

На правах рукописи

Ефремова Виктория Александровна



**КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА АНАЛИТИЧЕСКОЙ
ОЦЕНКИ УРОВНЯ АВТОМАТИЗАЦИИ
ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН**

*Специальность 2.9.8. Интеллектуальные транспортные
системы*

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Санкт-Петербург – 2026

Диссертация выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II».

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Сафиуллин Равил Нуруллович

Официальные оппоненты:

Макарова Ирина Викторовна

доктор технических наук, профессор, Набережночелнинский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», кафедра сервиса транспортных систем, заведующий кафедрой;

Клебанов Дмитрий Алексеевич

кандидат технических наук, общество с ограниченной ответственностью «Пиклема», руководитель направления перспективных разработок.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», г. Москва

Защита диссертации состоится **29 июня 2026 г. в 11:00** на заседании диссертационного совета ГУ.12 Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, д.2, **аудитория № 1171.**

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 29 апреля 2026 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



ВАСИЛЬЕВА
Наталья Васильевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Изменение качественных и количественных эксплуатационных показателей функционирования транспортно-технологических машин при внедрении информационно-телекоммуникационных технологий, автоматизированных систем управления в процессе движения транспортно-технологических машин (ТТМ) при одновременном увеличении объема перевозки грузов способствует повышению эффективности управленческих решений по оптимизации процесса перевозки доставки грузов.

В соответствии с приоритетными направлениями научно-технологического развития в сфере информационных технологий, утвержденных Указом Президента РФ № 529 от 18.06.2024 «Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий» и международным стандартом SAE J3016 «Классификация, термины и определения систем автоматизированного управления движением АТС» были исследованы и частично предопределены научно-обоснованные принципы формирования управленческих решений по разработке эффективных решений транспортных систем и интеллектуальных алгоритмов управления перевозочным процессом доставки грузов одиночными транспортными средствами. В связи с этим, привлечение научного потенциала в области грузовых перевозок ТТМ, оснащенными автоматизированными системами управления, в частности, в горнодобывающей отрасли (с 3 на 4 уровень автоматизации) позволит сформировать аналитический аппарат количественной и качественной оценки уровней автоматизации ТТМ, на основе проведенного анализа и поиска резервов обеспечения эффективности грузоперевозок. В результате сложилось противоречие между практикой, признающей объективную необходимость разработки методики аналитической оценки уровня автоматизации транспортно-технологических машин при внедрении автоматизированных систем управления в процессе их движения и состоянием методологической базы научного обоснования решения данных вопросов. Проведенный анализ отечественных и зарубежных публикаций показал, что своевременное определение уровня автоматиза-

ции в эксплуатационных условиях транспортно-технологических машин на современном этапе находится на недостаточно изученном уровне

Степень разработанности темы исследования. По вопросу определения уровня автоматизации ТТМ с учетом применения автоматизированных систем их управления проведены обширные исследования отечественными и зарубежными учеными и специалистами, и рассматривались в работах: Жанказиева С.В., Макаровой И.В., Шаталовой Н.В., Малыгина И.Г., Гаврилова А.А., Сафиуллина Р.Р., Зотова В.Г., Кузнецова В.И., Литвинова А.С., Маркова В.А., Павлова А.Н., Петрова И.П., Смирнова А.В., Титова В.С., Чернышева В.В., Швецова В.И. и др.

Несмотря на значительный объем теоретических и экспериментальных исследований по установлению показателей уровня автоматизации ТТМ при внедрении автоматизированных систем их управления установлено, что до настоящего времени научно-методический аппарат количественной и качественной оценки уровня автоматизации ТТМ не разработан, не существуют методики для оценки уровня автоматизации, а эффективность использования ТТМ при варьировании их уровней автоматизации не в полной мере возможно оценить.

Объектом исследования являются уровни автоматизации транспортно-технологических машин.

Предметом исследования являются методы, алгоритмы, модели комплексной аналитической оценки уровней автоматизации транспортно-технологических машин.

Целью работы является повышение эффективности системы управления перевозочным процессом доставки грузов транспортно-технологических машин посредством сформированного научно-методического аппарата количественной и качественной оценки их уровня автоматизации с использованием частных методов принятия управленческих решений.

Идея работы заключается в разработке комплексного аналитического аппарата оценки уровня автоматизации транспортно-технологических машин с целью повышения эффективности пере-

возочного процесса с учетом определения количественных и качественных показателей оценки уровня их автоматизации.

Задачи исследования:

1. Провести анализ влияния внедрения автоматизированных систем управления движением транспортно-технологических машин на их эксплуатационную эффективность.

2. Разработать техноценологический метод оценки уровня автоматизации транспортно-технологических машин с учетом оценки влияния автоматизированных систем управления транспортно-технологических машин на их функциональные свойства.

3. Обосновать метод нормирования ручного управления транспортно-технологических машин на основе разработанного обобщенного критерия их автоматизации.

4. Сформировать аналитический аппарат оценки степени автоматизации транспортно-технологических машин на основе изменения их функциональных свойств при внедрении систем управления движением транспортно-технологических машин.

5. Разработать предложения и практические рекомендации по внедрению результатов исследований и их технико-экономическая оценка.

Научная новизна работы заключается в создании научно-обоснованного методического аппарата оценки уровня автоматизации транспортно-технологических машин, а именно:

1. Сформирован обобщенный критерий оценки уровня автоматизации ТТМ - $U_{авт}$, на основе установленных системообразующих факторов производительности грузоперевозок, то есть их функциональных свойств, позволяющих определить область использования обобщенного критерия.

2. Разработан техноценологический метод оценки уровня автоматизации транспортно-технологических машин, позволяющий рационально реализовать функциональные свойства транспортно-технологических машин в условиях варьирования уровней автоматизации.

3. Предложен метод нормирования ручного управления транспортно-технологической машины, включающий алгоритм

оценки уровня ее автоматизации и коэффициент ручного управления транспортно-технологических машин.

4. Разработан аналитический аппарат количественной и качественной оценки уровня автоматизации транспортно-технологических машин.

Соответствие паспорту специальности. Полученные научные результаты соответствуют паспорту специальности 2.9.8. Интеллектуальные транспортные системы по пунктам:

3. Формализованные методы обработки, анализа и передачи информации в интеллектуальных транспортных системах, применение информационных, телематических и биоинформационных технологий для управления транспортными системами, процессами и транспортными средствами.

7. Теоретические основы и методы моделирования транспортных технологических процессов с целью автоматизированного поиска эффективных решений и интеллектуальных алгоритмов управления транспортными системами, объектами транспортной инфраструктуры, одиночными транспортными средствами.

12. Нормативное регулирование разработки и реализации интеллектуальных транспортных систем.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Обоснованы модели и алгоритмы построения программно-технического комплекса транспортно-технологических машин, на основе установленных закономерностей влияния автоматизированных систем управления ТТМ на их функциональные свойства.

2. Предложена методика аналитической оценки уровня автоматизации транспортно-технологических машин с учетом реализации их функциональных свойств.

3. Доказана эффективность применения методик и алгоритмов определения уровня автоматизации транспортно-технологических машин с целью совершенствования системы управления дорожно-транспортным комплексом (патенты на изобретения № 2798641, №2849087).

4. Результаты исследования, включая техноценологический метод аналитической оценки уровня автоматизации ТТМ и практические рекомендации по формированию функциональной архитек-

туры транспортно-технологической машины, внедрены в деятельность ПАО «КАМАЗ» (акт внедрения диссертационных исследований от 10.08.2025) и НПП «ЭЛВО» (акт внедрения диссертационных исследований от 04.02.2026).

Методология и методы исследования. При проведении исследования использовались методы математического и имитационного моделирования, системного анализа, декомпозиции, экспертного опроса и математической статистики.

Положения, выносимые на защиту:

1. Разработанный обобщенный критерий аналитической оценки уровня автоматизации транспортно-технологических машин – $K_{авт}$, учитывающий специфику их применения и степень реализации функциональных свойств транспортно-технологических машин при применении автоматизированных систем управления движением, позволяет установить границы уровней автоматизации транспортно-технологических машин.

2. Предложенный метод нормирования рабочего времени водительского состава на основе разработанного коэффициента ручного управления транспортно-технологических машин позволяет установить взаимосвязь повышения степени их автоматизации и производительности, которая варьируется в пределах 15-25 %.

3. Использование разработанного аналитического аппарата оценки уровня автоматизации транспортно-технологических машин позволяет определять количественные и качественные показатели их автоматизации, при внедрении которого установлено повышение эффективности перевозочного процесса - на 40%.

Степень достоверности результатов исследования обусловлена использованием методов математического моделирования, проведением имитационного моделирования в верифицированных программах совместно с предприятиями транспортной отрасли, подтверждены сопоставлением результатов исследования с данными практики предприятий, на основании которых получены акты внедрения и защищены патентами.

Апробация результатов диссертации проведена на 7 научно-практических мероприятиях с докладами, в том числе на 6 международных; за последние 3 года принято участие в 5 научно-

практических мероприятиях с докладами, в том числе на 4 международных:

1. Международная научно-практическая конференция «Транспорт России: проблемы и перспективы» (09-10 ноября 2022, г. Санкт-Петербург)

2. XV Международная научно-техническая конференция «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» (26-29 октября 2022, г. Санкт-Петербург).

3. XXXVI Национальная (с международным участием) научно-техническая конференция «Улучшение эксплуатационных показателей и технический сервис автомобилей, тракторов и двигателей» (23-24 марта 2023, г. Санкт-Петербург).

4. IX Международная научно-практическая конференция «Информационные технологии и инновации на транспорте» (15-18 мая 2023, г. Орёл).

5. II Международная научно-практическая конференция «Сейфуллинский чтения» (17 ноября 2023, г. Астана).

6. Международная научно-практическая конференция «Транспорт. Взгляд в будущее» (07-08 ноября 2024, г. Санкт-Петербург).

7. II Международный Форум «Подъемная сила. Инновационное развитие подъемно-транспортного машиностроения» (14 ноября 2025, г. Москва).

Личный вклад автора состоит в выполнении теоретических и экспериментальных исследований, в том числе сбор и обработка статистических данных, формирование методик, моделей и алгоритмов по разработке методики количественной и качественной оценки уровня автоматизации транспортно-технологических машин.

Публикации. Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 11 печатных работах, в том числе в 3 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 3 статьях - в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus. Получены 2 патента на изобретение.

Структура работы. Диссертация состоит из оглавления, введения, четырех глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы, включающего 119 наименований, и 3 приложения. Диссертация изложена на 127 страницах машинописного текста, содержит 38 рисунков и 43 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы работы, сформулированы цель, задачи работы и научная новизна, раскрыты теоретическая и практическая значимости исследования и изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен анализ состояния вопроса и нормативно-регулирующих актов, регламентирующих внедрение автоматизированных систем управления в состав транспортно-технологических машин.

Во второй главе представлен технoценoлогический метод оценки уровня автоматизации ТТМ, разработанный на основании метода технoценoза, то есть исследования ТТМ по вопросу технической оснащенности и взаимодействия с транспортной инфраструктурой, при помощи которого предложен обобщенный критерий аналитической оценки уровня автоматизации транспортно-технологических машин - $K_{авт}$.

В третьей главе приведены результаты экспериментальных исследований по влиянию АСУ ТТМ на их ФС. Представлены результаты моделирования внедрения автоматизированных систем управления на эксплуатационные показатели транспортной инфраструктуры, подтверждающие полученные математические зависимости по предложенному обобщенному коэффициенту уровня автоматизации ТТМ и коэффициенту ручного управления ТТМ, на основании чего предложен метод нормирования ручного управления ТТМ.

В четвертой главе представлены результаты расчета технико-экономической оценки предлагаемых решений на предприятиях минерально-сырьевого комплекса при внедрении аналитического аппарата количественной и качественной оценки уровня автоматизации ТТМ.

В заключении изложены основные выводы по результатам проведенных исследований.

Основные результаты отражены в следующих защищаемых положениях:

1. Разработанный обобщенный критерий аналитической оценки уровня автоматизации транспортно-технологических машин – $K_{авт}$, учитывающий специфику их применения и степень реализации функциональных свойств транспортно-технологических машин при применении автоматизированных систем управления движением, позволяет установить границы уровней автоматизации транспортно-технологических машин.

В процессе исследования установлено следующие понятие: уровень автоматизации ТТМ – качественная оценка, учитывающая автоматизацию потребительских свойств ТТМ с учетом внедрения автоматизированных систем управления в процессе их движения.

В соответствии с классификацией уровней автоматизации ТТМ до сих пор не разработана методика количественной и качественной оценки уровня автоматизации с учетом реализации ФС ТТМ. В связи с этим установлена степень взаимодействия транспортно-технологической машины и транспортной инфраструктуры (рисунок 1), при котором элементы ИТС равномерно обмениваются информацией между ТТМ и внешними приемниками информации, с целью повышения уровня автоматизации и функциональных свойств ТТМ.

В связи с этим предложен техноценологический метод оценки уровня автоматизации ТТМ (рисунок 2), основанный на представлении ТТМ и инфраструктуры как единого техноценоза - совокупности взаимодействующих технических и информационных элементов, то есть как взвешенную сумму коэффициентов улучшения его ФС при применении автоматизированных систем управления ТТМ. При этом определены ФС, учитывающие влияние уровня автоматизации ТТМ в процессе ее эксплуатации.

Определена обобщенная зависимость, позволяющая оценить влияние автоматизированных систем управления ТТМ на их ФС

β – ранговый коэффициент ($\beta = 0,6$).

Таким образом, разработан обобщённый критерий аналитической оценки уровня автоматизации ТТМ - $K_{авт}$ (4):

$$K_{авт} = \left(1 + \sum K_r \left(\frac{A}{r_j^\beta}\right)\right) * N, \quad (4)$$

где K_r - сумма комплексных показателей ФС образца, N – нормирующий коэффициент.

Значение обобщённого критерия аналитической оценки уровня автоматизации ТТМ $K_{авт} = 0,15$ принято в качестве порога, формально отражающего наличие в составе ТТМ автоматизированной системы ее управления. Верхняя область соответствует уровню L5 (полная автоматизация), следовательно реализованы все выбранные ФС на уровне не ниже 0,85–0,95, в условиях высокой интеграции с транспортной инфраструктурой (таблица 2).

Для верификации предложенных значений реализации уровня автоматизации был проведён опрос группы экспертов, автоматизированной горной техники и автоматизированных систем управления ТТМ, которым были предложены различные гипотетические конфигурации ТТМ с заданными наборами реализованных ФС ТТМ и построен распределительный профиль значений $K_{авт}$ по уровням автоматизации.

Полученные результаты подтверждены коэффициентом конкордации Кендалла: $W = 0,613$, доказывающий высокую статистическую значимость согласованности экспертных мнений и обоснованность выбранных пороговых значений, позволяющих установить область обобщенного критерия автоматизации ТТМ.

Таким образом, установлены аналитические зависимости, обеспечивающие оценку уровня автоматизации ТТМ техноценологическим методом.

2. Предложенный метод нормирования рабочего времени водительского состава на основе разработанного коэффициента ручного управления транспортно-технологических машин позволяет установить взаимосвязь повышения степени их автоматизации и производительности, которая варьируется в пределах 15-25 %.

Для определения доли участия водителя в процессе эксплуатации ТТМ необходимо определение количественного показателя, устанавливающего соотношение доли ручного труда водителя к операциям, выполняемым автоматизированными системами управления ТТМ, то есть ее степени автоматизации. То есть, степень автоматизации ТТМ – это количественная оценка уровня автоматизации ТТМ, позволяющая установить соотношение доли и трудоемкости ручного труда при управлении ТТМ, оснащенными автоматизированными системами управления по обеспечению их движения.

Сформированный коэффициент ручного управления ТТМ, определяющий уровень функций по управлению ТТМ человеком в процесс эксплуатации ТТМ – K_y (5), является комплексным показателем и складывается из воздействия водителя на отдельные системы ТТМ в процессе движения (таблица 3):

$$K_y = \frac{1}{n} (\sum F_{0y} * \Delta x_i), \quad (5)$$

где n – количество функций по управлению ТТМ; F_{0y} – показатель функции ручного управления ТТМ; Δx_i – прирост затрачиваемого времени на выполнение функции управления ТТМ, ч.

Для подтверждения установленных значений коэффициента ручного управления ТТМ проведено имитационное моделирование системы экстренного торможения ТТМ (рисунок 3) с целью определение вовлеченности водителя в процесс управления ТТМ (рисунок 4, таблица 4).

На основе коэффициента ручного управления ТТМ определен метод расчёта эквивалентного активного времени управления ТТМ (6):

$$\text{ЭАВ} = \sum_{i=1}^n (t_i * K_y), \quad (6)$$

где t_i — время, проведённое на уровне автоматизации i ; K_y - коэффициент ручного управления ТТМ для уровня i ; n - количество сегментов с разным уровнем автоматизации ТТМ.

На основе результатов имитационного моделирования установлена зависимость (7) между степенью автоматизации ТТМ и относительным приростом производительности перевозочного процесса:

$$P = P_1 \left(1 + K_y \cdot \frac{y_{\text{авт}}}{100} \right), \quad (7)$$

где P - прогнозируемая производительность ТТМ при степени автоматизации, т·км/ч; P_1 - базовая производительность; K_y – коэффициент ручного управления ТТМ; $Y_{авт}$ - степень автоматизации, %;

Предлагаемый метод позволяет устанавливать трудоемкость выполнения работ водителя в процессе движения ТТМ при повышении уровня ее автоматизации, позволяющий формализовать требования к нормированию труда водителя в условиях варьирования уровня автоматизации ТТМ (рисунок 5).

3. Использование разработанного аналитического аппарата оценки уровня автоматизации транспортно-технологических машин позволяет определять количественные и качественные показатели их автоматизации, при внедрении которого установлено повышение эффективности перевозочного процесса - на 40%.

На основании проведенных исследований разработан аналитический аппарат качественной и количественной оценки уровня автоматизации ТТМ (таблица 5) по определению степени автоматизации ТТМ с учетом предложенной зависимости оценки уровня автоматизации ТТМ и критерия нормирования ручного управления ТТМ, выраженная в процентном соотношении, как степень автоматизации (8):

$$Y_{авт} = \frac{(1 + \sum K_r \left(\frac{A}{r_j^\beta}\right)) * N}{\sum_{i=1}^n (\text{ЭАВ} * t_i)} * 100\% \quad (8)$$

где $Y_{авт} \in [0\%; 200\%]$ - интегральный показатель эффективности автоматизации; $K_{авт} \in [0,15; 0,90]$ – коэффициент автоматизации ТТМ:

$1 + \sum K_r \left(\frac{A}{r_j^\beta}\right)$, $\sum_{i=1}^n (\text{ЭАВ} * t_i)$ - суммарное эквивалентное время работы водителя, N - нормировочный множитель.

Множитель N изменяется в соответствии с уровнем автоматизации. То есть при нулевом уровне автоматизации (L0) $N_0 = 0$, а затем для каждого уровня L_i определяется по формуле (9):

$$N_i = N_0 + \Delta N_i, \quad (9)$$

где ΔN_i - прирост эффективности автоматизации ТТМ за счёт расширения ФС, выраженный в эквивалентных часах.

Полученные результаты подтверждены экспериментальным исследованием, получены зависимости влияния внедрения автоматизированных систем управления в состав ТТМ на эксплуатационные показатели перевозочного процесса (таблица 6).

В результате технико-экономической оценки определены суммарные затраты при разном уровне автоматизации за период эксплуатации при разных уровнях автоматизации ТТМ (10):

$$TCO(L) = C_{cap}(L) + \sum_{t=1}^T \frac{C_{oper}^{year}(L) + C_{pers}^{year}(L) - B^{year}(L)}{(1+r)^t} \quad (10)$$

где $C_{cap}(L)$ - капитальные затраты на автоматизацию (аппаратное и программное обеспечение) (рублей), $C_{oper}^{year}(L)$ - операционные затраты (ТО, ремонт, прочие затраты) (рублей), $C_{pers}^{year}(L)$ - затраты на работу водителя (рублей), $B^{year}(L)$ - экономия от роста производительности и снижения аварийности (рублей), r - ставка дисконтирования, t - срок планирования.

При этом, затраты на работу водителя составят (11):

$$H(L) = H_0 \cdot \exp\left(-K_y \cdot \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot S_i(L)}{\sum_{i=1}^n \omega_i}\right), \quad (11)$$

где H_0 - базовые трудозатраты водителя на уровне $L=0$ (рублей), $S_i(L)$ - степень автоматической поддержки i -го ФС на уровне L , ω_i - вес i -го ФС в общей трудоёмкости, K_y - коэффициент ручного управления ТТМ.

Капитальные затраты при переходе с одного уровня на другой (рисунок 6), рассчитываемый как стоимость внедрения автоматизированных систем управления, их программного обеспечения и интеграция в общую систему (12):

$$C_{cap}(L) = C_{base} + \sum_{k=1}^L \Delta C_k, \quad (12)$$

где C_{base} - затраты при эксплуатации (рублей), ΔC_k - прирост стоимости при переходе на следующий уровень автоматизации ТТМ (рублей).

Таким образом, установлена зависимость накопленной экономии на предприятии минерально-сырьевого комплекса и окупаемость при повышении уровня автоматизации ТТМ - до 5,5 лет при сокращении эксплуатационных затрат на 15%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненного исследования разработан и обоснован научно-методический аналитический аппарат количественной и качественной оценки уровней автоматизации транспортно-технологических машин, учитывающий специфику эксплуатации ТТМ и степени реализации их функциональных свойств, позволяющий повысить эффективность перевозочного процесса доставки грузов, что вносит существенный вклад в систему управления перевозочным процессом.

К наиболее существенным результатам работы можно отнести следующее:

1. Проанализировано состояние вопроса исследования, существующие теоретические и практические аспекты определения границ уровней автоматизации ТТМ за счет внедрения автоматизированных систем их управления и повышения ФС. Результаты анализа свидетельствуют о необходимости разработки аналитического аппарата количественной и качественной оценки уровня автоматизации ТТМ.

2. Разработан техноценологический метод определения уровней автоматизации ТТМ, с учетом весовых коэффициентов значимости отдельных автоматизированных систем управления транспортно-технологической машины для установления качественного уровня реализации ее функциональных свойств, позволяющего сформировать требования и осуществлять рациональный выбор АСУ ТТМ на основе обобщенного критерия аналитической оценки уровня автоматизации $K_{авт} \in [0,15; 0,90]$.

3. Предложен метод нормирования ручного управления ТТМ, на основе уточненного коэффициента ручного управления ТТМ – $K_{ру}$, который позволит установить взаимосвязь повышения степени автоматизации ТТМ и производительности, которая варьируется в пределах 15-25%.

4. Предложен аналитический аппарат количественной и качественной оценки уровня автоматизации ТТМ, объединяющий техноценологический критерий определения уровня автоматизации ТТМ и коэффициента ручного управления ТТМ. Внедрение ТТМ

разных уровней автоматизации обеспечивает рост эффективности перевозочного процесса до 40%.

5. Предложены практические рекомендации и технические решения по формированию научно-методического аппарата количественной и качественной оценки уровня автоматизации ТТМ, на основании анализа реализации ФС и суммы инвестиций за период эксплуатации, включая горнодобывающую технику. Результаты апробированы в деятельности ПАО «КамАЗ» и НПП «ЭЛВО», а также защищены двумя патентами РФ.

Диссертационное исследование ложится в основу дальнейшего развития интеллектуальной транспортной системы, позволяющей добиться максимальной эффективности перевозочного процесса при решении управленческих задач, на основе научно-обоснованных принципов по повышению уровня автоматизации транспортно-технологических машин.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

Публикации в изданиях из Перечня ВАК:

1. Методика обоснования состава бортовой информационно-управляющей системы транспортных средств / Р.Н. Сафиуллин, Р.Р. Сафиуллин, **В.А. Ефремова**, М.Р. Баширов // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 4-2(83). – С. 95-103.

2. Залюбовский, А.Ф. Структурный анализ транспортной системы горных предприятий / А.Ф. Залюбовский, Р.Р. Сафиуллин, **В.А. Ефремова** // Мир транспорта и технологических машин. – 2025. - №1-3(88). – С. 129-136.

3. Методика аналитической оценки уровня автоматизации транспортных средств / Р.Н. Сафиуллин, Ю.Л. Жуковский, Р.Р. Сафиуллин, **В.А. Ефремова**, А.А. Велесевич // Вестник НЦБЖД. – 2025. – № 4. – С. 173-181.

Публикации в изданиях из Перечня Scopus:

4. Сафиуллин, Р.Н. Метод комплексной оценки бортовых информационно-управляющих систем на горных машинах / Р.Н. Сафиуллин, Р.Р. Сафиуллин, **В.А. Ефремова** // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 9-1. – С. 49-63.

5. Сафиуллин, Р.Н. Техноценологический метод аналитической оценки уровня автоматизации горно-транспортных машин / Р.Н. Сафиуллин, А.Ф. Клебанов, М.С. Присяжнюк, Б.С. Иванов, **В.А. Ефремова** // Горная промышленность. – 2025. – № 1S. – С. 34–40. .

6. Safiullin, R. The Method of Multi-criteria Evaluation of the Effectiveness of the Integrated Control System of a Highly Automated Vehicle / R. Safiullin, **V. Efremova**, B. Ivanov // Open Transportation Journal. – 2024. – Vol. 18, Issue 1. – 12 p.

Публикации в прочих изданиях:

7. Сафиуллин, Р.Н. Адаптивно-управляемый метод мониторинга экологических параметров беспилотных транспортных средств / Р.Н. Сафиуллин, **В.А. Ефремова**, В.Д. Чмутов // Техно-технологические проблемы сервиса. – 2024. – № 2(68). – С. 28-32.

8. Сафиуллин, Р.Н. Методика обоснования требований к внедрению интегрированных технологий на высокоавтоматизированных горных машинах / Р.Н. Сафиуллин, Л.А. Симонова, Б.С. Иванов, **В.А. Ефремова** // Транспорт. Взгляд в будущее - TFV-24: Сборник научных статей международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 07–08 ноября 2024 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, 2024. – С. 168-170.

9. Сафиуллин, Р. Н. Концептуальные подходы рационального выбора состава бортовых информационно-управляющих систем при перевозке грузов / Р.Н. Сафиуллин, Р.Р. Сафиуллин, **В.А. Ефремова**, А. Э. Пешлер // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2023. – № 5. – С. 45-52. – DOI: 10.36535/0236-1914-2023-05-7. – EDN GSJGAQ.

10. Системно-матричный подход определения параметров интеллектуализации транспортных средств / Р.Н. Сафиуллин, **В.А. Ефремова**, Р.Р. Сафиуллин, П.А. Жильцов // Известия Международной академии аграрного образования. – 2024. – № 72. – С. 33-36. – EDN SOCGSG.

11. Сафиуллин, Р.Н. Многокритериальный подход рационального внедрения бортовой информационно-управляющей системы в высокоавтоматизированное транспортное средство / Р.Н. Са-

фиуллин, **В.А. Ефремова**, Н.А. Караваев // Транспорт России: проблемы и перспективы-2023 : Материалы Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 14–15 ноября 2023 года. – Санкт-Петербург: Соломенко, ИПТ РАН, 2023. – С. 148-152.

Патенты/свидетельства на объекты интеллектуальной собственности:

12. Патент №2798641 Российская Федерация, МПК F02D 19/12 (2023.02), F02D 41/0025 (2023.02), F02M 25/10 (2023.02), F02M 37/0047 (2023.02), F02M 37/0082 (2023.02). Адаптивно-управляемая система приготовления и подачи топлива транспортного средства. Заявка №2022131859: заявл.07.12.2022: опубл. 23.06.2023 / Р.Н. Сафиуллин, Р.Р. Сафиуллин, К.В. Сорокин, **В.А. Ефремова**; заявитель/патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет». – 10 с.

13. Патент №2849087 Российская Федерация, МПК G05D 1/86 (2025.08), G01M 15/00 (2025.08). Автоматизированный комплекс контроля технического состояния бортовой информационно-управляющей системы беспилотного транспортного средства. Заявка №2025107267: заявл. 26.03.2025: опубл. 22.10.2025 / Р.Н. Сафиуллин, Р.Р. Сафиуллин, А.Ф. Залюбовский, **В.А. Ефремова**, С.Д. Ефимовский; заявитель/патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II». – 14 с.

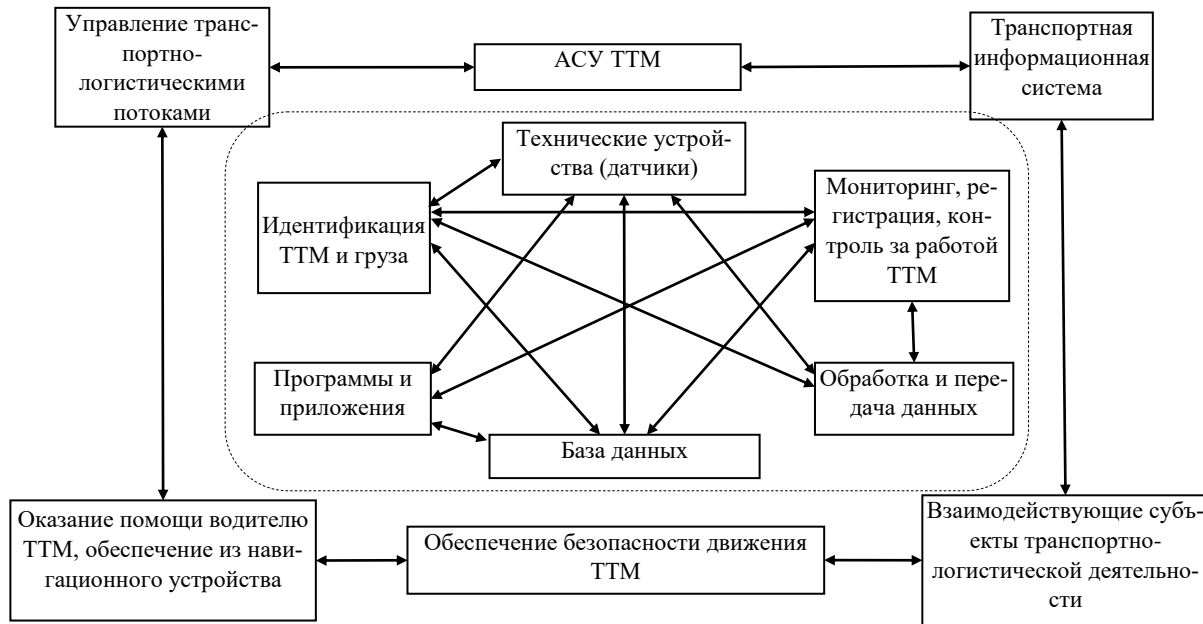


Рисунок 1 - Модель интегрированной интеллектуальной системы ТТМ

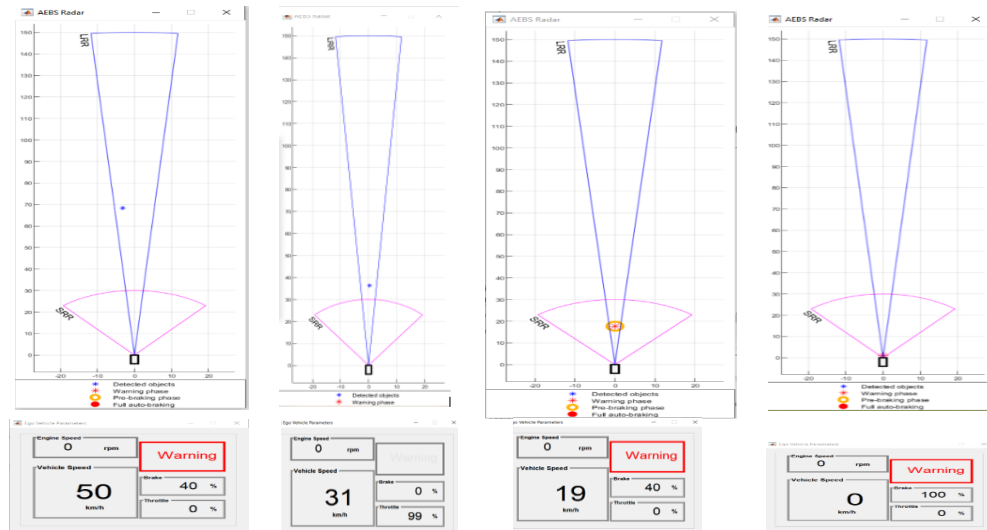


Рисунок 3 – Результаты имитационного моделирования системы экстренного торможения ТТМ

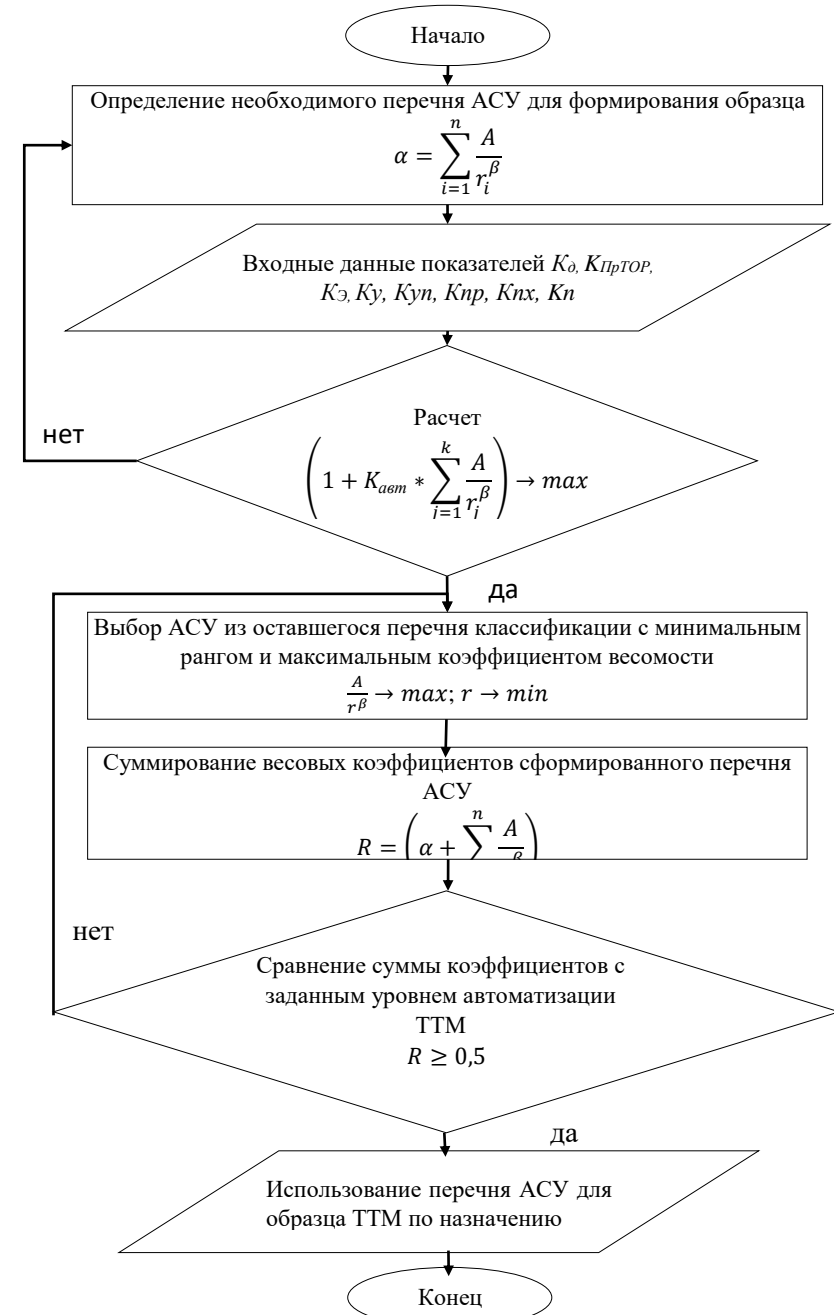


Рисунок 2 – Алгоритм определения уровня автоматизации ТТМ на основании техноэкономического метода

Таблица 1 - Функциональные возможности ТТМ разных уровней автоматизации

Уровни автоматизации L	Поддерживаемые функции	Необходимые интеграционные системы
L0	Предотвращение блокировки колес ТТМ при торможении, поддержание заданной скорости, контроль поперечной динамики ТТМ	Антиблокировочная система ABS, круиз-контроль, система стабилизации и курсовой устойчивости ESP
L1	Варьирование скорости в зависимости от дистанции до попутного транспорта или стационарной преграды, определение скорости движения попутных ТТМ, сверка данных от датчиков, обработка и сверка с параметрами, заданными водителем, снижение тормозного пути без блокировки колес с различием экстренного торможения от обычного по параметрам скорости, нажатия на педаль и глубины выжима педали	Адаптивный круиз-контроль ACC уровня Stop-Go, дополнительное ПО для передачи команд на системы ТТМ – тормозную, курсовой устойчивости, дроссельную заслонку и т.д., система экстренного торможения ЕВА
L2	Уведомление водителя о пересечении дорожной разметки звуком или вибрацией	Система помощи в удержании полосы LKA, уведомление о выходе из полосы LDW
L4	Удерживание ТТМ в центре занимаемой полосы движения, считывание информации с дорожных знаков, анализ требований распознаваемых знаков и сопоставление с текущими показателями скорости	Активная помощь в удержании полосы движения Active LKA, Система распознавания дорожных знаков ISA

Таблица 2 - Границы критерия уровня автоматизации ТТМ

Уровень автоматизации ТТМ	Границы обобщенного критерия автоматизации ТТМ
L0–L1(ручное / помощь)	$0,00 \leq K_{авт} < 0,15$
L2(частичная автоматизация)	$0,15 \leq K_{авт} < 0,35$
L3(условная автоматизация)	$0,35 \leq K_{авт} < 0,60$
L4(высокая автоматизация)	$0,60 \leq K_{авт} < 0,85$
L5(полная автоматизация)	$K_{авт} > 0,85$

Таблица 3 - Изменение времени, затрачиваемого на управление ТТМ

Функции по управлению водителем ТТМ в процессе эксплуатации	Обозначение	При повышении уровня автоматизации ТТМ	
Управление направлением движения (руление)	F0рул	$F1_{рул} = \Delta \times 1 F0_{рул}$ $F2_{рул} = \Delta \times 2 F0_{рул}$ $F3_{рул} = \Delta \times 3 F0_{рул}$ $F4_{рул} = \Delta \times 4 F0_{рул}$	
Управление продольной динамикой (ускорение/торможение)	F0уск , F0торм	$F1_{уск} = \Delta \times 1 F0_{уск}$ $F2_{уск} = \Delta \times 2 F0_{уск}$ $F3_{уск} = \Delta \times 3 F0_{уск}$ $F4_{уск} = \Delta \times 4 F0_{уск}$	$F1_{торм} = \Delta \times 1 F0_{торм}$ $F2_{торм} = \Delta \times 2 F0_{торм}$ $F3_{торм} = \Delta \times 3 F0_{торм}$ $F4_{торм} = \Delta \times 4 F0_{торм}$
Мониторинг дорожной обстановки	F0мон	$F1_{мон} = \Delta \times 1 F0_{мон}$ $F2_{мон} = \Delta \times 2 F0_{мон}$ $F3_{мон} = \Delta \times 3 F0_{мон}$ $F4_{мон} = \Delta \times 4 F0_{мон}$	
Принятие решений (выбор траектории, манёвров)	F0реш	$F1_{реш} = \Delta \times 1 F0_{реш}$ $F2_{реш} = \Delta \times 2 F0_{реш}$ $F3_{реш} = \Delta \times 3 F0_{реш}$ $F4_{реш} = \Delta \times 4 F0_{реш}$	
Контроль состояния ТТМ и отдельных систем	F0кон	$F1_{кон} = \Delta \times 1 F0_{кон}$ $F2_{кон} = \Delta \times 2 F0_{кон}$ $F3_{кон} = \Delta \times 3 F0_{кон}$ $F4_{кон} = \Delta \times 4 F0_{кон}$	

Таблица 4 - Показатели коэффициента ручного управления ТТМ при разных уровнях ее автоматизации

Уровень автоматизации ТТМ	Коэффициента ручного управления ТТМ при торможении
L0–L1	1.0
L2	0.95
L3	0.85
L4	0.30
L5	-

Таблица 5 – Аналитический аппарата качественной и количественной оценки уровня автоматизации ТТМ

Уровень автоматизации	Нормировочный множитель N	Формула расчета	Результующие проценты	Фактическое значение
L0	$N_0 = 0$	$y_{авт} \rightarrow 0$	0-15%	низкая эффективность (техника слабо оснащена, человек полностью загружен)
L1	$N_1 = N_0 + \Delta N_1$	$y_{авт} = \frac{(1 + \sum K_n \left(\frac{A}{r_j^\beta}\right)) * (N_0 + \Delta N_1)}{\sum_{i=1}^n (\text{ЭАВ} * t_i)} * 100\%$	16-30%	
L2	$N_2 = N_1 + \Delta N_2$	$y_{авт} = \frac{(1 + \sum K_n \left(\frac{A}{r_j^\beta}\right)) * (N_1 + \Delta N_2)}{\sum_{i=1}^n (\text{ЭАВ} * t_i)} * 100\%$	31-45%	средняя эффективность (базовая автоматизация, нагрузка снижена частично)
L3	$N_3 = N_2 + \Delta N_3$	$y_{авт} = \frac{(1 + \sum K_n \left(\frac{A}{r_j^\beta}\right)) * (N_2 + \Delta N_3)}{\sum_{i=1}^n (\text{ЭАВ} * t_i)} * 100\%$	46-70%	
L4	$N_4 = N_3 + \Delta N_4$	$y_{авт} = \frac{(1 + \sum K_n \left(\frac{A}{r_j^\beta}\right)) * (N_3 + \Delta N_4)}{\sum_{i=1}^n (\text{ЭАВ} * t_i)} * 100\%$	71-90%	очень высокая эффективность (человек не требуется или выполняет роль оператора)
L5	$N_5 = N_4 + \Delta N_5$	$y_{авт} = \frac{(1 + \sum K_n \left(\frac{A}{r_j^\beta}\right)) * (N_4 + \Delta N_5)}{\sum_{i=1}^n (\text{ЭАВ} * t_i)} * 100\%$	91-100%	

Таблица 6 – Установленные закономерности определения влияния автоматизированных систем управления ТТМ на эксплуатационные показатели перевозочного процесса

Показатель	Регрессионная зависимость	График
Пропускная способность ТИ	- при внедрении АСУ в частный транспорт: $y = 1,5x - 4,6667$ $R^2 = 0,9838$	
	- при внедрении АСУ в транспорт общего пользования: $y = 0,7429x + 0,8571$ $R^2 = 0,973$	
Средняя скорость потока	- при низкой инфраструктурной поддержке: $y = 0,2029x - 0,1429$ $R^2 = 0,9865$	
	- при высокой инфраструктурной поддержке: $y = 0,3129x + 0,1905$ $R^2 = 0,9666$	
Плотность транспортного потока	$y = 0,6057x + 6,0476$ $R^2 = 0,9536$	



Рисунок 4 - Автоматизированный комплекс контроля технического состояния бортовой информационно-управляющей системы беспилотного транспортного средства

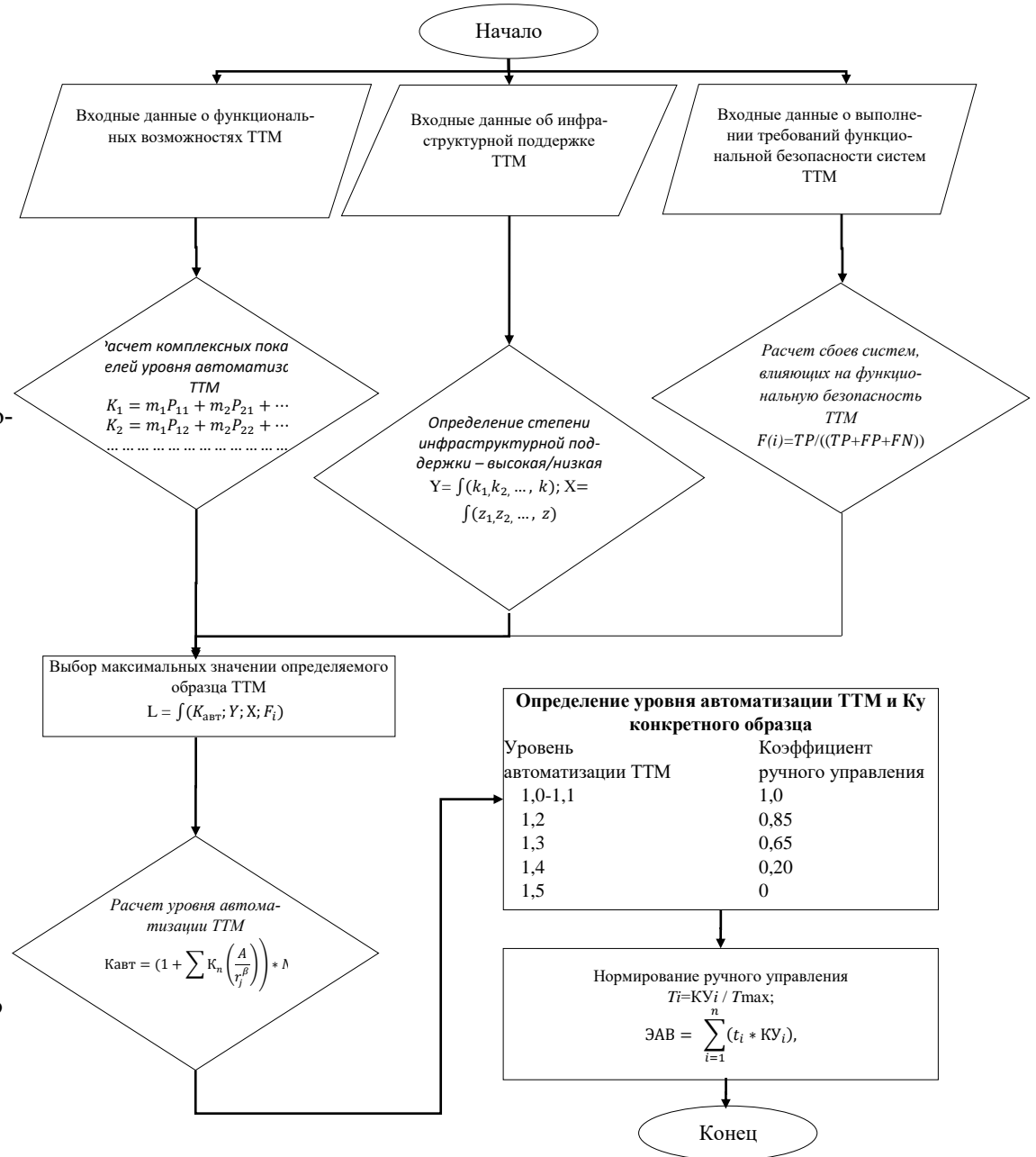


Рисунок 5 – Алгоритм нормирования ручного управления ТТМ

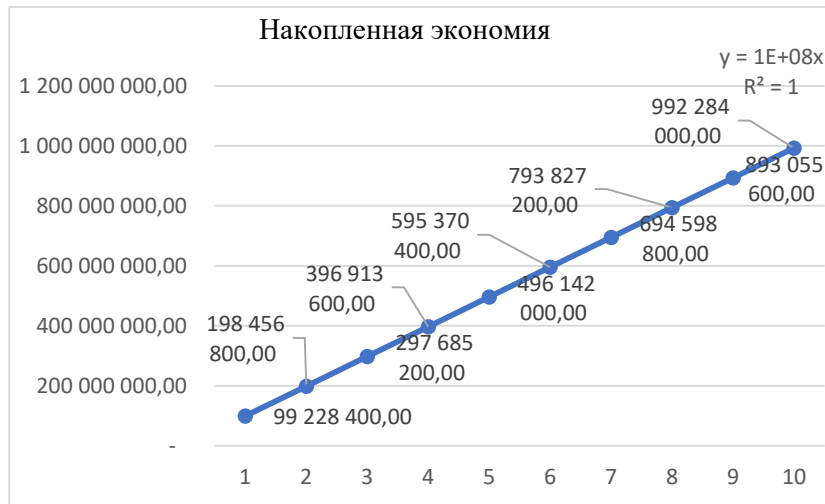


Рисунок 6 – Накопленная экономия предприятия минерально-сырьевого комплекса при повышении уровня автоматизации ТТМ