

УДК 656.13+622.323+543.42

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.20591793>**Е. С. Сытник, канд. техн. наук****Автомобильно-дорожный институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Донецкий национальный технический университет»  
в г. Горловка****РАСПРЕДЕЛЁННАЯ СЕТЬ ЭКСПРЕСС-КОНТРОЛЯ ТОПЛИВ КАК  
ИНСТРУМЕНТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОТРАНСПОРТА  
ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТРУДНОИЗВЛЕКАЕМЫХ ЗАПАСОВ НЕФТИ**

*Исследование посвящено обоснованию применения распределённой сети экспресс-контроля октанового числа бензинов методом ближней инфракрасной (ИК) спектроскопии в условиях роста доли трудноизвлекаемых запасов в нефтедобыче. Показано, что традиционный моторный метод (ГОСТ 511-2022) обладает ограничениями для оперативного мониторинга топлива в местах его оборота (нефтебазы, АЗС, автопарки). Сравнительный анализ моторного и ИК-спектроскопического методов определения октанового числа показал, что ИК-спектроскопический метод обладает преимуществами: оперативностью, экологичностью (отсутствие выбросов) и достаточной для задач оперативного контроля точностью. Разработана концептуальная модель распределённой системы мониторинга, включающая уровни распределения, эксплуатации, надзора и адаптации системы технического обслуживания автомобилей. Реализация предложенной концепции позволит обеспечить эксплуатационную и экологическую безопасность автомобильного транспорта при использовании топлив из трудноизвлекаемых запасов.*

**Ключевые слова:** автомобильный транспорт, трудноизвлекаемые запасы нефти, ТриЗ, октановое число, детонационная стойкость, ИК-спектроскопия, экспресс-анализ, мониторинг, эксплуатационная безопасность, экологическая безопасность

**Для цитирования:** Сытник, Е. С. Распределённая сеть экспресс-контроля топлив как инструмент обеспечения безопасности автотранспорта при разработке трудноизвлекаемых запасов нефти / Е. С. Сытник // Вести Автомобильно-дорожного института = Bulletin of the Automobile and Road Institute. – 2026. – № 1(56). – С. 17–26. <https://doi.org/10.5281/zenodo.20591793>.

**Введение**

Развитие автотранспортного комплекса в современных условиях определяется необходимостью постоянного балансирования между тремя ключевыми составляющими: экономической эффективностью перевозок, эксплуатационной надёжностью подвижного состава и экологическими требованиями, ужесточающимися с каждым пересмотром технических регламентов (Евро-5, Евро-6, перспективные нормы Евро-7). Ключевым системообразующим элементом, во многом предопределяющим достижение этого баланса, является качество применяемых моторных топлив, и в первую очередь – автомобильных бензинов, доля которых в структуре топливопотребления остаётся доминирующей.

В настоящее время стабильность топливного обеспечения автотранспорта в РФ подвергается новым, ранее не проявлявшимся в полной мере вызовам, обусловленным структурным сдвигом в нефтедобывающей промышленности в сторону освоения трудноизвлекаемых запасов (ТриЗ) углеводородов [1, 2]. ТриЗ – это запасы с неблагоприятными геологическими условиями, плохими коллекторскими свойствами, высокой вязкостью флюидов, удалённостью от инфраструктуры или нерентабельные при существующих технологиях [3]. К ним относят высоковязкие нефти, битуминозные пески, нефти арктических месторождений, остаточные запасы на зрелых месторождениях, запасы в низкопроницаемых коллекторах (сланцевые формации) и др. Технологические особенности переработки такого сырья создают риски

изменения физико-химических и эксплуатационных свойств конечных нефтепродуктов.

Технологии добычи и переработки сырья из ТРИЗ более сложны и капиталоемки, что может отражаться на составе и, как следствие, на ключевых эксплуатационных показателях бензинов (прежде всего на детонационной стойкости, характеризуемой октановым числом), создавая риски нестабильности их физико-химических свойств.

Действующая в Российской Федерации система контроля качества моторных топлив базируется на моторных методах определения октанового числа (ГОСТ 511-2022 «Топливо для двигателей. Моторный метод определения октанового числа» [4]). Этот метод является эталонным и обеспечивает достоверную сертификационную оценку. Однако он рассчитан на стационарные лабораторные условия и требует значительных затрат времени, больших объёмов проб топлива (до 1,0 л) и эталонных смесей (до 2,5 л), а также сопровождается выбросами вредных веществ с отработавшими газами (ОГ), шумом и расходом ресурса испытательных двигателей внутреннего сгорания (ДВС), работающих в режимах экстремальных нагрузок.

В условиях потенциальной нестабильности топлив из ТРИЗ, когда необходим оперативный контроль каждой партии топлива непосредственно в точках его оборота (нефтебазы, автозаправочные станции (АЗС), автопарки, автотранспортные и автосервисные предприятия), моторный метод неприменим. Возникает потребность в дополнительном оперативном контроле, который бы позволял быстро выявлять возможные отклонения одного из наиболее критических параметров – октанового числа (ОЧ) без значительных временных и материальных затрат. Настоящая работа посвящена обоснованию целесообразности применения для этих целей метода ближней инфракрасной (ИК) спектроскопии.

**Цель исследования** – разработка и обоснование концепции внедрения распределённой сети оперативного экспресс-контроля октанового числа бензинов методом ИК-спектроскопии, обеспечивающей непрерывный мониторинг качества топлива в цепочке «нефтебаза – АЗС – бак автомобиля» как условия гарантии эксплуатационной и экологической безопасности автомобильного транспорта.

### ***Материал и методы***

Методологическую основу исследования составили: теоретический анализ (изучение и обобщение данных научно-технической литературы и нормативных документов), сравнительный анализ (сопоставление моторного и ИК-спектроскопического методов определения октанового числа по совокупности эксплуатационных, экономических и инфраструктурных критериев), системный анализ (выявление взаимосвязей между качеством топлива, эксплуатационной надёжностью и экологической безопасностью), а также концептуальное моделирование (разработка архитектуры распределённой системы мониторинга качества топлив).

### ***Анализ публикаций***

Вопросы взаимосвязи свойств моторных топлив, рабочих процессов в ДВС и экологических характеристик автомобильных транспортных средств (АТС) являются предметом интенсивных исследований на протяжении многих десятилетий. Фундаментальные работы [5, 6] детально описывают физико-химические механизмы детонационного сгорания, условия его возникновения при использовании топлива с недостаточным ОЧ, а также количественные модели влияния детонации на теплонпряжённость, механические нагрузки и ресурс цилиндропоршневой группы. Установлено, что даже кратковременная работа ДВС на бензине с заниженным на 2–3 единицы ОЧ может приводить к прогрессирующему разрушению перемычек между поршневыми кольцами, прогару поршней, выходу из строя головки блока цилиндров. Кроме того, детонация сопровождается многократным ростом выбросов оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ) вследствие резкого повышения локальных температур в зоне распространения ударной волны.

Проблема нестабильности свойств нефтепродуктов при переходе на переработку сырья из ТРИЗ поднимается в работах [1, 2, 3, 7]. Авторы [7] обсуждают общие принципы возобновляемости запасов, однако не переходят к конкретным инженерным решениям в области контроля качества топлив. Автор [2] даёт макроэкономический анализ исчерпания традиционной нефти, но оставляет в стороне метрологические и эксплуатационные аспекты. Теоретические основы оптических методов анализа, включая инфракрасную спектроскопию, систематически изложены в [8], что создаёт необходимую базу для понимания возможностей и ограничений ИК-метода применительно к анализу моторных топлив. Классическим для области спектрального прогнозирования свойств углеводородов является исследование [9], результаты которого служат эталоном для оценки точности ИК-методов и подтверждают их пригодность для регулярного серийного контроля качества партий бензинов.

Таким образом, проведенный анализ публикаций свидетельствует, что, с одной стороны, наблюдается рост доли ТРИЗ в нефтедобыче и, соответственно, потенциальных рисков для качества топлив, а с другой – существуют экспериментально подтверждённые методы (ближняя ИК-спектроскопия), позволяющие оперативно и с достаточной точностью определять октановое число [8, 9, 10, 11]. Однако целостная концепция распределённого мониторинга качества топлив, адаптированная к условиям изменения сырьевой базы нефтедобычи, ранее не предлагалась. Настоящая работа направлена на преодоление этого разрыва.

В рамках решения поставленной цели были последовательно выполнены основные задачи: сравнительный анализ методов контроля ОЧ применительно к условиям нестабильного сырья и разработка архитектуры распределённой системы мониторинга качества топлив в условиях использования ТРИЗ.

Как отмечено выше, традиционный моторный метод (ГОСТ 511-2022) неприменим для оперативного контроля топлива непосредственно на объектах топливной инфраструктуры, особенно в условиях нестабильности ОЧ бензинов, вызванной ростом доли ТРИЗ.

В связи с этим в настоящей работе проведен сравнительный анализ традиционного моторного метода и инновационного метода ближней ИК-спектроскопии. Последний позволяет оценивать ОЧ по спектрам поглощения в диапазоне длин волн 1 100–1 300 нм без сжигания контрольных образцов топлива. Ключевые параметры сопоставления моторного и ИК-спектроскопического методов, а также их значения для контроля рисков, связанных с ТРИЗ, приведены в таблице. Выбор критериев диктовался необходимостью обеспечения быстрого получения результата, минимизации ресурсных затрат, экологической безопасности процедуры, пригодности метода для размещения на объектах топливной инфраструктуры, а также его функциональной роли в системе мониторинга.

Таблица – Сравнительный анализ традиционного моторного и инновационного ИК-спектроскопического методов определения октановых чисел бензинов

Критерий сравнения	Метод		Роль ИК-метода для контроля рисков, связанных с использованием ТРИЗ
	Моторный (ГОСТ 511-2022)	ИК-спектроскопия (ближняя область, $\lambda = 1\ 100\text{--}1\ 300$ нм)	
1	2	3	4
Принцип определения ОЧ	Сравнение детонации испытуемого топлива с эталонными смесями на одноцилиндровом ДВС	Регистрация спектров поглощения и их математическая обработка	ИК-метод оперативно выявляет критические отклонения ОЧ при нестабильности топлив из ТРИЗ

## Продолжение таблицы

1	2	3	4
Необходимое оборудование	– Стационарная моторная установка с одноцилиндровым ДВС; – контрольно-измерительная аппаратура	– ИК-спектрофотометр (сканирование в диапазоне 1 100–1 300 нм); – компьютер с программным обеспечением	Для контроля рисков ТРИЗ необходима мобильность оборудования. ИК-спектрофотометры компактны, мобильны
Объём контрольной пробы топлива	0,5–1,0 л	0,5–1,0 мл	Малый объём пробы топлива при ИК-анализе позволяет проводить частый мониторинг топлив из ТРИЗ без изъятия больших количеств из оборота
Расход эталонных смесей	1,0–2,5 л при каждом измерении	Не расходуются при анализе (требуются однократно для калибровки)	Отсутствие расхода эталонных смесей при каждом измерении упрощает и ускоряет контроль топлив из ТРИЗ
Время анализа	30–60 мин (полный цикл)	1–5 мин	Оперативность ИК-метода позволяет выявлять некондиционное топливо из ТРИЗ до заправки в бак автомобиля
Экологичность процесса	Выбросы ОГ, шум, вибрация, повышенный износ испытательного ДВС	Отсутствие вредных выбросов с ОГ, неразрушающий метод, экологически безопасен	ИК-метод не создаёт дополнительной экологической нагрузки при контроле топлив из ТРИЗ
Возможность интеграции	Стационарная лабораторная установка	Мобильные и стационарные посты на АЗС, в автопарках, передвижных лабораториях	ИК-метод позволяет создать распределённую сеть контроля качества топлив, получаемых из ТРИЗ
Точность (погрешность)	Высокая: сходимость 0,5 ед. ОЧ; воспроизводимость 1,6 ед. ОЧ; доверительная вероятность – 95 %	Достаточная: стандартные ошибки предсказания составили 0,34 для октанового числа по исследовательскому методу (ОЧИ) и 0,30 – по моторному (ОЧМ) [9]	Точность ИК-метода приемлема для оперативного контроля рисков, связанных с ТРИЗ
Основная функция	Сертификация, арбитражные испытания, эталонный контроль	Оперативный (превентивный) мониторинг, скрининг	ИК-метод обеспечивает раннее выявление рисков при контроле топлив из ТРИЗ
Требования к персоналу	Высокая квалификация (инженер-испытатель)	Не требует высшего инженерного образования (достаточно среднего технического)	ИК-метод позволяет быстро подготовить операторов для широкой сети постов контроля

Анализ данных, приведенных в таблице, позволяет выявить принципиальные различия между традиционным моторным методом и инновационным ИК-спектроскопическим подходом в контексте контроля качества топлив, получаемых из ТРИЗ.

ИК-метод требует значительно меньшего объема пробы топлива и не нуждается в эталонных смесях, что позволяет выполнять частый контроль без изъятия топлива из оборота и без дополнительных затрат на эталонные смеси. Сокращение времени анализа даёт возможность проверять каждую партию непосредственно в местах хранения, отпуска и заправки, что особенно важно при потенциальной нестабильности бензинов, получаемых из ТРИЗ.

Важным преимуществом ИК-метода является его экологичность. В отличие от моторного метода, сопровождающегося выбросами ОГ, шумом, вибрацией и износом испытательного ДВС, ИК-спектроскопия не требует сжигания образцов топлив и полностью исключает эмиссию загрязняющих веществ в процессе контроля.

Указанные методы различаются и по возможности интеграции в инфраструктуру автомобильного транспорта. Моторный метод реализуется на стационарной лабораторной установке с одноцилиндровым ДВС, требующей специального помещения и высокой квалификации персонала. ИК-спектрофотометры, напротив, компактны и мобильны; их можно размещать непосредственно на АЗС, в автопарках, сервисных центрах, передвижных экологических лабораториях. Это открывает возможность для организации сквозного контроля качества топлив из ТРИЗ на всех этапах его движения – от нефтебазы до бака автомобиля.

Как следует из таблицы, стандартная ошибка предсказания ИК-метода (0,34 для октанового числа по исследовательскому методу (ОЧИ) и 0,30 – по моторному (ОЧМ) [9]) подтверждает достаточную точность ИК-метода для практического применения при контроле топлив из ТРИЗ.

Таким образом, функциональное назначение методов оказывается различным. Моторный метод сохраняет роль эталонного при сертификационных и арбитражных испытаниях. ИК-метод, обладая приемлемой для практических задач точностью, предлагается использовать для оперативного превентивного мониторинга. В условиях нестабильности топлив, получаемых из ТРИЗ, такая возможность непрерывного контроля в режиме реального времени становится критически важной.

Резюмируя данные таблицы, можно заключить, что ИК-спектроскопия в ближней области (1 100–1 300 нм) характеризуется минимальным объемом пробы топлива, отсутствием расхода эталонных смесей в процессе анализа, а также экологичностью, мобильностью, приемлемой точностью и оперативностью. Совокупность этих свойств делает её предпочтительным инструментом для организации распределённого экспресс-контроля октанового числа бензинов в условиях использования углеводородных ресурсов из ТРИЗ.

На этой основе в рамках данного исследования была разработана концептуальная модель системы оперативного контроля качества топлив, предназначенная для обеспечения эксплуатационной и экологической безопасности автомобильного транспорта в условиях использования углеводородов из ТРИЗ (рисунок). Модель построена по иерархически-сетевому принципу и включает четыре последовательных блока: исходные условия (проблемы), инновационное решение, единую распределённую систему мониторинга качества топлив и целевые результаты. Рассмотрим каждый блок подробнее.

Блок «Исходные условия» фиксирует три системных вызова. Во-первых, это трансформация сырьевой базы нефтедобычи в контексте увеличения доли ТРИЗ. Во-вторых, объективный риск нестабильности физико-химического состава получаемых бензинов. В-третьих, как следствие, недостаточность традиционного моторного метода контроля ОЧ бензина для оперативного предотвращения эксплуатационных и экологических рисков.

Блок «Инновационное решение» представляет собой ответы на указанные вызовы – внедрение распределённой сети экспресс-контроля на базе метода ИК-спектроскопии. Ключевыми элементами являются:

чевыми свойствами решения являются высокая скорость, достаточная точность, экологичность и возможность проведения анализа непосредственно в точках обращения топлива.

Блок «Уровни внедрения» детализирует архитектуру предлагаемой системы. Здесь выделены четыре уровня единой распределённой системы мониторинга качества топлив:

- уровень распределения (АЗС, нефтебазы) – входной и выходной контроль партий;
- уровень эксплуатации (автопарки, сервисные центры) – контроль топлив в баках АТС и диагностика причин повышенной токсичности выбросов с ОГ;
- уровень надзора (мобильные лаборатории экологической инспекции) – рейдовые проверки качества топлив;
- уровень адаптации системы технического обслуживания (ТО) – корректировка регламентов ТО и оптимизация структуры парка на основе данных мониторинга.



Рисунок – Концептуальная модель системы оперативного контроля качества топлив для обеспечения эксплуатационной и экологической безопасности автомобильного транспорта в условиях использования трудноизвлекаемых запасов углеводородов

Блок «Целевые результаты» суммирует ожидаемые эффекты от реализации модели: гарантированное поддержание ОЧ в пределах нормативных значений; снижение интенсивности износа двигателей и увеличение их ресурса; соблюдение экологических стандартов (включая требования «Евро»); формирование доказательной базы для природоохранного мониторинга; экономия затрат на ремонты и оптимизацию технической эксплуатации АТС.

Таким образом, модель показывает, что переход к распределённому ИК-контролю создаёт основу для достижения главной цели – эксплуатационной и экологической безопасности автомобильного транспорта в условиях трансформации сырьевой базы нефтедобычи. Предлагаемая архитектура благодаря взаимодействию всех элементов способна дать синергетический эффект, необходимый для гарантированного достижения целевых показателей.

## **Выводы**

Проведенное исследование позволяет сформулировать следующие выводы.

1. Трансформация сырьевой базы нефтедобычи в сторону увеличения доли трудноизвлекаемых запасов создаёт риски нестабильности детонационной стойкости бензинов, влияющие на эксплуатационную надёжность и экологичность (рост  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{C}_m\text{H}_n$ ) автомобильного транспорта.

2. Традиционный моторный метод (ГОСТ 511-2022), оставаясь эталонным для сертификационных испытаний, обладает ограничениями, не позволяющими эффективно использовать его для оперативного выявления и предотвращения попадания некондиционного топлива в эксплуатацию. В связи с этим целесообразно сохранить его для арбитражных процедур, а для целей текущего мониторинга применять альтернативные подходы.

3. В качестве научно обоснованного и технологически реализуемого решения предлагается создание распределённой сети экспресс-контроля на базе метода ближней ИК-спектроскопии. Основные преимущества метода – время анализа 1–5 минут, отсутствие вредных выбросов с отработавшими газами, возможность размещения оборудования на автозаправочных станциях, в автопарках, передвижных лабораториях и т. д. Это позволит организовать непрерывное наблюдение за октановым числом автомобильных бензинов в режиме реального времени.

4. Внедрение инновационных методов контроля качества топлив становится действенным инструментом обеспечения эксплуатационной безопасности (предотвращение детонации в ДВС и связанного с ней износа) и экологической безопасности (снижение токсичности отработавших газов). Это создаёт основу для повышения надёжности и экологической устойчивости автотранспортного комплекса в целом.

*Работа выполнена за счёт средств федерального бюджета.*

## **Список литературы**

1. Сытник, Е. С. Техносферная безопасность автомобильного транспорта в условиях трансформации сырьевой базы и технологий нефтедобычи / Е. С. Сытник, Д. Ю. Пашенко. – Текст : электронный // Донецкие чтения – 2025: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : материалы X Международной научной конференции, посвященной 60-летию создания Донецкого научного центра, Донецк, 05–07 ноября 2025 года. – Донецк : Изд-во ДонГУ, 2025. – Т. 2. – С. 64–67. – EDN JPYUGM. – URL: <https://science.donnu.ru/wp-content/uploads/2025/11/dch-2025-tom-2-fizicheskie-tehnicheskie-i-kompyuternye-nauki.pdf> (дата обращения: 22.04.2026).
2. Трофименко, А. Спасение от истощения. Что такое трудноизвлекаемые запасы углеводородов / А. Трофименко. – Текст : электронный // БКС Экспресс. – URL: <https://bcs-express.ru/novosti-i-analitika/spasenie-ot-istoshcheniia-cto-takoe-trudnoizvlekaemye-zapasy-uglevodorodov>. – Дата публикации: 01.07.2025.
3. Рахманбердиев, А. Трудноизвлекаемые запасы нефти / А. Рахманбердиев, С. Жанмурзаев, М. Дурдыев. – Текст : электронный // Фундаментальные и прикладные исследования в науке и образовании : сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции, Стерлитамак, 24 сентября 2023 года. – Стерлитамак : Агентство международных исследований, 2023. – С. 10–11. – EDN KLJBNJ. – URL: <https://elibrary.ru/kljbnj> (дата обращения: 22.04.2026).
4. ГОСТ 511-2022. Топливо для двигателей. Моторный метод определения октанового числа : межгосударственный стандарт : внесен Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии : введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 декабря 2022 г. № 1587-ст. : взамен ГОСТ 511-2015. : дата введения в качестве национального стандарта : 01.07.2023 / разработан Акционерным обществом «Всероссийский научно-исследовательский институт по переработке нефти». – Москва : Стандартинформ, 2022. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200195039> (дата введения: 23.04.2026). – Текст : электронный.
5. Гуреев, А. А. Автомобильные бензины. Свойства и применение / А. А. Гуреев, В. С. Азев. – Москва : Нефть и газ, 1996. – 444 с. – ISBN 5-7246-0027-7.
6. Воинов, А. Н. Сгорание в быстроходных поршневых двигателях / А. Н. Воинов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1977. – 277 с.
7. О возобновляемости запасов нефти и газов на основе новых научных концепций нефтегазообразования / А. И. Агафонов, Р. А. Агафонов, А. Г. Пивкин [и др.] // Бурение и нефть. – 2010. – № 10. – С. 12–14.
8. Отто, М. Современные методы аналитической химии / М. Отто. – Москва : Техносфера, 2021. – 656 с. – ISBN 978-5-94836-615-9.

9. Bohács, Gy. Prediction of Gasoline Properties with near Infrared Spectroscopy / Gy. Bohács, Z. Ovádi, A. Salgó. – DOI: 10.1255/jnirs.155. – Текст : электронный // Journal of Near Infrared Spectroscopy. – 1998. – Vol. 6, Iss. 1. – P. 341–348. – URL: <https://opg.optica.org/jnirs/abstract.cfm?URI=jnirs-6-1-341> (дата обращения: 30.04.2026).
10. Сытник, Е. С. ИК-спектральная оценка октановых чисел бензинов – инновационный подход в решении экологических проблем автотранспортной отрасли / Е. С. Сытник. – Текст : электронный // Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса : материалы X Международной научно-практической конференции, в рамках 10-го Международного научного форума Донецкой Народной Республики, Горловка, 31 мая 2024 года. – Горловка : АДИ ДонНТУ, 2024. – С. 67–71. – EDN BFIHCZ. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=71603660> (дата обращения: 23.04.2026).
11. Сытник, Е. С. ИК-спектроскопическое определение детонационной стойкости бензинов – новая концепция в экологизации автотранспорта и его инфраструктуры / Е. С. Сытник. – Текст : электронный // Донецкие чтения 2024: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : материалы IX Международной научной конференции, Донецк, 15–17 октября 2024 года. – Т. 2, Ч. 1. – Донецк : Изд-во ДонГУ, 2024. – С. 71–74. – EDN ORAITM. – URL: <https://science.donnu.ru/wp-content/uploads/2024/10/dch-2024-tom-2-fizicheskie-himicheskie-tehnicheskie-i-kompyuternye-nauki.-chast-1.pdf> (дата обращения: 24.04.2026).

### *References*

1. Sytnik E. S. Technosphere Safety of Road Transport in the Context of the Transformation of the Raw Material Base and Oil Production Technologies. E. S. Sytnik, D. Yu. Pashchenko. Donetsk Readings – 2025: Education, Science, Innovation, Culture, and Modern Challenges : Proceedings of the 10th International Scientific Conference Dedicated to the 60th Anniversary of the Donetsk Scientific Center, Donetsk, November 5–7, 2025. Donetsk : DonSU Publishing House, 2025. Vol. 2, Pp. 64–67. EDN JPYUGM. (In Russ.) URL: <https://science.donnu.ru/wp-content/uploads/2025/11/dch-2025-tom-2-fizicheskie-tehnicheskie-i-kompyuternye-nauki.pdf>
2. Trofimenko A. Salvation from Depletion. What are Hard-to-Recover Hydrocarbon Reserves? BCS Express. (In Russ.) URL: <https://bcs-express.ru/novosti-i-analitika/spasenie-ot-istoshcheniia-cto-takoe-trudnoizvlekaemye-zapasy-uglevodorodov>
3. Rakhmanberdiev A. Hard-to-Recover Oil Reserves. A. Rakhmanberdiev, S. Zhanmurzaev, M. Durdyev. Fundamental and Applied Research in Science and Education : A Collection of Articles from the International Scientific and Practical Conference, Sterlitamak, September 24, 2023. Sterlitamak : International Research Agency, 2023. Pp. 10–11. EDN KLJBNJ. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/kljbnj>
4. GOST 511-2022. Engine Fuel. Motor Method for Determining Octane Number : interstate standard : introduced by the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology : put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated December 26, 2022, No. 1587-st. : replaces GOST 511-2015. : date of introduction as a national standard : July 1, 2023, developed by the All-Russian Research Institute for Oil Refining. Moscow : Standartinform, 2022. (In Russ.) URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200195039>
5. Gureev A. A. Automotive Gasolines. Properties and Applications. A. A. Gureev, V. S. Azev. Moscow : Neft i Gaz, 1996. 444 p. ISBN 5-7246-0027-7. (In Russ.)
6. Voinov A. N. Combustion in High-Speed Piston Engines. 2nd edition, revised and expanded. Moscow : Mashinostroenie, 1977. 277 p. (In Russ.)
7. On the Renewability of Oil and Gas Reserves Based on New Scientific Concepts of Oil and Gas Formation. A. I. Agafonov, R. A. Agafonov, A. G. Pivkin [et al.]. Burenie i neft'. [Drilling and Oil]. 2010. № 10. Pp. 12–14. (In Russ.)
8. Otto M. Modern Methods of Analytical Chemistry. Moscow : Tekhnosfera, 2021. 656 p. ISBN 978-5-94836-615-9. (In Russ.)
9. Bohács Gy. Prediction of Gasoline Properties with Near Infrared Spectroscopy. Gy. Bohács, Z. Ovádi, A. Salgó. DOI: 10.1255/jnirs.155. Journal of Near Infrared Spectroscopy. 1998. Vol. 6, Iss. 1. Pp. 341–348. (In Eng.) URL: <https://opg.optica.org/jnirs/abstract.cfm?URI=jnirs-6-1-341>
10. Sytnik E. S. IR Spectral Assessment of Gasoline Octane Numbers – An Innovative Approach to Solving Environmental Problems in the Automotive Industry. Scientific and Technical Aspects of the Development of the Automotive Complex : Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference, part of the 10th International Scientific Forum of the Donetsk People's Republic, Gorlovka, May 31, 2024. Gorlovka : ARI DonNTU, 2024. Pp. 67–71. EDN BFIHCZ. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=71603660>
11. Sytnik E. S. IR Spectroscopic Determination of Gasoline Knock Resistance – A New Concept in Greening Motor Vehicles and Their Infrastructure. Donetsk Readings 2024 : Education, Science, Innovation, Culture, and Modern Challenges : Proceedings of the IX International Scientific Conference, Donetsk, October 15–17, 2024. Vol. 2, p. 1. Donetsk : DonSU Publishing House, 2024. Pp. 71–74. EDN ORAITM. (In Russ.) URL: <https://science.donnu.ru/wp-content/uploads/2024/10/dch-2024-tom-2-fizicheskie-himicheskie-tehnicheskie-i-kompyuternye-nauki.-chast-1.pdf>

*Статья поступила 12.05.2026*

*© Е. С. Сытник, 2026*

*Рецензент: А. В. Петров, канд. тех. наук, доц.,*

*АНО ВО «Донецкая академия транспорта», г. Донецк*

*Е. С. Сытник*

**Распределённая сеть экспресс-контроля топлив как инструмент обеспечения безопасности автотранспорта при разработке трудноизвлекаемых запасов нефти**

Трансформация сырьевой базы нефтедобычи в сторону увеличения доли трудноизвлекаемых запасов создаёт риски нестабильности детонационной стойкости автомобильных бензинов. Традиционный моторный метод контроля октанового числа является эталонным, но он не применим для оперативного мониторинга на объектах топливной инфраструктуры из-за длительности, жёсткой привязки к лабораторному помещению с испытательной установкой и экологической нагрузки.

В работе обоснована концепция распределённой сети экспресс-контроля октанового числа бензинов методом ближней инфракрасной (ИК) спектроскопии для обеспечения эксплуатационной и экологической безопасности автомобильного транспорта в условиях использования углеводородов из трудноизвлекаемых запасов.

В исследовании применялись следующие методы: теоретический сравнительный анализ моторного и ИК-спектроскопического методов на основе обобщения опубликованных данных, системный анализ и концептуальное моделирование распределённой системы мониторинга качества топлив.

Показано, что метод ближней ИК-спектроскопии обеспечивает высокую оперативность анализа, не требует эталонных смесей и сжигания пробы топлива, экологически безопасен. По обобщённым опубликованным данным, точность прогнозирования октанового числа ИК-методом делает его пригодным для превентивного контроля.

Разработана концептуальная иерархически-сетевая модель распределённой системы мониторинга, включающая уровни распределения (нефтебазы, АЗС), эксплуатации (автопарки, сервисные центры), надзора (мобильные лаборатории) и адаптации системы технического обслуживания автомобильного транспорта.

Внедрение распределённой сети ИК-спектроскопического контроля качества топлив позволит в режиме реального времени выявлять некондиционные топлива, предотвращать детонационное сгорание, снижать интенсивность износа двигателей и токсичность отработавших газов, что делает его действенным инструментом обеспечения эксплуатационной и экологической безопасности автотранспортного комплекса и создаёт основу для повышения надёжности, долговечности двигателей и экологической устойчивости в условиях освоения трудноизвлекаемых углеводородов.

**АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ, ТРУДНОИЗВЛЕКАЕМЫЕ ЗАПАСЫ НЕФТИ, ТРИЗ, ОКТАНОВОЕ ЧИСЛО, ДЕТАНАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ, ИК-СПЕКТРОСКОПИЯ, ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ, МОНИТОРИНГ, ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

*E. S. Sytnik*

**Distributed Fuel Monitoring Network as a Tool for Ensuring Vehicle Safety During the Development of Hard-to-Recover Oil Reserves**

The transformation of the raw material base for oil production towards an increase in the share of hard-to-recover reserves creates risks of instability in the detonation resistance of motor gasoline. The traditional motor method of octane number control is the standard, but it is not applicable for operational monitoring at fuel infrastructure facilities due to its time-consuming nature, strict connection to a laboratory room with a test rig, and environmental impact.

The paper substantiates the concept of the distributed network for express monitoring of the octane number of gasoline using near infrared (IR) spectroscopy to ensure the operational and environmental safety of motor vehicles in conditions of using hydrocarbons from hard-to-recover reserves.

The following methods were used in the study: theoretical comparative analysis of motor and IR spectroscopic methods based on the generalization of published data, systems analysis and conceptual modelling of the distributed fuel quality monitoring system.

Near-infrared spectroscopy has been shown to provide rapid analysis, eliminate the need for reference mixtures or sample combustion, and is environmentally safe. According to published data, the accuracy of octane number prediction using IR makes it suitable for preventive monitoring.

The conceptual hierarchical network model of the distributed monitoring system is developed, including levels of distribution (oil depots, gas stations), operation (fleets, service centers), supervision (mobile laboratories), and adaptation of the vehicle maintenance system.

The implementation of the distributed network for IR spectroscopic fuel quality control will enable real-time detection of substandard fuels, prevent detonation combustion, reduce engine wear and exhaust gas toxicity, making it an effective tool for ensuring the operational and environmental safety of the motor transport complex and creating the basis for increasing engine reliability, durability, and environmental sustainability in the context of developing hard-to-recover hydrocarbons.

**AUTOMOBILE TRANSPORT, HARD-TO-RECOVER OIL RESERVES, OCTANE NUMBER, DETONATION RESISTANCE, IR SPECTROSCOPY, RAPID ANALYSIS, MONITORING, OPERATIONAL SAFETY, ENVIRONMENTAL SAFETY**

**Сведения об авторе:****Сытник Елена Сергеевна**

Кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Автомобильный транспорт» Автомобильно-дорожного института (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донецкий национальный технический университет» в г. Горловка, ДНР, Российская Федерация,

SPIN-код РИНЦ: 2595-6775  
AutorID: 1209280  
ORCID: 0009-0006-0652-1650  
Телефон: +7 949 720-59-57  
Эл. почта: ess007@bk.ru

**Author's information:****Sytnik Elena Sergeevna**

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor of the Chair "Automobile Transport" of Automobile and Road Institute of the Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Donetsk National Technical University" in Gorlovka, DPR, Russian Federation,

RSCI SPIN: 2595-6775  
AutorID: 1209280  
ORCID: 0009-0006-0652-1650  
Phone: +7 949 720-59-57  
Email: ess007@bk.ru