

# ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ГОТОВНОСТИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА АВТОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

## STATEMENT OF THE PROBLEM OF DETERMINING THE TECHNICAL AVAILABILITY OF THE MOTIVE POWER OF AUTOMOBILE OPERATING COMPANY

**H. Salih  
S. Egorov  
A. Zatonsky  
M. Felker**

*Summary.* Approach for the determining the technical availability of the motive power of automobile operating company is proposed. The approach is based on the aggregating and processing of the statistical information about usage of the transport vehicles of the company, proposed informational model for securement of the technical availability of the motive power and solution of an optimization problem of determining the optimal time for the vehicle maintenance according to the operational program of the company.

*Keywords:* allocation of resources, statistics, maintenance, technical availability.

**Салих Хайдер Сабах**

Аспирант, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»  
hayder85\_eng@yahoo.com

**Егоров Сергей Яковлевич**

Д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»  
egorovsy@yandex.ru

**Затонский Андрей Владимирович**

Д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»  
zhenon2000@yandex.ru

**Фелькер Мария Николаевна**

К.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»  
erymarya@yandex.ru

*Аннотация.* Предложен подход к определению технической готовности подвижного состава автотранспортного предприятия. Подход базируется на сборе и обработке статистической информации об использовании транспортных средств предприятия, предложенной информационной модели обеспечения технической готовности транспортных средств и решения оптимизационной задачи определения времени вывода автотранспорта в ремонт с учетом производственной программы предприятия.

*Ключевые слова:* распределение ресурсов, статистика, ремонт, техническая готовность.

## Введение

Современные тенденции в реализации крупных строительных проектов в РФ и в мире, важность которых подчеркивается на самом высоком уровне [1], имеют особенности в части транспортного обеспечения работ. Эффективность эксплуатации машин и механизмов на крупных и распределенных объектах, а также в рамках крупных логистических структур, обеспечивающих строительство нескольких объектов, во многом определяют итоговую экономическую и временную эффективность строительства [2]. Для предприятия с доступным автопарком порядка тысячи транспортных средств (ТС) и десятками обеспечиваемых объектов широко распространенные методы планирования давно признаны малоэффективными [3]. Даже такие современные подходы, как гибридные методы решения транспортных задач [4], обеспечение высококачественной информационной поддержки [5], методы и модели сетевого планирования [6, 7] на практике оказываются малоприменимыми, например, из-за сложных клима-

тических условий [8], вызывающих пониженную техническую готовность транспортных средств, либо просто из-за сложностей в организации диагностики, планового или аварийного ремонта подвижного состава. Последнее особенно актуально как в условиях России, с учетом высокого износа транспортного парка и качества отечественных автомобилей [3], так и любых мировых строительных площадок с тяжелыми условиями эксплуатации. К последним относится, например, Ирак и Сирия, где в ближайшее время предполагается реализация крупных инфраструктурных проектов [9]. В последнем случае жаркие и пустынные условия ведения работ вызывают поломки транспортных средств, даже если не принимать во внимание прочие очевидные опасности, а удаленность территории-реципиента от источников снабжения особенно остро ставит вопрос снижения непродуктивных затрат. Поэтому проблема разработки новых методов повышения эффективности транспортного обеспечения крупных и распределенных строительных объектах в условиях затрудненной оперативной диагностики и ремонта является крайне важной и актуальной.

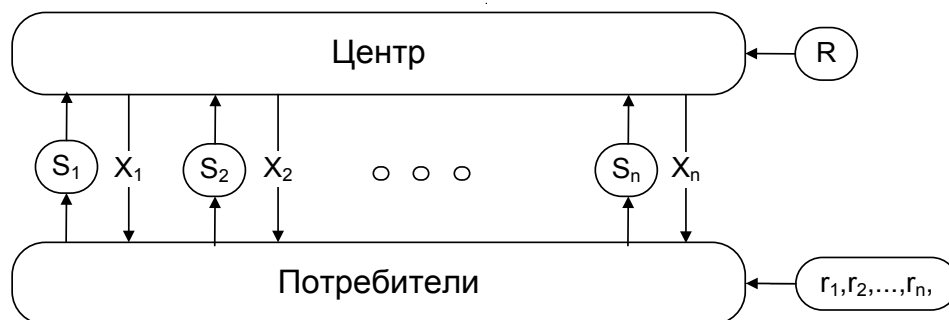


Рис. 1. Схема, иллюстрирующая постановку задачи

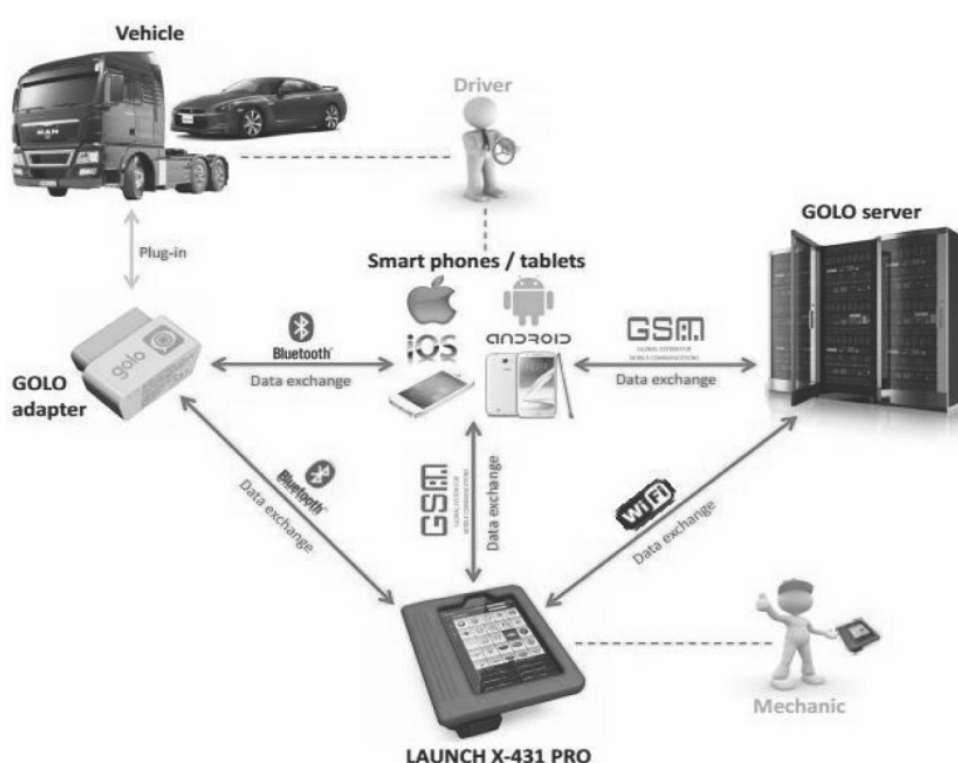


Рис. 2. Общая схема обеспечения доступности информации о диагностике транспортных средств

Очевидным подходом к решению задач подобного класса является создание математической или модели использования транспорта и ее применение для поддержки принятия решений [10]. Однако в вышеописанных условиях модель естественным образом получится чрезвычайно громоздкой, и ее применение для улучшения решений по использованию транспорта будет затруднительно. Для уменьшения размерности задачи применяются различные подходы, например, использование мультиагентных систем (МАС) [11]. Однако собственная сложность реализации таких моделей, доказательства их адекватности и определения погрешности, проблемы с формированием правил поведения агентов

общеизвестны. В классической МАС [12] в теории предполагается наличие неких датчиков состояния объектов, на основании показания которых выбирается алгоритм деятельности и, соответственно, метод управления. В рассматриваемой задаче они подменяются информацией, принимаемой от людей, и возникают множественные сложности в смысле ее обоснованного применения для принятия решений [13].

Поэтому целесообразно применение одного из основных принципов системного анализа, укрупнения объектов до систем и последовательного согласования их целей, что позволит на каждом уровне управления

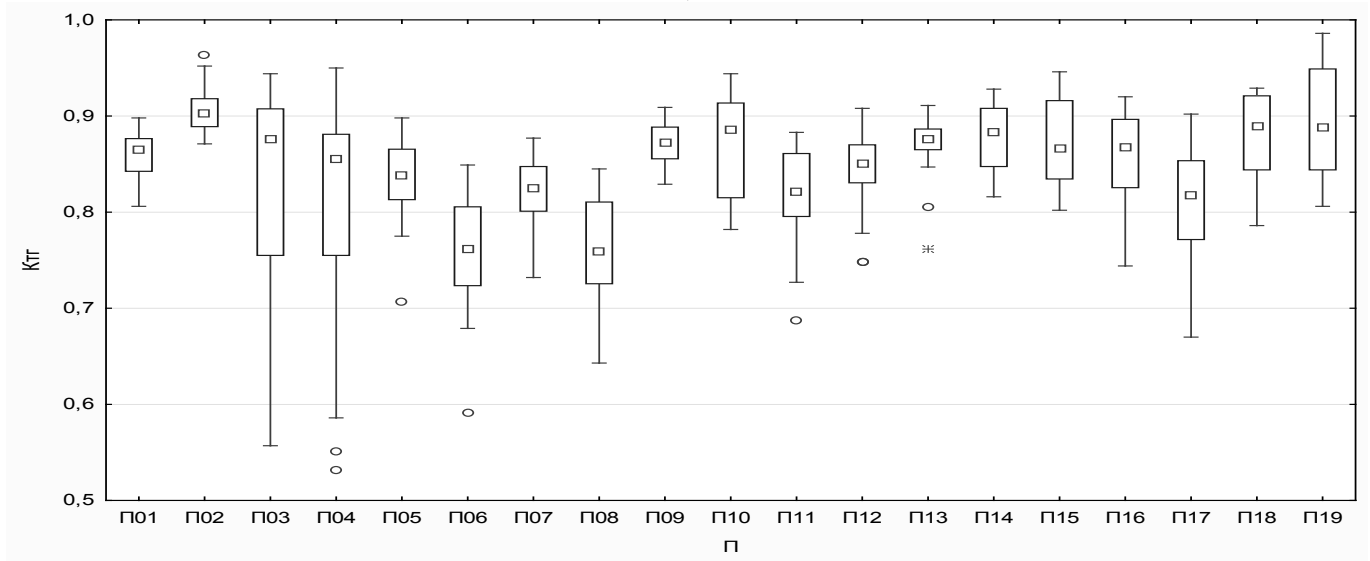


Рис. 3. Результаты обработки статистических данных о технической готовности автопарка предприятий П01 — П19

решать независимые задачи. Формализация методов распределения транспортных средств по строительным объектам в такой постановке, в частности, позволит уменьшить влияние человеческого фактора, описанного выше, и достичь определенного повышения эффективности транспортного обеспечения.

### Информационная модель обеспечения технической готовности ТС

Постановка задачи, вне зависимости от ее масштаба и размерности, очевидна. Имеется определенное количество ресурса  $R$ , в данном случае, транспортных средств, подлежащих динамическому распределению между потребителями (рис. 1).

По запросу  $S_i$ , поступившему от  $i$ -го потребителя, центр принимает решение о выделении ему некоторой части ресурса  $X_i$ . Очевидно, что

$$\sum_i X_i \leq R, X_i \leq S_i.$$

В предельном случае, когда нет дефицита ресурса

$$\sum_i S_i \leq R,$$

наилучшим решением будет полное удовлетворение спроса  $X_i = S_i$ . Во всех остальных случаях принятие решения о величине  $\delta_i = S_i - X_i, S_i > X_i$  базируется как на учете особых свойств системы и отдельных объектов, так и на оценке эффективности последствий решений.

Одним из оснований отказа в выделении транспорта является его фактическая недостаточная техническая готовность. В условиях большой и распределенной системы доставка диагностической и справочной информации о готовности подвижного состава будет несколько отличаться от традиционной, принятой, например, на компактных станциях технического обслуживания (СТО), приведенной на рис. 2 [14].

Невозможность коммуникации с адаптерами самодиагностики, продиктованная расстояниями, неполным покрытием области деятельности сотовыми сетями и другими причинами, вынуждает использовать дополнительные методы поддержки принятия решений в условиях отсутствия достоверной информации. В то же время статистический анализ деятельности нескольких предприятий, проведенный по открытой информации, показывает, что в зависимости от условий деятельности и загруженности, техническая готовность предприятия в целом может весьма существенно варьироваться (рис. 3). Если анализировать линейную корреляцию готовности со значением разных факторов, то наибольшая зависимость наблюдается от объемов перевозок, то есть загруженности автотранспортного предприятия заказами  $S_i$ .

Обычные методики учета риска непредоставления транспортного средства потребителю [15], построения карт риска и т.п., затрудняются в случае несистемности возникновения рисков. В противном случае, например, можно было бы использовать подход, описанный в [16], когда техническая готовность каждого отдельно взятого транспортного средства между техническими

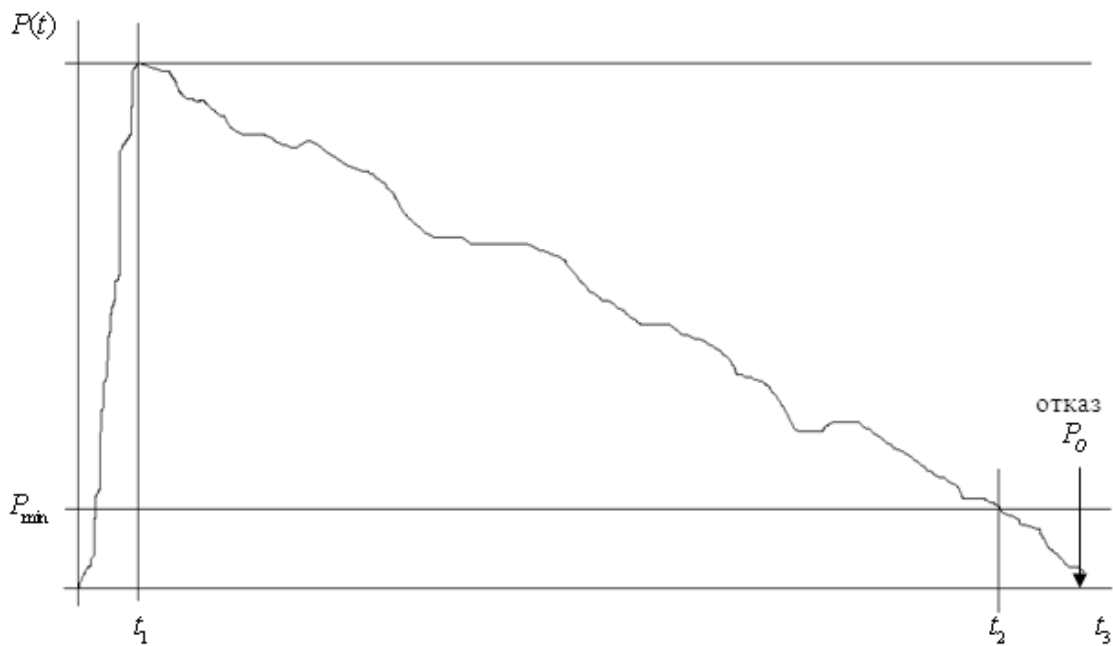


Рис. 4. К иллюстрации линейного изменения технической готовности ТС во времени

обслуживаниями и мелкими ремонтами выражается асимптотическо-периодической функцией. Применительно к рассматриваемой задаче этот подход все же можно использовать и в условиях затрудненности связи, если работы происходят на большой территории с примерно сопоставимыми условиями. Наличие большого автопарка здесь выступает положительным фактором, так как позволяет за разумно малое время собрать статистику и определить коэффициенты в линейных  $P_1(t) = a_0 - a_1 \cdot t$  или асимптотических  $P_2(t) = a_0 \cdot \exp(-a_1 \cdot t)$  приближениях динамической функции готовности транспортного средства, то есть, в общем виде,  $P_j(t) = f(t, a_{j1}, a_{j2}, \dots, a_{jk})$ . Поскольку давно известно, что надежностные показатели любого оборудования чаще меняются нелинейно, чем линейно [17], выбор функции готовности будет сводиться к уточнению первоначального линейного представления

$$P_1(t) = a + b \cdot t / P_1(t) \geq P_{\min}, a > 0, b < 0'$$

где  $P_{\min}$  это очевидное условие работоспособности (превышения минимальной технической готовности) транспортного средства. Если линейное приближение окажется не соответствующим данным статистики, производится выбор более сложной нелинейной модели  $P = P(t)$ :

1. сверхлинейной

$$P_2(t) : \frac{d}{dt} \left| \frac{dP_2(t)}{dt} \right| > 0$$

(например,  $P_2(t) = -a \cdot \exp(b \cdot t) / P_1(t) \geq P_{\min}, a > 0, b > 0$ );

2. асимптотической

$$P_3(t) : \frac{d}{dt} \left| \frac{dP_3(t)}{dt} \right| < 0$$

(например,  $P_3(t) = a \cdot \exp(-b \cdot t) / P_1(t) \geq P_{\min}, a > 0, b > 0$ ).

Любая модель  $P(t)$  создается регрессионным методом — по статистическим трендам изменения готовности каждого вида транспорта определяется аппроксимирующий закон, затем производится уточнение коэффициентов.

Качественно тренд условно линейной технической готовности показан на рис. 4, где  $T_{\text{раб}}$  — интервал готовности ТС,  $T_{\text{рем}}$  — период обслуживания или ремонта ТС.

Здесь обозначения  $t_1, t_2, t_3$  соответствуют трем очевидным периодам в эксплуатации ТС:

1. непосредственно после приема к эксплуатации или после капитального ремонта, когда в ТС возможно обнаружение недоработок или ремонтных ошибок;
2. основного периода эксплуатации ТС, когда повышается вероятность поломки или, иначе говоря, снижается техническая готовность;
3. снижение технической готовности ниже предела, при котором вероятность немедленной поломки

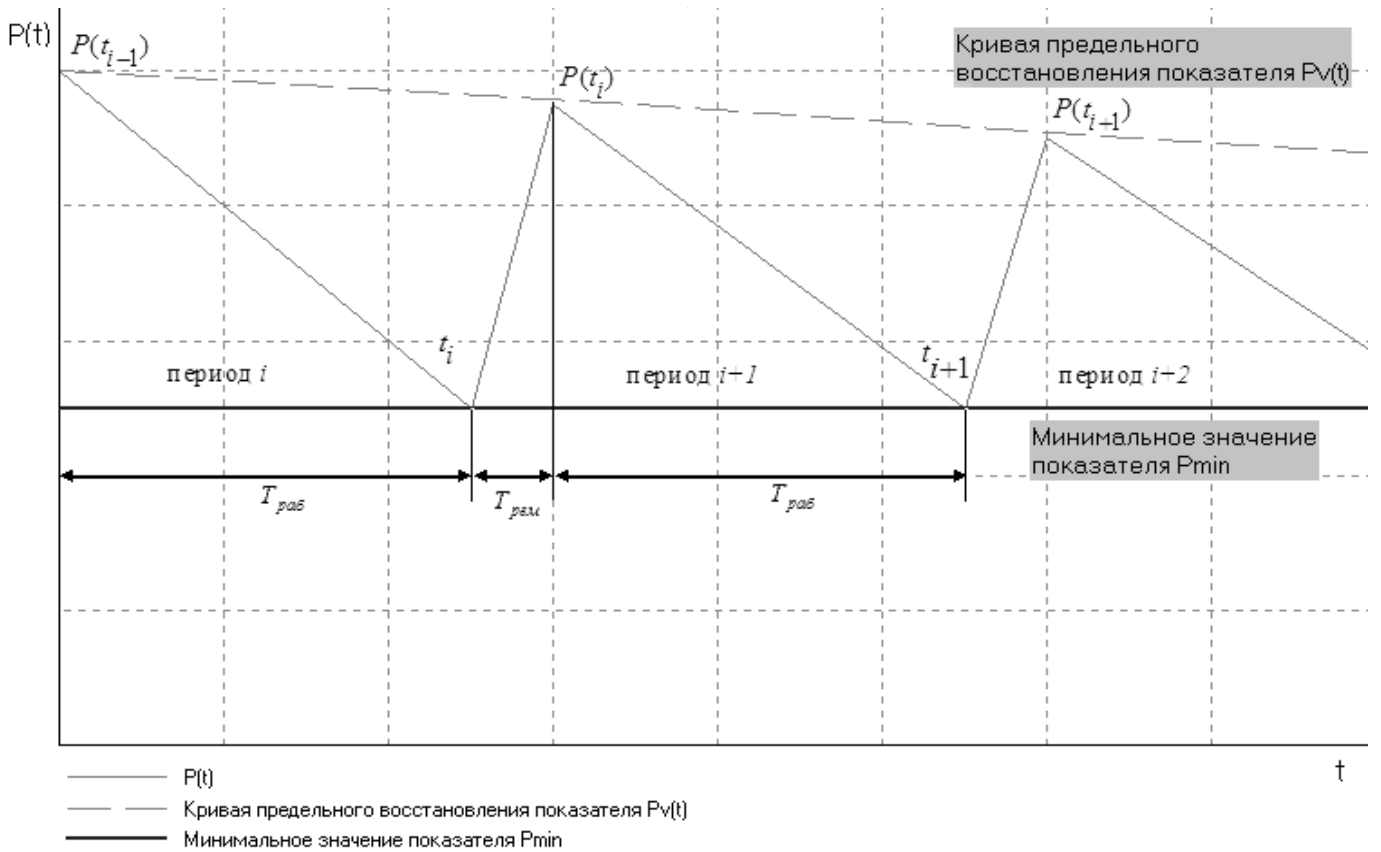


Рис. 5. К иллюстрации предельного восстановления ТС после однотипных ремонтов

выше допустимой (ТС необходимо вывести в ремонт, который занимает некоторое время  $T_{рем}$ ).

В результате ремонта техническая готовность восстанавливается, но, как правило, не до первоначальной, а несколько меньше

$$\Delta P_i(V) = \frac{P(t_i)}{P(t_{i-1})} < 1.$$

Общую тенденцию к ухудшению послеремонтной готовности транспортных средств от одного ремонта к другому можно представить кривой  $P_v(t)$  (рис. 5).

Кривая предельного восстановления  $P_v(t)$  после ремонтов проходит через точки возврата трендов  $P(t)$  с собственным углом наклона

$$\left. \frac{dP_v(t)}{dt} \right|_V = \frac{\Delta P_i(V)}{\Delta t_i} \neq 0,$$

где  $\Delta t_i = t_i - t_{i-1}$ . Если  $\Delta P_i(V)$  постоянный, то  $P_v(t)$  представляет собой линейную зависимость, в общем случае она нелинейная. Время готовности  $\Delta t_i = t_{2i} - t_{1i}$ , следовательно, зависит от вида ремонта  $V$ , начальной и установленной минимальной технической готовности:  $\Delta t_i = f(P(t_{i-1}), \Delta P_i(V), P_{min})$ . При неограниченном

цикле ремонтов наступает время  $t_{крит}$  после номера ремонта  $i_{max}$ , когда увеличение технической готовности перестает компенсировать ремонтные расходы того же типа (например, текущий ремонт ТС). В такой ситуации возможен более комплексный ремонт (например, капитальный ремонт), после которого техническая готовность восстанавливается в большей степени (но не обязательно достигает начального уровня  $P_{нач} = P(0)$ ).

### Постановка задачи

В результате информационная модель обеспечения технической готовности ТС (рис. 6) включает следующие соотношения:

- ♦ функции зависимости технической готовности от времени

$$P(t) \in \{P_1(t), P_2(t), P_3(t)\}; \tag{1}$$

- ♦ уравнения для определения коэффициента восстановления в зависимости от номера  $i$  и вида ремонта

$$\Delta P_i(V), \tag{2}$$

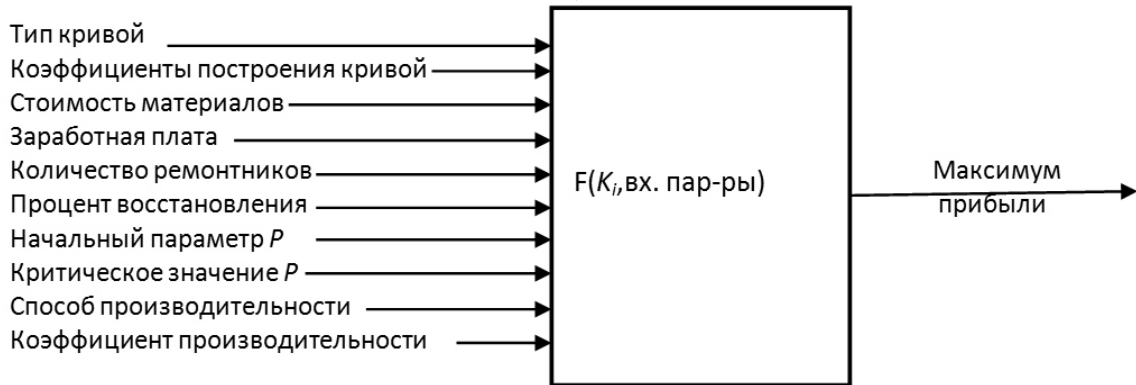


Рис. 6. Информационная схема обеспечения технической готовности транспортных средств крупного предприятия

где  $V \in \{TO, TP, KP\}$ ;

- ♦ лимитирующие условия — ремонтные ресурсы предприятия

$$\Delta R_k(V). \quad (3)$$

Финансовые ресурсы предприятия [18], выделяемые на поддержание технической готовности ТС (обозначим их  $C_1(V_i)$ ) состоят из переменных и постоянных затрат

$$C_1(V_i) = C_{1V}(V_i) + C_{1C}(V_i) \quad (4)$$

при этом важно, чтобы для любого ремонта  $V_i$ , происходящего в момент  $t_{Vi}$ , выполнялось условие:

$$C_{1C}(V_i) > 0 \quad \forall i. \quad (5)$$

Тогда задача оптимизации экономической эффективности ремонтов примет вид

$$C_{\Sigma} = \sum_{j=1}^{j_{\max}} \sum_k C_k(V_i) \rightarrow \min_i, \quad (6)$$

$$\begin{aligned} C_k(i) &\leq C_k^{\max} \quad \forall k \\ C_k(i) &\geq 0 \quad \forall k, i \\ P(t) &\geq P_{\min} \quad \forall t \end{aligned}$$

где  $k$  — номер вида ресурса для проведения  $i$ -го ремонта, начиная с самого первого и заканчивая  $i_{\max}$ , после чего транспортное средство выводится из эксплуатации. Как показано выше, после идентификации параметров модели в режиме сбора статистической информации о деятельности крупного автотранспортного предприятия, решение этой задачи оптимизации возможно путем имитационного моделирования.

Конкретизируя общую вышеприведенную модель, получим другое выражение той же самой оптимизационной задачи

$$C_{\Sigma}(t_{Vi}) = C_0(t_{Vi}) + C_{ПЗ}(t_{Vi}) \rightarrow \min, \quad (7)$$

где  $C_0(t) = C_{3ч} + C_T + C_M + C_{ТР} + C_{УЩ}$  — ресурсы на внеплановые ремонты;  $C_{ПЗ}(t) = C_{3ч} + C_M + C_{ТР}$  — ресурсы на предупредительные замены запасных частей с целью отсрочить ремонт  $V_i$ ;  $C_T$  — ресурсы на перемещение ремонтной базы;  $C_{3ч}$  — ресурсы на запасные части;  $C_M$  — ресурсы на расходные материалы;  $C_{ТР}$  — цена ремонтных работ по устранению внепланового отказа;  $C_{УЩ}$  — ущерб (недополучение прибыли) вследствие простоев ТС в нерабочем состоянии. Для каждого  $j$ -ой номенклатуры изделия рассчитываются общие затраты

$$C_{0,j}(t) = \sum_{k=1}^{N_{0,j}} C_{0,kj}, \quad C_{ПЗj}(t) = \sum_{i=1}^{N_{ПЗ,j}} C_{ПЗ,ij}, \quad (8)$$

где  $N_{0,j}$  определяет число отказов типа  $k$ , а  $N_{ПЗ,ij}$  задает количество  $i$ -ых предупредительных замен за весь цикл эксплуатации ТС.

Разумеется, ограничивающим условием для затрат снизу является необходимость обеспечения минимальной технической готовности  $P_{\min}$ , что описано выше.

### Заключение

Описанный подход позволяет, используя статистическую информацию о деятельности крупного автотранспортного предприятия, весь подвижной состав которого эксплуатируется в сопоставимых условиях, принимать обоснованные решения о заблаговременном выводе транспортных средств в ремонт соответствующего вида. Повышение общей технической готовности автотранспортного парка ведет к повышению эффективности деятельности и к менее затратному решению задач, поставленных в рамках крупных проектов государством.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Путин отметил важность строительства моста через Обь в ЯНАО [Электронный ресурс] URL: <https://ria.ru/20191219/1562599225.html> (дата обращения: 19.12.2019).
2. Анисимов А. П. Экономика, планирование и анализ деятельности автотранспортных предприятий. М.: Транспорт, 2016. — 250 с.
3. Солдатова Л.И., Иванова О. Е. Временное состояние и перспективы развития работы грузового автотранспорта в России // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2012. Т. 8. № 1 (142). С. 22–31.
4. Гладков Л.А., Гладкова Н. В. Гибридный алгоритм решения динамических транспортных задач // Известия ЮФУ. Технические науки. 2016. № 6 (179). С. 34–45.
5. Costin A., Adibfar A., Hu H., Chen S. S. Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure — Literature review, applications, challenges, and recommendations // Automation in Construction, Volume 94, October 2018, Pages 257–281.
6. Геронимус Б. Л. Экономико-математические методы в планировании на автомобильном транспорте. М.: Транспорт, 2016. 160 с.
7. Seliverstov S., Seliverstov Y. Developing principles for building transport networks of conflict-free continuous traffic // Transportation Research Procedia, Volume 36, 2018, Pages 689–699.
8. Ruparathna R., Hewage K., Sadiq R. Multi-period maintenance planning for public buildings: A risk based approach for climate conscious operation // Journal of Cleaner Production, Volume 170, 1 January 2018, Pages 1338–1353.
9. Россия выделит на восстановление Сирии около \$17 млн. структурам ООН [Электронный ресурс] URL: <https://tass.ru/politika/7362351> (дата обращения: 17.12.2019).
10. Винник А. И., Макаренко Н. Г., Смирнов А. М., Шаргаёв А. А. Алгоритм перехода к комплексной системе технического обслуживания и ремонта // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18. № 1–2. С. 161–165.
11. Tchappi I. H., Galland S., Kamla V. C., Kamgang J. C. A Brief Review of Holonic Multi-Agent Models for Traffic and Transportation Systems // Procedia Computer Science, Volume 134, 2018, Pages 137–144.
12. Бугакова Т. Ю., Соловьева Т. А. Анализ возможности использования мультиагентных технологий в задачах определения состояний объектов по геопространственным данным // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2017. Т. 9. № 2. С. 37–42.
13. Моисеева Т. В., Поляева Н. Ю. Инфокоммуникационная поддержка взаимодействия акторов в теории интересубъективного управления // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2018. Т. 45. № 2. С. 158–170.
14. Остроух А. В., Суркова Н. Е., Воробьева А. В., Салих Х. С. Концепция притрассового центра удаленной диагностики автомобилей // В мире научных открытий. 2015. № 10.3 (70). С. 1072–1081.
15. Раскатова М. И., Изотова Е. Д. Моделирование расчета производительности активной части основных средств автотранспортного предприятия // Проблемы экономики и менеджмента. 2015. № 6 (46). С. 138–142.
16. Беккер В. Ф., Плехов П. В., Затонский А. В. Управление средствами производства в системе менеджмента качества химической продукции // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2010. № 9. С. 66–72.
17. Балакирев В. С., Володин В. М., Цирлин А. М. Оптимальное управление процессами химической технологии. М.: Химия. 1978. 381 с.
18. Затонский А. В., Беккер В. Ф., Плехов П. В. Внешние связи информационной модели системы управления техническим состоянием оборудования // Современные наукоемкие технологии. 2009. № 7. С. 78–79.