



DOI 10.37539/2949-1991.2023.4.4.026

**Иванюшев Данил Романович**, Студент,  
Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург

**Ivanyushev Danil Romanovich**, Student,  
Saint-Petersburg Mining University, Saint Petersburg

**РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ТЕХНИЧЕСКОЙ  
ГОТОВНОСТИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПРЕДПРИЯТИЯ С ЦЕЛЮ  
СОКРАЩЕНИЯ ПОТЕРЬ ТРАНСПОРТНОЙ РАБОТЫ  
DEVELOPMENT OF MEASURES TO IMPROVE THE TECHNICAL  
READINESS OF THE ROLLING STOCK OF THE ENTERPRISE  
IN ORDER TO REDUCE LOSSES OF TRANSPORT WORK**

**Аннотация:** В данной статье представлен обзор исследований и работ, связанных с методами повышения и оптимизации технической готовности подвижного состава автотранспортного предприятия. Были рассмотрены подходы и методики, в основе которых лежат сетевые модели, позволяющие определить оптимальную последовательность операций технического обслуживания подвижного состава и распределение ресурсов предприятия.

**Abstract:** This article presents a review of research and works related to methods of improving and optimizing the technical availability of the rolling stock of a motor transport enterprise. Various approaches and methods have been considered, and these approaches are based on network models, which make it possible to determine the optimal sequence of operations for maintenance of the rolling stock and distribution of resources of the enterprise.

**Ключевые слова:** техническая готовность, оптимизация, сетевые модели, техническое обслуживание.

**Keywords:** technical readiness, optimization, network models, maintenance.



**Введение.** На сегодняшний день общественный транспорт играет важную роль в обеспечении мобильности городского населения. Автобусы являются одним из основных средств передвижения, обеспечивая перевозку пассажиров по различным маршрутам. Эффективность и надежность работы подвижного состава предприятия, осуществляющего городские пассажирские перевозки, напрямую влияют на качество предоставляемых транспортных услуг и удовлетворенность пассажиров.

Одной из важных характеристик транспортных средств является их техническая готовность – их способность выполнять поставленные перед ними задачи без существенных технических сбоев и простоев. Однако, неизбежно возникают ситуации, когда транспортные средства вынуждены возвращаться с линии из-за технических неисправностей, что приводит к простоям и негативно сказывается на пунктуальности и надежности общественного транспорта.

Для решения данной проблемы необходимо разработать методы и подходы, позволяющие повысить и оптимизировать техническую готовность транспортных средств и снизить количество возвратов с линии из-за технических неисправностей. В настоящее время существует широкий спектр методик и моделей, используемых для оптимизации технической готовности различных видов транспортных средств.

**Цель исследования.** Разработка мероприятий по повышению и оптимизации технической готовности подвижного состава предприятия.

**Объект исследования.** Все транспортные средства, находящиеся в эксплуатации на данном предприятии.

**Основная часть.** Техническая готовность подвижного состава является важным аспектом эффективной работы автотранспортного предприятия. Обеспечение высокой технической готовности автомобилей и других



транспортных средств является необходимым условием для обеспечения безопасности и качественного предоставления транспортных услуг.

Изучение литературы показывает, что существует множество работ, посвященных проблемам технической готовности подвижного состава автотранспортных предприятий. Однако, большинство из них ограничивается анализом отдельных аспектов данной проблемы, например, только техническими аспектами поддержания технической готовности, без учета экономических аспектов. Также многие исследования не учитывают изменения в эксплуатационных условиях автотранспортных предприятий, такие как рост грузоперевозок или изменения в законодательстве.

Тем не менее, некоторые работы предлагают различные методы и подходы к оптимизации технической готовности подвижного состава, используя комплексный подход, который учитывает как технические, так и экономические факторы. Эти исследования предлагают различные методы для оптимизации технической готовности, такие как применение современных методов диагностики технического состояния, использование программного обеспечения для планирования ремонта и технического обслуживания, и определение оптимальных интервалов проведения профилактических мероприятий.

Одной из таких работ является статья "*Research on optimization model of Equipment network maintenance Equipment*" (авторы - Wei, X.; Quan, S.; Zhuang, Y.S.; Song, A.Y.). Авторы предлагают метод, основанный на теории очередей, для оценки качества технического обслуживания и ремонта транспортных средств [1].

Проанализировав научные работы, было определено, что для повышения технической готовности подвижного состава предприятия наиболее оптимальным является выбор метода построения сетевых моделей.

Сетевые модели позволяют учесть сложные взаимосвязи между различными факторами, влияющими на техническую готовность автобусов.



Они позволяют моделировать и анализировать влияние каждого фактора на общую систему и оптимально распределить ресурсы и усилия для достижения желаемого результата.

Процесс сетевого планирования и управления (СПУ) включает в себя четыре взаимосвязанных этапа [2].

1. Описание комплекса работ, определение их продолжительности и последовательности.
2. Построение сетевого графика.
3. Расчет и анализ параметров сетевого графика.
4. Оптимизация сетевого графика, контроль и оперативное управление ходом выполнения комплексом работ.

Для составления данной модели необходимо учитывать перечень выполняемых работ, их трудоёмкость, а также последовательность их выполнения. Графики, используемые в данном контексте, обладают несколькими значимыми преимуществами:

- показывают полный объём работ;
- создают условия для наиболее эффективного использования ресурсов, облегчая распределение трудовых и материальных ресурсов;
- показывают наглядность последовательности технологически необходимых работ;
- позволяют составлять текущие, оперативные планы;
- позволяют прогнозировать сложные процессы.

Для расчета полных путей, событий и работ сетевого графика необходимо выполнить следующие расчеты:

1. Для расчета полного продолжительности пути используется формула:

$$t(L_i) = \sum^{L_i} t_{ij},$$

где -  $t_{ij}$  – продолжительность работ между  $i$ -м и  $j$ -м событиями.

Затем необходимо рассчитать продолжительность критического пути по формуле:



$$t(L_h) = \max \sum^{L_i} t_{ij},$$

После необходимо рассчитать полный резерв времени пути по формуле:

$$R(L_i) = t(L_{кр}) - t(L_i),$$

где  $t(L_{кр})$  – продолжительность критического пути

При повышении общей продолжительности работ, лежащих на пути  $L_i$ , на величину  $R(L_i)$  не увеличивает время наступления завершающего события.

2. Следующий расчет, который необходимо рассмотреть это время наступления событий.

Для удобной записи данных параметров часто применяются сетевые графики. В этих графиках соответствующий круг разделяется на четыре сектора, как показано на рисунке 1, в каждом из которых можно записать следующие данные:

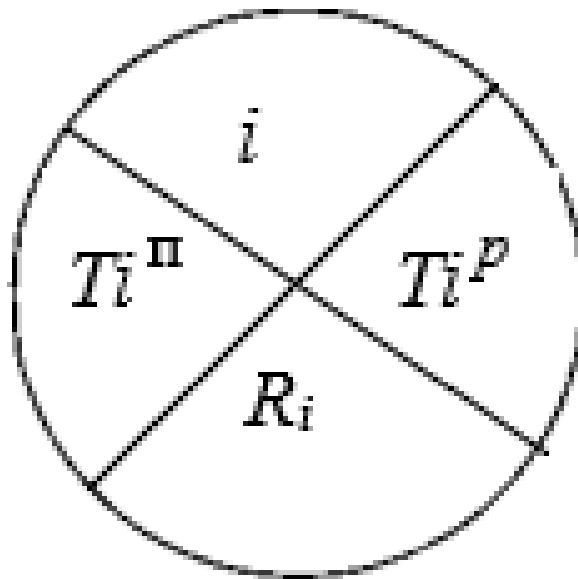


Рис. 1. Схема записи параметров сетевого графика

- в верхнем секторе записывается номер события  $i$ ;
- в правом секторе записывается ранний срок наступления события  $T_i^P$ ;
- в левом секторе записывается поздний срок свершения события  $T_i^N$ ;
- в нижнем секторе записывается резерв времени события  $R_i$ .



Для первого события ранний срок наступления события равен 0. Далее при расчетах  $T_i^p$  последовательно переходят от первого события к событию, которое находится в наибольшем удалении от него. Исходя из этого можно сделать вывод, что для другого события  $j$  показатель  $T_j^p$  определяется по формуле:

$$T_j^p = \max [T_i^p + t_{ij}],$$

где  $T_i^p$  – наиболее ранний срок наступления события  $i$ , которое предшествует событию  $j$ ,  $t_{ij}$  – продолжительность работы между событиями.

При наступлении конечного события  $k$  выдвигается предположение, что ранний срок его наступления равен позднему, то есть

$$T_k^p = T_k^n,$$

Также если рассмотреть критический путь, то будет верно следующее равенство:

$$T_{кр}^p = T_{кр}^n,$$

Для остальных событий графика  $T_i^n$  можно определить по формуле:

$$T_i^n = \min [T_j^n - t_{ij}],$$

Данный показатель характеризует допустимое время свершения события, при этом не требуя увеличения времени на выполнения общего комплекса работ.

Существует показатель, характеризующий допустимый срок наступления события  $T_j^d$ . Данный показатель должен находиться в диапазоне между наиболее ранним и наиболее поздним сроками наступления события.

Для критических событий необходимо записать следующую зависимость:

$$T_{кр.с}^p = T_{кр.с}^d = T_{кр.с}^n.$$

Также необходимо рассчитать и резервы времени событий  $R_i$  с помощью формулы:

$$R_i = T_i^n - T_i^p,$$

При этом резервы всех событий критического пути равны 0.



3. Последний расчет, необходимый для оптимизации процессов ТО и ремонта это расчет времени выполнения работ.

Данный расчет проводится только тогда, когда определены ранние и поздние сроки наступления каждого события для всех видов работ.

Сначала необходимо определить ранний срок начала работ  $t_{ij}^{p.H}$ , который равен раннему сроку наступления события, из которого начинается данная работа. Выражение для оценки через характеристики работ можно определить с помощью формулы:

$$t_{jk}^{p.H} = t_{ij}^{p.H} + t_{ij},$$

где  $t_{ij}$  – предыдущее событие,  $t_{jk}$  – следующее событие.

Далее с помощью формулы необходимо определить ранний срок окончания работы:

$$t_{ij}^{p.o} = t_{ij}^{p.H} + t_{ij}.$$

Затем с помощью формулы определим поздний срок окончания работы:

$$t_{ij}^{n.o} = t_{ik}^{n.o} - t_{ij}.$$

Потом запишем формулу, необходимую для определения позднего срока начала работы:

$$t_{ij}^{n.H} = t_{ij}^{n.o} - t_{ij}.$$

Полный резерв времени работы определяется по формуле:

$$r_{ij}^n = t_{ik}^{n.H} - t_{ij}^{p.H}.$$

При этом для всех работ, которые лежат на критическом пути полный резерв времени работы равен 0.

Свободный резерв времени работы определим по формуле:

$$r_{ij}^{CB} = r_{ij}^n - R_i - R_j.$$



После создания исходного сетевого графика и расчета основных параметров сетевой модели, необходимо провести анализ полученных результатов. В случае, если критический путь превышает заранее заданный срок, установленный руководством, требуется предпринять меры для оптимизации процесса.

Оптимизация временного аспекта сетевого графика включает в себя уменьшение продолжительности критического пути и выполняется в соответствии со следующей схемой:

- Изучаются возможности замены последовательных работ на параллельные, где это позволяют уже созданные технология, чтобы уменьшить время выполнения работ;
- Сокращается продолжительность выполнения набора работ, путем привлечения дополнительных ресурсов и использования технологических условий производства выполнения работ. Если исходный сетевой график имеет время выполнения критического пути, который удовлетворяет заданный срок, или критический путь не превышает этот срок, то сетевая модель считается оптимальной, и может быть рекомендована для утверждения и выполнения.

При оптимизации сетевого графика с фокусом на временных ограничениях, без учета ограничений по ресурсам, предполагается, что необходимые ресурсы будут доступны в запланированные сроки. Однако такой подход не исключает возможности более эффективного распределения ресурсов. Поэтому после оптимизации сетевой модели с учетом временного критерия, необходимо провести дополнительную оптимизацию с учетом ресурсов.

На рисунке 2 представлены необходимые шаги исследования, направленные для повышения и оптимизации технической готовности подвижного состава предприятия.





1. Определение целей и задач исследования			
Определение основных целей исследования, таких как сокращение времени простоя транспортных средств, оптимизация ресурсного планирования, повышение эффективности процессов технического обслуживания и ремонта и другие показатели, связанные с оптимизацией технической готовности.		Формулировка конкретных задач, которые необходимо решить для достижения поставленных целей.	
2. Анализ процессов и зависимостей			
Идентификация основных процессов, связанных с технической готовностью подвижного состава, таких как планирование технического обслуживания, управление запасными частями, ремонтные работы и другие.		Анализ взаимосвязей и зависимостей между процессами, их последовательности и взаимодействия, чтобы понять, как изменения в одном процессе могут влиять на другие.	
3. Построение сетевой модели			
Создание сетевой модели, которая отражает процессы и зависимости между ними.	Определение узлов и дуг сетевой модели, где узлы представляют этапы процессов, а дуги отображают последовательность выполнения задач.	Определение временных ограничений, ресурсов и других параметров, связанных с каждым этапом процесса.	
4. Анализ и оптимизация сетевой модели			
Использование методов анализа сетевых моделей, таких как критический путь (Critical Path Method, CPM) или метод программирования сетевых моделей (Program Evaluation and Review Technique, PERT), для определения наиболее критических этапов и путей в процессе.	Выявление узких мест и факторов, влияющих на техническую готовность подвижного состава на основе анализа сетевой модели.	Использование методов оптимизации сетевых моделей, таких как сжатие графика (crashing) или перераспределение ресурсов, для улучшения производительности и снижения времени выполнения процессов.	Проведение сценарного анализа, изменяя параметры модели и оценивая их влияние на техническую готовность, чтобы определить оптимальные варианты и принять взвешенные решения.
5. Внедрение и оценка результатов			
Разработка плана внедрения оптимизированных решений и изменений в процессы технической готовности на предприятии.	Реализация оптимизированных моделей и решений на практике.	Оценка и измерение результатов внедрения, включая сравнение с предыдущими показателями технической готовности, оценку эффективности и выявление улучшений.	

Рис. 2. Этапы исследования

**Выводы.** Исследование позволяет определить, что оптимизация процессов управления технической готовностью подвижного состава приводит к сокращению времени простоя транспортных средств и увеличению доступности их использования. Это позволяет снизить затраты на ремонт и обслуживание, а также повысить эффективность использования ресурсов предприятия.



*Список литературы:*

1. Wei, X.; Quan, S.; Zhuang, Y.S.; Song, A.Y. Research on optimization model of Equipment network maintenance Equipment. *J. Physics: Conf. Ser.* 2021, 1885, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1885/5/052002>.
2. Safiullin R. N., Safiullin R. R. Method of forming an integrated automated control system for intelligent objects. // Москва: CEUR Workshop Proceedings this link is disabled , V 2922, 2021. pp. 17 - 26.
3. Attux, R.R.D.F.; Loiola, M.B.; Suyama, R.; De Castro, L.N.; Von Zuben, F.J.; Romano, J.M.T. Blind Search for Optimal Wiener Equalizers Using an Artificial Immune Network Model. *EURASIP J. Adv. Signal Process.* 2003, 2003, 460216, <https://doi.org/10.1155/s1110865703303014>.