109 p.
2. Bykovskikh A.A., P'yankov O.V. Development of an Algorithm for Optimizing the Maintenance of Communications and Automation Equipment. *Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii = The Bulletin of Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia*, 2024, no. 3, pp. 68–75. (In Russian). EDN: IRTYEV.
3. Attetkov A.V., Galkin S.V., Zarubin V.S.; Zarubin V.S., Krishchenko A.P. (eds.). *Optimization Methods*. Moscow, Bauman Moscow State Technical University Publ., 2003. 440 p.

Информация об авторах

Пахомова Ангелина Александровна — инженер, кафедра инфокоммуникационных систем и технологий, Воронежский институт МВД России, e-mail: pahomova.angelina2013@yandex.ru.

Пьянков Олег Викторович — доктор технических наук, профессор, заместитель начальника кафедры инфокоммуникационных систем и технологий, Воронежский институт МВД России, e-mail: ovpyankov@mail.ru.

Information about the Authors

Angelina A. Pakhomova — Engineer, Department of Information and Communication Systems and Technologies, Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, e-mail: pahomova.angelina2013@yandex.ru.

Oleg V. Pyankov — Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Head of the Department of Information and Communication Systems and Technologies, Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, e-mail: ovpyankov@mail.ru.

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the Authors

The authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Для цитирования

Пахомова А.А. Эвристический алгоритм оптимизации технического обслуживания средств связи и автоматизации / А.А. Пахомова, О.В. Пьянков. — DOI 10.17150/2713-1734.2024.6(4).438-446. — EDN GOVYMS // *System Analysis & Mathematical Modeling*. — 2024. — Т. 6, № 4. — С. 438–446.

For Citation

Pakhomova A.A., Pyankov O.V. A Heuristic Algorithm for Optimizing the Maintenance of Communications and Automation Equipment. *System Analysis & Mathematical Modeling*, 2024, vol. 6, no. 4, pp. 438–446. (In Russian). EDN: GOVYMS. DOI: 10.17150/2713-1734.2024.6(4).438-446.