

ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР / ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ /
TECHNICAL SCIENCES

DOI 10.54596/2958-0048-2025-4-153-159

УДК 621.4

МРНТИ 55.42.41

REVIEW AND ANALYSIS OF MODERN ENGINE PRE-START HEATING
SYSTEMS

Gagolina O.S.¹, Moldakhmetov S.S.^{1*}, Zhuravlev V.V.¹

¹*Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan*

**Corresponding author: ssmoldahmetov@ku.edu.kz*

Abstract

The article presents a review and comparative analysis of modern pre-start heating systems for internal combustion engines, which are highly relevant for operation in the harsh climate of the northern regions of Kazakhstan. Cold starts are accompanied by increased wear of the cylinder-piston group, higher fuel consumption, and greater emissions of pollutants, as confirmed by experimental studies. An additional factor that has intensified the problem is the restriction introduced in 2025, which limits engine idling for warming up to five minutes, thereby requiring alternative technical solutions. The study systematizes three main classes of preheaters: electric, autonomous fuel-based, and combined intelligent systems. For each type, the design features, operating principle, advantages, and disadvantages are considered. It is shown that electric systems are simple and inexpensive but depend on the availability of external power; autonomous heaters ensure rapid engine start and independence but require additional costs; combined solutions provide high efficiency and intelligent control, yet remain costly. A comparative analysis based on efficiency, energy consumption, environmental impact, and ease of operation demonstrates that autonomous fuel-based systems are the most reliable under extreme cold conditions, while the most promising direction for development lies in intelligent and combined systems that integrate renewable energy sources and the concept of the “smart city.”

Keywords: pre-start heating, cold start, autonomous heaters, engine wear, emissions, energy consumption, Northern Kazakhstan.

ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫ АЛДЫН АЛА ЖЫЛЫТУ ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ЗАМАНАУИ
ТҮРЛЕРІНЕ ШОЛУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ

Гаголина О.С.¹, Молдахметов С.С.^{1*}, Журавлёв В.В.¹

¹*«Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті» КеАҚ,*

Петропавл, Қазақстан

**Хат-хабар үшін авторы: ssmoldahmetov@ku.edu.kz*

Аңдатпа

Мақалада іштен жану қозғалтқыштарының алдын ала жылыту жүйелерінің заманауи түрлеріне шолу және салыстырмалы талдау берілген, бұл мәселе Қазақстанның солтүстік аймақтарының қатал климаттық жағдайында көлік құралдарын пайдалану үшін ерекше өзекті. Суық іске қосу цилиндр-поршень тобының тозуының артуымен, отын шығынының өсуімен және зиянды заттардың шығарындыларының көбеюімен қатар жүреді, бұл тәжірибелік зерттеулермен расталады. Қосымша өзектілікке 2025 жылы енгізілген, автомобильдерді бес минуттан артық бос жүрісте жылытуға тыйым салу шарасы әсер етті, ол баламалы техникалық шешімдерді іздеуді талап етеді. Жұмыста үш негізгі класс жүйелендірілді: электрлік, автономды отындық және аралас интеллектуалды жүйелер. Өр түрінің конструктивтік ерекшеліктері, жұмыс істеу принципі, артықшылықтары мен кемшіліктері қарастырылды. Электрлік жүйелер қарапайым және арзан болғанымен, сыртқы электр желісіне тәуелді; автономды подогревательдер қозғалтқышты тез іске қосуды және тәуелсіздікті қамтамасыз етеді, бірақ қосымша шығындарды қажет етеді; аралас шешімдер жоғары тиімділікті және интеллектуалды басқаруды

қамтамасыз етеді, алайда қымбат болып қала береді. Тиімділік, энергия тұтыну, экологиялық әсер және пайдалану ыңғайлылығы критерийлері бойынша жүргізілген салыстырмалы талдау экстремалды аяз жағдайында ең сенімдісі автономды отындық жүйелер екенін көрсетті, ал болашақтағы даму бағыттарының бірі – жаңартылатын энергия көздерін және «ақылды қала» тұжырымдамасын біріктіретін интеллектуалды және аралас жүйелер.

Keywords: алдын ала жылыту, суық іске қосу, автономды подогревательдер, қозғалтқыштың тозуы, шығарындылар, энергия тұтыну, Солтүстік Қазақстан.

ОБЗОР И АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ПРЕДПУСКОВОГО ПОДОГРЕВА ДВИГАТЕЛЯ

Гаголина О.С.¹, Молдахметов С.С.^{1*}, Журавлёв В.В.¹

^{1*}НАО «Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева»,
Петропавловск, Казахстан

*Автор для корреспонденции: ssmoldahmetov@ku.edu.kz

Аннотация

В статье представлен обзор и сравнительный анализ современных систем предпускового подогрева двигателей внутреннего сгорания, актуальных для эксплуатации в условиях сурового климата северных регионов Казахстана. Холодный запуск сопровождается повышенным износом цилиндропоршневой группы, ростом расхода топлива и увеличением выбросов загрязняющих веществ, что подтверждается данными экспериментальных исследований. Дополнительным фактором актуализации проблемы стало введённое в 2025 году ограничение на прогрев автомобилей более пяти минут, что требует поиска альтернативных технических решений. В работе систематизированы три основных класса подогревателей: электрические, автономные топливные и комбинированные интеллектуальные системы. Для каждого типа рассмотрены конструктивные особенности, принцип действия, преимущества и недостатки. Показано, что электрические системы отличаются простотой и низкой стоимостью, но зависят от наличия внешней электросети; автономные подогреватели обеспечивают быстрый запуск и независимость, но требуют дополнительных затрат; комбинированные решения сочетают высокую эффективность и интеллектуальное управление, однако остаются дорогостоящими. Сравнительный анализ по критериям эффективности, энергопотребления, экологичности и удобства эксплуатации позволяет сделать вывод, что в условиях экстремальных морозов наиболее надёжными являются автономные топливные подогреватели, в то время как перспективным направлением развития остаются интеллектуальные и комбинированные системы, интегрирующие возобновляемые источники энергии и концепцию «умного города».

Ключевые слова: предпусковой подогрев; холодный запуск; автономные подогреватели; износ двигателя; выбросы; энергопотребление; Северный Казахстан.

Введение

В условиях сурового климата северных регионов Казахстана проблема холодного пуска двигателя остается одной из наиболее актуальных для эксплуатации автотранспорта. Температура в зимний период может опускаться до -35 [1], что существенно влияет на надежность запуска двигателей внутреннего сгорания, ускоряют износ узлов, увеличивают расход топлива и ухудшают экологические показатели [2]. Традиционная практика длительного прогрева автомобиля на холостом ходу приводит к повышенным выбросам вредных веществ в атмосферу и дополнительным затратам топлива, что особенно критично в условиях урбанизированных территорий [3].

В 2025 году в Казахстане вступили в силу законодательные ограничения, запрещающие прогрев двигателей дольше пяти минут [4]. Это усилило необходимость применения эффективных и экологически безопасных технологий предпускового подогрева, способных обеспечить надежный запуск двигателя и комфорт эксплуатации автомобиля без ущерба для окружающей среды.

Современные системы предпускового подогрева включают широкий спектр решений – от электрических нагревателей охлаждающей жидкости и масляных картеров до автономных топливных подогревателей и комбинированных интеллектуальных систем, интегрированных с системами дистанционного управления и мониторинга. Каждая из этих технологий имеет свои преимущества и ограничения, связанные с энергоэффективностью, стоимостью, удобством эксплуатации и уровнем экологической безопасности.

Таким образом, анализ и обзор современных систем предпускового подогрева двигателя представляют особую практическую значимость для северных регионов Казахстана, где эксплуатация автомобилей в условиях низких температур является повседневной задачей. Проведение сравнительной оценки существующих решений позволит выявить оптимальные направления их применения, а также сформулировать рекомендации для дальнейшего совершенствования и адаптации данных технологий к местным условиям.

Методы исследования

Обзор современных систем предпускового подогрева двигателей был выполнен на основе комплексного подхода, включающего поиск, отбор и систематизацию публикаций в международных библиографических базах данных (Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, ScienceDirect, MDPI), а также в открытых ресурсах и специализированных правовых порталах Республики Казахстан. Дополнительно были изучены технические каталоги и руководства производителей подогревателей (Webasto, Eberspächer, Defa, Calix). В обзор включались публикации за 2010-2025 годы, в которых рассматривались конструкция и принципы действия электрических, автономных и комбинированных систем подогрева, экспериментальные данные по влиянию холодного запуска на износ двигателя и выбросы загрязняющих веществ, а также инновационные решения, связанные с применением интеллектуальных контроллеров, возобновляемых источников энергии и адаптацией к суровым климатическим условиям.

Результаты исследования

Современные технологии предпускового подогрева двигателей внутреннего сгорания можно классифицировать по источнику энергии и принципу действия. Наиболее широкое распространение получили три основных типа систем: электрические нагреватели, автономные топливные подогреватели и комбинированные интеллектуальные комплексы.

Электрические системы подогрева работают за счёт подключения к внешней электросети (обычно 220 В) или встроенного аккумулятора. В большинстве случаев они обеспечивают нагрев охлаждающей жидкости или моторного масла [5]. Данные устройства характеризуются относительной простотой конструкции, низкой стоимостью и удобством обслуживания, что делает их востребованными в городских условиях и при наличии стационарных парковочных мест с доступом к электросети. Практическую информацию о востребованных моделях можно найти в специализированных обзорах и экспертных оценках [6]. Однако применение электрических систем ограничено зависимостью от внешнего источника энергии, а также снижением эффективности при экстремально низких температурах, что существенно сказывается на эксплуатации в условиях северных регионов. Тем не менее, согласно [7] использование внешнего электрического подогревателя мощностью 1 кВт позволяет снизить расход топлива на 2,64 л/100 км и повысить комфорт при холодном запуске, но в исследовании не была учтена стоимость электроэнергии.

Следует отметить, что предлагаются новые электрические решения в предпусковом подогреве двигателя [8]. На фоне тенденций электрификации в гибридных приводах в [9] представили метод двунаправленного подогрева, использующий отработанное тепло двигателя и электромотора. Это решение позволяет уменьшить время прогрева на 50%.

На фоне тенденций электрификации в гибридных приводах Ding et al. (2025) представили метод двунаправленного подогрева, использующий отработанное тепло двигателя и электромотора. Это решение позволяет уменьшить время прогрева на 50%, снизить расход топлива и выбросы, а также значительно сократить энергопотребление батареи по сравнению с традиционными системами

Автономные топливные подогреватели представляют собой устройства, работающие на дизельном топливе или бензине, которые обеспечивают нагрев охлаждающей жидкости независимо от внешней сети. Их использование позволяет прогреть не только двигатель, но и салон автомобиля, что особенно актуально в условиях сурового климата. Наиболее известными представителями этого класса являются системы Webasto и Eberspächer. Их основные преимущества заключаются в мобильности и высокой эффективности, однако существенными недостатками остаются высокая стоимость, дополнительный расход топлива и необходимость регулярного технического обслуживания.

Автономные топливные подогреватели (например, Eberspächer Hydronic и Airtronic) разработаны для установки в моторном отсеке: Hydronic нагревает охлаждающую жидкость через встроенный насос, а Airtronic – напрямую воздушный контур с помощью горелки и вентилятора, обеспечивая почти мгновенное обогревание салона. Они компактны, эффективны и способны уменьшить износ двигателя и выбросы при холодном запуске за счёт ускоренного прогрева. Компания Webasto имеет серию Thermo Top Evo, оснащённую современной системой подачи топлива, таймером, диагностикой и возможностью оптимальной работы с дизельной системой DPF; эти устройства обеспечивают быстрое действие и топливную эффективность [10].

Однако исследования показывают, что такие подогреватели, несмотря на очевидную пользу, могут существенно увеличивать концентрацию частиц в выхлопе, поскольку имеют отдельный выхлопной вывод и работают автономно, что создаёт дополнительные экологические риски [11].

Комбинированные и интеллектуальные системы представляют собой перспективное направление развития технологий предпускового подогрева. Они сочетают электрические и топливные методы нагрева и могут быть интегрированы с системами дистанционного управления на основе GSM или интернет-модулей. Подобные решения позволяют пользователю программировать режимы работы подогревателя, минимизировать энергопотребление и оптимизировать прогрев двигателя.

Интеллектуальные системы оснащаются микропроцессорными контроллерами, датчиками температуры, давления и уровня заряда аккумулятора, а также средствами дистанционного управления. Это позволяет пользователю программировать расписание работы подогревателя, запускать его удаленно через GSM-модуль или мобильное приложение, а также оптимизировать время нагрева двигателя и салона. Например, интеллектуальные контроллеры (типа Power Badger) способны учитывать наружную температуру и запускать подогрев только тогда, когда это действительно необходимо, снижая тем самым энергопотребление и эксплуатационные расходы.

Сравнение трёх типов систем показывает, что каждая из них обладает как очевидными преимуществами, так и ограничениями (Таблица 1).

Таблица 1. Сравнение типов предпусковых подогревателей

Тип системы	Принцип работы	Преимущества	Недостатки	Наиболее целесообразное применение
Электрические	Нагрев ОЖ или масла от сети	Простота, низкая цена	Требует электросети, маломощные	Город, стоянки с розетками
Топливные автономные	Сжигание топлива в отдельной камере	Быстрый прогрев, независимость	Высокая стоимость требуют топлива и обслуживания, опасность возгорания	Регионы, трассы
Комбинированные/умные	Совмещение электричества и топлива, дистанционный контроль	Эффективность, долговечность, автоматизация	Высокая стоимость	Город, регионы

Одним из наиболее перспективных направлений дальнейшего развития систем предпускового подогрева является интеграция с возобновляемыми источниками энергии. Наибольший интерес представляют решения, основанные на использовании солнечных панелей на парковочных навесах и крытых стоянках, которые способны вырабатывать электроэнергию для питания электрических подогревателей. В условиях концепции «умного города» подобные установки могут быть включены в общую инфраструктуру энергоэффективного транспорта, обеспечивая локальную генерацию и накопление энергии с последующим использованием в ночное время для запуска подогревателей.

Применение подобных технологий позволит снизить зависимость от централизованных сетей, уменьшить эксплуатационные расходы и сократить выбросы углекислого газа. Кроме того, накопленная в аккумуляторных блоках энергия может быть использована не только для предпускового подогрева, но и для питания других систем автомобиля или элементов городской инфраструктуры. Для северных регионов Казахстана, где зима отличается продолжительностью и низкими температурами, подобные решения могут существенно повысить надёжность эксплуатации транспортных средств и соответствовать задачам по переходу к «зелёной экономике».

Заключение

Для северных регионов Казахстана, где суровый климат и частые морозы требуют надёжного запуска при низких температурах, наибольшую практическую ценность представляют автономные топливные подогреватели. Тем не менее перспективным направлением остаётся развитие комбинированных и интеллектуальных систем, которые в будущем могут обеспечить баланс между энергоэффективностью, экологичностью и доступностью, постепенно вытесняя традиционные электрические и топливные решения.

Информация о финансировании: данное исследование финансировалось Комитетом науки МНВО РК (грант № AP13268732).

Литература:

1. Седельников И.А., Смагулова Е.Н. Динамика основных метеопказателей на территории Северо-Казахстанской области за 1966–2020 гг. // Региональные геосистемы. – 2023. – Т. 47, № 4. – С. 569–579. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2023-47-4-569-579>
2. Roberts A., Brooks R., Shipway P. Internal combustion engine cold-start efficiency: A review of the problem, causes and potential solutions // Energy Conversion and Management. – 2014. – Vol. 82. – P. 327–350. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.03.002>
3. Andrych-Zalewska M., Chlopek Z., Merksiz J., Pielecha J. Impact of the Internal Combustion Engine Thermal State during Start-Up on the Exhaust Emissions in the Homologation Test // Energies. – 2023. – Т. 16, № 4. – С. 1937. <https://doi.org/10.3390/en16041937>
4. Штраф за прогрев авто более 5 минут разъяснили в МВД. – Zakon.kz, 09.01.2025. – Режим доступа: zakon.kz/obshestvo/6462781-shtraf-za-progre-v-avto-bolee-5-minut-razyasnili-v-mvd.html (дата обращения: 05.09.2025).
5. Analog Devices. Designing a temperature-based heating system for an automotive engine preheater // Technical Articles. – 2023. – URL: <https://www.analog.com/en/resources/technical-articles/designing-temperature-based-heating-system-automotive-engine-preheater.html> (дата обращения: 05.09.2025).
6. 8 лучших предпусковых подогревателей / Expertology; автор — Борис Владимирович Филатов. — Обновлено: 29.03.2025. — Режим доступа: expertology.ru/8-luchshikh-predpuskovykh-podogrevateley/ (дата обращения: 05.09.2025).
7. Geça M. J., Radica G. Effect of compression ignition engine preheating on its performance under cold start conditions // Combustion Engines. – 2022. – Vol. 188, № 1. – Pp. 67–74. <https://doi.org/10.19206/CE-142346>.
8. Zhao Y., et al. Study on activation system of thermostatic preheating engine // Journal of Electronic Research and Application. – 2024. – Vol. 4, No. 2. <https://doi.org/10.26689/jera.v8i6.8996>
9. Ding P., et al. Research on interactive coupled preheating method utilizing engine-motor cooling waste heat in hybrid powertrains // SSRN. – 2025. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5325060>
10. Thermo Top Evo – Coolant Heaters. – Webasto, 2025. – Режим доступа: <https://www.webasto.com/en-us/heating/coolant-heaters/thermo-top-evo.html> (дата обращения: 05.09.2025).
11. Karjalainen P., Timonen H., Saarikoski S., et al. Emissions from fuel-operated auxiliary heaters in vehicles // Atmosphere. – 2021. – Vol. 12, No. 9. – P. 1105. <https://doi.org/10.3390/atmos12091105>

References:

1. Sedel'nikov I. A., Smagulova E. N. Dinamika osnovnykh meteopkazateley na territorii Severo-Kazakhstanskoy oblasti za 1966–2020 gg. // Regional'nye geosistemy. – 2023. – Vol. 47, No. 4. – Pp. 569–579. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2023-47-4-569-579>
2. Roberts A., Brooks R., Shipway P. Internal combustion engine cold-start efficiency: A review of the problem, causes and potential solutions // Energy Conversion and Management. – 2014. – Vol. 82. – P. 327–350. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.03.002>
3. Andrych-Zalewska M., Chlopek Z., Merksiz J., Pielecha J. Impact of the Internal Combustion Engine Thermal State during Start-Up on the Exhaust Emissions in the Homologation Test // Energies. – 2023. – Т. 16, № 4. – С. 1937. <https://doi.org/10.3390/en16041937>
4. Shtraf za progre-v avto bolee 5 minut raz'yasnili v MVD. – Zakon.kz, 09.01.2025. – Available at: zakon.kz/obshestvo/6462781-shtraf-za-progre-v-avto-bolee-5-minut-razyasnili-v-mvd.html (accessed 05.09.2025).
5. Analog Devices. Designing a temperature-based heating system for an automotive engine preheater // Technical Articles. – 2023. – URL: <https://www.analog.com/en/resources/technical-articles/designing-temperature-based-heating-system-automotive-engine-preheater.html> (дата обращения: 05.09.2025).
6. Filatov B. V. 8 luchshikh predpuskovykh podogrevateley. – Expertology, 29.03.2025. – Available at: expertology.ru/8-luchshikh-predpuskovykh-podogrevateley/ (accessed 05.09.2025).

7. Gęca M. J., Radica G. Effect of compression ignition engine preheating on its performance under cold start conditions // *Combustion Engines*. – 2022. – Vol. 188, № 1. – Pp. 67–74. <https://doi.org/10.19206/CE-142346>.=
8. Zhao Y., et al. Study on activation system of thermostatic preheating engine // *Journal of Electronic Research and Application*. – 2024. – Vol. 4, No. 2. <https://doi.org/10.26689/jera.v8i6.8996>
9. Ding P., et al. Research on interactive coupled preheating method utilizing engine-motor cooling waste heat in hybrid powertrains // *SSRN*. – 2025. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5325060>
10. Thermo Top Evo – Coolant Heaters. – Webasto, 2025. – Режим доступа: <https://www.webasto.com/en-us/heating/coolant-heaters/thermo-top-evo.html> (дата обращения: 05.09.2025).
11. Karjalainen P., Timonen H., Saarikoski S., et al. Emissions from fuel-operated auxiliary heaters in vehicles // *Atmosphere*. – 2021. – Vol. 12, No. 9. – P. 1105. <https://doi.org/10.3390/atmos12091105>

Information about the authors:

Gagolina O.S. – M.Sc., senior lecturer of the Department of Energetic and radioelectronics, Kozybayev University, Petropavlovsk, Kazakhstan, e-mail: osgagolina@ku.edu.kz;
Moldakhmetov S.S. – corresponding author, PhD, Associate Professor of the Department of Energetic and radioelectronics, Kozybayev University, Petropavlovsk, Kazakhstan, e-mail: ssmoldahmetov@ku.edu.kz;
Zhuravlev V.V. – student, Kozybayev University, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: vzhuravlev140502@gmail.com.