УДК 656.135

ФОРМИРОВАНИЕ МОДЕЛИ СОГЛАСОВАННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЗАИНТЕРЕСОВАННЫХ СТОРОН УЧАСТНИКОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

© 2026 Е.К. Савич, А.А. Арзамасцев

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 27.04.2026

В статье рассматривается проблема повышения эффективности технического обслуживания грузового автомобильного транспорта в условиях цифровизации и роста требований к надежности эксплуатации. Объектом исследования являются процессы взаимодействия заинтересованных сторон, участвующих в обеспечении технического обслуживания, включая перевозчика, автопарк, сервисный центр и поставщиков запасных частей. Предложена модель согласованного взаимодействия заинтересованных сторон участников технического обслуживания грузового автомобильного транспорта, обеспечивающая интеграцию предиктивной диагностики в процессы техобслуживания. Модель ориентирована на формализацию ролей участников, структурирование информационных потоков и координацию управленческих решений на основе прогнозных данных о техническом состоянии транспортных средств. Особое внимание уделено синхронизации процессов планирования обслуживания, поставки запасных частей и выполнения ремонтных работ с учетом результатов предиктивного анализа. Реализация предложенной модели позволяет повысить уровень согласованности действий участников, сократить внеплановые простои транспортных средств, снизить эксплуатационные затраты и повысить обоснованность принимаемых решений. Полученные результаты могут быть использованы при разработке цифровых платформ управления техническим обслуживанием, а также при совершенствовании систем менеджмента качества в транспортных и сервисных организациях.

Ключевые слова: техническое обслуживание, грузовой автомобильный транспорт, предиктивная диагностика, согласованное взаимодействие, системы менеджмента качества.

DOI: 10.37313/1990-5378-2026-28-4-155-160
EDN: HSXYPM

ВВЕДЕНИЕ

В условиях цифровой трансформации транспортной отрасли и роста требований к надежности и экономической эффективности эксплуатации грузового автомобильного транспорта особую актуальность приобретает совершенствование процессов технического обслуживания. Традиционные подходы, основанные на регламентных и реактивных принципах обслуживания, не обеспечивают необходимого уровня адаптивности к изменяющимся условиям эксплуатации и не позволяют в полной мере учитывать фактическое техническое состояние транспортных средств. В результате увеличиваются внеплановые простои, растут затраты на ремонт и снижается общая эффективность транспортных систем.

Современный этап развития технологий характеризуется активным внедрением инструментов предиктивной диагностики, основанных на анализе данных о состоянии оборудования, использовании методов машинного обучения и интеллектуальной обработки информации. Предиктивная диагностика позволяет прогнозировать вероятные отказы и оптимизировать сроки проведения технического обслуживания, переходя от планово-предупредительной к проактивной модели управления техническим состоянием. Однако интеграция данных инструментов в существующие процессы технического обслуживания осложняется отсутствием согласованных механизмов взаимодействия между заинтересованными сторонами [1-4].

Процессы технического обслуживания грузового автомобильного транспорта включают широкий круг участников. При этом внедрение предиктивной диагностики существенно увеличивает объем и значимость информационных потоков между участниками, требует согласования решений на основе данных и изменения традиционных ролей в процессе обслуживания. Отсутствие формализованной модели взаимодействия в этих условиях приводит к фрагментации данных, несогласованности управленческих решений и снижению эффективности использования предиктивных инструментов.

Савич Екатерина Константиновна, кандидат технических наук, доцент кафедры производства летательных аппаратов и управления качеством в машиностроении. E-mail: savich.ek@ssau.ru
Арзамасцев Александр Алексеевич, аспирант. E-mail: tria16@mail.ru

Таким образом, формируется научная задача разработки модели согласованного взаимодействия заинтересованных сторон участников технического обслуживания грузового автомобильного транспорта, учитывающей интеграцию предиктивной диагностики в процессы управления техническим состоянием. Такая модель должна обеспечивать координацию действий участников на основе прогнозной информации, синхронизацию процессов принятия решений и эффективное распределение ответственности.

Целью настоящего исследования является разработка модели согласованного взаимодействия заинтересованных сторон с учетом внедрения предиктивной диагностики, направленной на повышение надежности, снижение эксплуатационных затрат и минимизацию простоев транспортных средств.

МОДЕЛЬ СОГЛАСОВАННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Модель согласованного взаимодействия формируется как целостная система координации действий всех участников процесса технического обслуживания, обеспечивающая повышение качества, предсказуемости и устойчивости результатов обслуживания [5-6]. В её основе лежит принцип интеграции интересов и ответственности ключевых субъектов: перевозчика, автопарка, сервисного центра и поставщиков запасных частей. Такое объединение позволяет устранить фрагментарность процессов, повысить прозрачность потоков данных и обеспечить своевременное принятие решений на основе объективных технических и организационных показателей. На рис. 1 представлена схема согласованного взаимодействия.

Рис. 1. Схема согласованного взаимодействия

Центральным элементом модели является согласованный обмен информацией, который включает передачу данных о режиме эксплуатации, состоянии узлов и агрегатов, выявленных неисправностях и результатах диагностики. Согласованное взаимодействие между всеми участниками создаёт условия для снижения вариативности и ошибок, связанных с человеческим фактором. Производитель техники и поставщики комплектующих обеспечивают доступ к актуальной технической документации и данным о надёжности, а цифровая инфраструктура объединяет поток данных в единую платформу, что позволяет реализовывать механизмы предиктивной диагностики и планирования обслуживания.

Функциональная структура модели предусматривает распределение ролей и ответственности. Автопарк отвечает за корректное использование техники и своевременную фиксацию эксплуатационных параметров; сервисный центр – за выполнение технического обслуживания по утверждённым процедурам; поставщик запчастей – за своевременное обеспечение качественными запасными частями; перевозчик согласовывает взаимодействия всех участников.

Задача модели состоит в том, чтобы определить такие согласованные действия всех участников системы технического обслуживания грузового автомобильного транспорта, которые обеспечивают минимизацию простоев и отказов техники при соблюдении ресурсных ограничений, нормативных требований и интересов каждой стороны, что в итоге приводит к росту качества обслуживания и максимизацию прибыли при осуществлении перевозок.

В формализованном виде данная задача имеет вид:

$$f_i(v,c,t,q) = Ц_{ПРi} - З_i(v,c,t,q) \xrightarrow[v\in V, c\in C, t\in T, q\in Q]{} \max;$$

$$З_i(v,c,t,q) = З_i^{прям} + З_{ТО}(v,c,t,q) \xrightarrow[v\in V, c\in C, t\in T, q\in Q]{} \min,$$

где $f_i(,c,t,q)$ – прибыль перевозчика от осуществления i-ой перевозки груза;

$Ц_{ПРi}$ – договорная цена i-ой перевозки груза;

$З_i(v,c,t,q)$ – затраты на осуществление i-ой перевозки груза;

$V = \{1,2,\ldots,H\}$ - множество грузовых транспортных средств;
$T = \{1,2,\ldots,H\}$ - период планирования (дни);
$C = \{1,2,\ldots,K\}$ – множество критических компонентов транспортного средства (узлов/агрегатов);
$Q = \{1,2,\ldots,L\}$ – множество возможных состояний компонентов транспортного средства;
$q_{vct} \in Q$ – состояние компонента c транспортного средства v в момент времени t.

Для оценки эффективности перевозчика рассмотрена стратегия его поведения в процессе технического обслуживания. Задача перевозчика направлена на рост качества обслуживания и максимизацию прибыли при осуществлении перевозок, за счет минимизации нарушения транспортного графика и своевременного планирования окон простоя и согласования техобслуживания. Модель описывает задачу принятия решений перевозчиком на этапе формирования планов потребности в техническом обслуживании в заданный интервал времени. Оптимальная стратегия поведения перевозчика в процессе оказания услуг по перевозке сводится к минимизации простоев грузового автомобильного транспорта и срывов графика перевозок.

Задачей автопарка является определение потребности в техническом обслуживании, формирование приоритетов и предоставление достоверных данных о техническом состоянии транспортного средства.

Основная задача сервисной организации – обеспечение качественного и своевременного выполнения технического обслуживания, оптимально распределяя ресурсы и координируя процесс с остальными участниками.

При этом поставщик запчастей должен гарантировать доступность и своевременную поставку необходимых комплектующих для выполнения технического обслуживания без задержек.

Для формирования взаимодействия по повышению качества оказания услуг по транспортировке грузов перевозчик должен осуществить затраты на внедрение предиктивной диагностики в процесс технического обслуживания грузового автомобильного транспорта $З_{ТО}^{ПД}(v,c,t,q)$. Чтобы получить увеличение прибыли при внедрении предиктивной диагностики в процесс технического обслуживания необходимо:

$$З_{ТО}^{ПД}(v,c,t,q) = З_{ТО}^{ПД(прям)}(v,c,t,q) + З_{ТО}^{ПД(кос)}(v,c,t,q) \xrightarrow[v\in V,c\in C,t\in T,q\in Q]{} \min;$$

$$З_{ТО}^{ПД}(v,c,t,q) < З_{ТО}(v,c,t,q);$$

$$З_{ТО}^{ПД(прям)}(v,c,t,q) \ll З_{ТО}(v,c,t,q);$$

$$З_{ТО}^{ПД(прям)}(v,c,t,q) \xrightarrow[v\in V,c\in C,t\in T,q\in Q]{} \min.$$

Расчет косвенных затрат повышение качества технического обслуживания грузового автомобильного транспорта за счет внедрения предиктивной диагностики осуществляется по регрессионной модели:

$$З_{ТО}^{ПД(кос)}(v,c,t,q) = З_{ОБОР} + З_{ПД} + З_{ИНТГ} + З_{ПО} + З_{ТОПДОБ} + З_{БД} + З_{МОДЕЛ} + ;$$
$$+З_{ОБУЧ} + З_{РЕГ} + З_{УПР} + +З_{КБ} + З_{НД}.$$

При этом перечень затрат на внедрение предиктивной диагностики представляет затраты на:
новое оборудование – $З_{ОБОР}$;
инфраструктуру сбора и передачи данных – $З_{ПД}$;
интеграцию с существующими цифровыми системами организации – $З_{ИНТГ}$;
программное обеспечение – $З_{ПО}$;
техническое обслуживание оборудования и программного обеспечения – $З_{ТОПДОБ}$;
связь и хранилища данных – $З_{БД}$;
разработку моделей предиктивной диагностики – $З_{МОДЕЛ}$;
обучение персонала – $З_{ОБУЧ}$;
изменение регламентов технического обслуживания – $З_{РЕГ}$;
изменение системы управления – $З_{УПР}$;
кибербезопасность – $З_{КБ}$;
изменение внутренней нормативной документации организации – $З_{НД}$.

Исходя из этого, целевая функция оптимизации сводится к минимизации прямых суммарных затрат на техническое обслуживание при внедрении предиктивной диагностики:

$$\min З_{ТО}^{ПД(прям)}(v,c,t,q) = \sum_{t\in T}\left[\begin{array}{c}\sum_{v\in V}\sum_{c\in C} З_{ПРОСТ}(v,c,t)\times q_{vct} + \sum_{v\in V}\sum_{c\in C} З_{РЕМ}(c)\times u_{vct}^{S} + \\ + \sum_{v\in V}\sum_{c\in C} З_{ЗАП}(c)\times u_{vct}^{P} + \sum_{v\in V}\sum_{c\in C} З_{ХРАН}(c)\times I_{ct} + \sum_{v\in V} З_{ШТРАФ}(v)\end{array}\right];$$

где $З_{ПРОСТ}$ – затраты на простой грузового автомобильного транспорта, отражающие финансовый ущерб;

$З_{РЕМ}$ – затраты на ремонт, отражающие стоимость выполнения ремонта (работа персонала, расход материалов, амортизация оборудования и др.);

$З_{ЗАПЧ}$ – затраты на приобретение запчастей у поставщика;

$З_{ХРАН}$ – затраты на хранение единицы компонента.

$u_{vt}^{A} \in \{0,1\}$, где 1 – если транспортное средство *v* назначено на маршрут в период *t*, 0 – если транспортное средство доступно для техобслуживания.

$u_{vct}^{S} \in \{0,1\}$, где 1 – если запланирован ремонт компонента с транспортного средства *v* в период *t*.

$u_{vct}^{P} \in \{0,1\}$, где 1 – если запчасти для компонента с транспортного средства *v* доставлены к периоду *t*.

Так как, транспортное средство не может одновременно выполнять перевозку и проходить техобслуживание, то ограничение на доступность транспортного средства будет иметь вид:

$$u_{vct}^{S} + u_{vt}^{A} \leq 1, \forall v, c, t.$$

При этом, пропускная способность сервисной службы описывается как:

$$\sum_{v \in V} \sum_{c \in C} u_{vct}^{S} \leq M_{t}^{S}, \forall t,$$

где M_{t}^{S} – пропускная способность сервиса в период *t*.

Так как, ремонт возможен только при наличии запасных частей, то ограничение на ремонт без запчастей будет иметь вид:

$$u_{vct}^{S} \leq u_{vct}^{P}, \forall v, c, t.$$

Ограничение на время поставки:

$$u_{vct}^{P} \leq |t \geq t_0 + L_c,$$

где t_0 – время заказа, L_c – срок поставки для деталей компонента *c*.

Ограничение склада сервиса:

$$\sum_{c \in C} I_{ct} \times w_c \leq W_{max},$$

где I_{ct} – запас деталей компонента c в момент времени t, w_c – объем деталей; W_{max} – емкость склада.

Так как, внедрение предиктивной диагностики позволяет формировать информацию:

- оценка вероятности отказа компонента c : $p_{vc}(t + \Delta t)$;
- оценка остаточного ресурса компонента c : $r_{vc}(t)$;
- момент планового времени технического обслуживания:

$$\tau_v = f\left(r_{vc}(t), p_{vc}(t + \Delta t)\right).$$

Следовательно, предиктивная информация для вектора диагностических параметров транспортного средства v автопарка: $x_v(t) \in \mathbb{R}^n$, имеет вид:

$$I(t) = \{p_{vc}(t), r_{vc}(t), \tau_v\}_{vc}, \tau_v \leq t + r_{vc}(t).$$

Исходя из полученной информации, для каждой машины v и ее узлов c с прогнозом остаточного ресурса $r_{vc}(t)$ необходимо назначить такой момент начала обслуживания τ_v, при котором все участники подтверждают возможность выполнения операции.

На рис. 2 представлен алгоритм согласованного взаимодействия заинтересованных сторон участников технического обслуживания грузового автомобильного транспорта. Результатом процесса согласования является назначенное время обслуживания соответствующее первому доступному моменту времени, удовлетворяющему всем участникам процесса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования решена задача разработки модели согласованного взаимодействия заинтересованных сторон участников технического обслуживания грузового автомобильного транспорта с учетом внедрения предиктивной диагностики. Достигнута поставленная цель, заключающаяся в формировании подхода, обеспечивающего координацию действий перевозчика, автопарка, сервисного центра и поставщиков запасных частей на основе прогнозной информации о техническом состоянии транспортных средств.

Предложенная модель обеспечивает согласованное функционирование всех участников технического обслуживания, устраняет разрывы в коммуникациях, минимизирует неопределённость и формирует единое пространство ответственности и данных. Итогом внедрения становит-

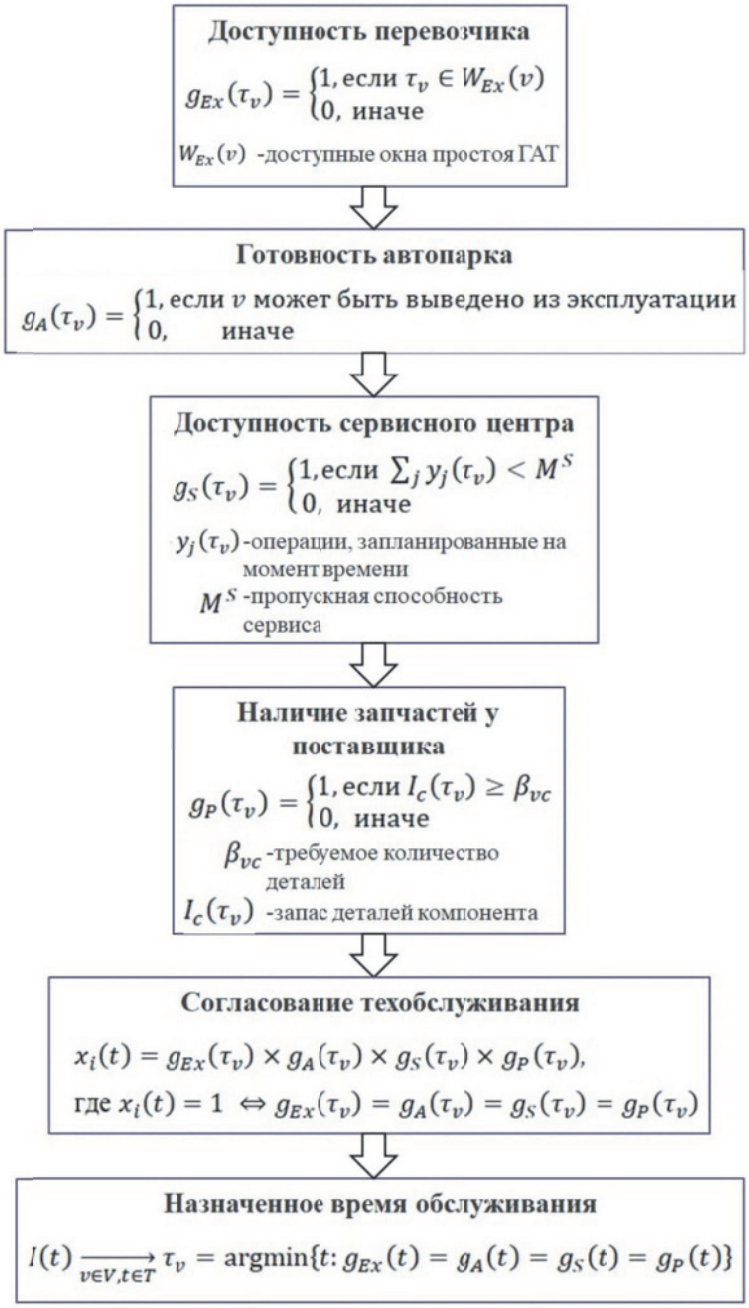

Рис. 2. Алгоритм согласованного взаимодействия заинтересованных сторон – участников технического обслуживания грузового автомобильного транспорта

ся измеримое повышение качества техобслуживания, проявляющееся в снижении аварийности, уменьшении времени простоя, росте надёжности автопарка и оптимизации эксплуатационных затрат. Предложенные решения могут быть использованы для повышения прозрачности взаимодействия участников, улучшения качества планирования и обоснованности принимаемых управленческих решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Малихина, О. В.* Цифровизация как способ оптимизации процесса транспортировки негабаритного груза и технического обслуживания транспортных средств / О. В. Малихина, А. С. Кокорев // Транспортное дело России. – 2024. – № 7. – С. 91-93.
2. *Савич, Е. К.* Проблемы повышения эффективности процессов эксплуатации грузового автомобильного транспорта / Е. К. Савич, А. А. Арзамасцев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2025. – № 9. – С. 260-265. – DOI 10.24412/2071-6168-2025-9-259-260.
3. *Колмыков, И. А.* Предиктивная аналитика и «цифровая зрелость» / . И. А. Колмыков // ИСУП. – 2020. – № 6. – С. 50-53.

4. *Петров, А. Н.* Предиктивная аналитика и техническое обслуживание транспортных средств /, А. Н.. Петров – М.: Техносфера, 2020. – 312 с.
5. *Зрячев, С. А.* Состояние теории и практики технического обслуживания и ремонта авиационных компонентов / С. А. Зрячев, С. Н. Ларин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2018. – № 8. – С. 14-17.
6. *Гречников, Ф.А.* Разработка математической модели согласованного взаимодействия в системе «поставщик-заказчик» на примере автомобильной продукции / Ф. А. Гречников, И. Н. Хаймович, К. Б. Герасимов, Я. А. Агаповичева // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 5. – С. 173-177.

FORMATION OF A MODEL FOR COORDINATED INTERACTION OF STAKEHOLDERS IN THE MAINTENANCE OF FREIGHT MOTOR TRANSPORT SYSTEMS

© 2026 E.K. Savich, A.A. Arzamastsev

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev,
Samara, Russia

The paper addresses the problem of improving the efficiency of freight motor vehicle maintenance under conditions of digital transformation and increasing requirements for operational reliability. The object of the study is the interaction processes among stakeholders involved in maintenance provision, including the carrier, vehicle fleet operator, service center, and spare parts suppliers. A model of coordinated interaction among stakeholders in freight motor vehicle maintenance is proposed, enabling the integration of predictive diagnostics into maintenance processes. The model is aimed at formalizing participant roles, structuring information flows, and coordinating managerial decisions based on predictive data regarding the technical condition of vehicles. Special attention is given to the synchronization of maintenance planning processes, spare parts supply, and repair operations, taking into account the results of predictive analytics. The implementation of the proposed model makes it possible to increase the level of coordination among participants, reduce unplanned vehicle downtime, lower operational costs, and improve the validity of managerial decision-making. The obtained results can be applied in the development of digital maintenance management platforms, as well as in the improvement of quality management systems in transport and service organizations.
Keywords: maintenance, freight motor transport, predictive diagnostics, coordinated interaction, quality management systems.

DOI: 10.37313/1990-5378-2026-28-4-155-160
EDN: HSXYPM

REFERENCES

1. *Malihina, O. V.* Cifrovizaciya kak sposob optimizacii processa transportirovki negabaritnogo gruza i tekhnicheskogo obsluzhivaniya transportnyh sredstv / O. V. Malihina, A. S. Kokorev // Transportnoe delo Rossii. – 2024. – № 7. – S. 91-93.
2. *Savich, E. K.* Problemy povysheniya effektivnosti processov ekspluatacii gruzovogo avtomobil'nogo transporta / E. K. Savich, A. A. Arzamascev // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2025. – № 9. – S. 260-265. – DOI 10.24412/2071-6168-2025-9-259-260.
3. *Kolmykov, I. A.* Prediktivnaya analitika i «cifrovaya zrelost'» / . I. A. Kolmykov // ISUP. – 2020. – № 6. – S. 50-53.
4. *Petrov, A. N.* Prediktivnaya analitika i tekhnicheskoe obsluzhivanie transportnyh sredstv /, A. N.. Petrov – M.: Tekhnosfera, 2020. – 312 s.
5. *Zryachev, S. A.* Sostoyanie teorii i praktiki tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta aviacionnyh komponentov / S. A. Zryachev, S. N. Larin // Nauchno-tekhnicheskij vestnik Povolzh'ya. – 2018. – № 8. – S. 14-17.
6. *Grechnikov, F.A.* Razrabotka matematicheskoj modeli soglasovannogo vzaimodejstviya v sisteme «postavshchik-zakazchik» na primere avtomobil'noj produkcii / F. A. Grechnikov, I. N. Hajmovich, K. B. Gerasimov, Ya. A. Agapovicheva // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2024. – № 5. – S. 173-177.

Ekaterina Savich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. E-mail: savich.ek@ssau.ru
Alexander Arzamastsev, Graduate Student. E-mail: tria16@mail.ru