

## **ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВА ПРИ ИЗСЛЕДВАНЕ НА МИКРОКЛИМАТА В СУХОПЪТЕН ТРАНСПОРТ (АВТОМОБИЛЕН И ЖЕЛЕЗОПЪТЕН)**

**Валентина Зочилова**

[zochinova@abv.bg](mailto:zochinova@abv.bg)

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”,  
ул. „Гео Милев” 158, София 1574,  
БЪЛГАРИЯ*

***Резюме:** Целта на това изследването е да сравни условията в автомобилния и железопътния транспорт и да предложи иновативни подходи за подобрене. Описани са енергийните и екологични предизвикателства в контекста на глобалните усилия за намаляване на въглеродните емисии и подобряване на енергийната ефективност.*

*Анализираните са изследвания свързани с температурния комфорт и мониторинга на микроклиматичните условия в железопътния транспорт.*

*Систематизирани са предизвикателствата в областта на съхопътния транспорт и са разгледани променливите климатични условия, ограниченото пространство, енергийната ефективност и нужда от интелигентни сензорни решения за изграждане на адаптивна среда.*

*Изследването, оценката и мониторинга на параметрите на микроклимата в сухопътния транспорт е ключово за осигуряване на комфорт, здраве и безопасност на пътниците.*

*Представени са възможностите и методите за измерване на физическите параметри на средата и са проучени нормативните документи и стандарти за оценка на топлинен комфорт.*

*В заключение са представени възможностите за адаптивни климатични системи и IoT технологии е пътят към по-устойчиво и комфортно пътуване. Изследването, поддържането и осигуряването на стабилни параметри на микроклимата като температура, влажност, скорост на движение на въздуха, концентрация на въглероден диоксид, наличие на прахови и газови замърсители на микроклимата в сухопътния транспорт представлява важен аспект от модерния транспортен инженеринг и е ключово за осигуряване на добро качество на въздуха и енергийна ефективност на сухопътния транспорт.*

***Ключови думи:** Микроклимат, топлинен комфорт, транспорт.*

### **ВЪВЕДЕНИЕ**

Микроклиматът в сухопътния транспорт влияе значително както на физическото, така и на психическото здраве на пътниците. Различни фактори като температура, качество на въздуха и движението на въздуха играят решаваща роля за определяне на комфорта и безопасността на пътниците в превозното средство. Неблагоприятните условия на средата могат да причинят стрес, умора, намалена концентрация, промяна в когнитивните показатели и настроението, като представлява сериозен риск за здравето. Особено уязвими са деца, възрастни и хора с хронични заболявания.

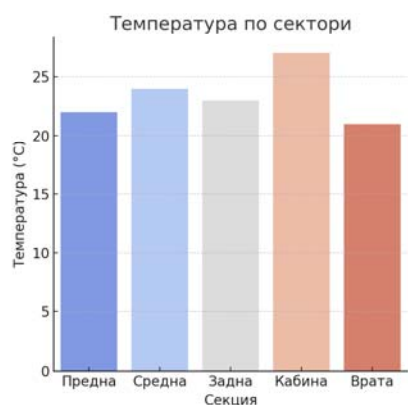
Микроклиматичните условия в железопътните съоръжения се наблюдават с помощта на различни усъвършенствани инструменти и методологии, за да се гарантира здравето и комфорта на пътниците. Тези системи за мониторинг оценяват параметри като температура, влажност, качество на въздуха и движение на въздуха, които са от решаващо значение за поддържането на безопасна среда. Мониторингът на микроклиматичните условия в

автомобилния и железопътния транспорт може значително да подобри температурния комфорт и да намали рисковете за здравето на пътниците.

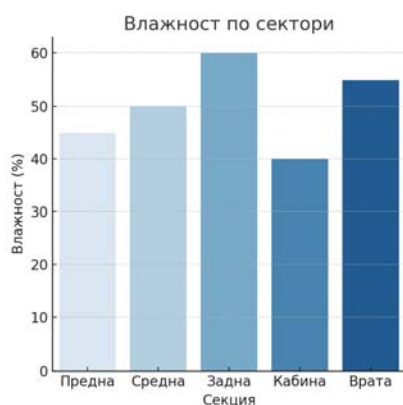
За да направим обективна сравнение и оценка на предизвикателствата в изследването и оценката на микроклимата в сухопътния транспорт сме направили сравнение между автомобилен и железопътен транспорт по различни критерий, показан в таблица 1 и визуализация на микроклиматичните параметри в различни сектори на транспортното средство по отношение на температура, влажност и концентрация на CO<sub>2</sub> в графики от 1 до 3, което подчертава нуждата от зоново управление на микроклимата.

Таблица 1. Прилики/разлики между автомобилен железопътен транспорт

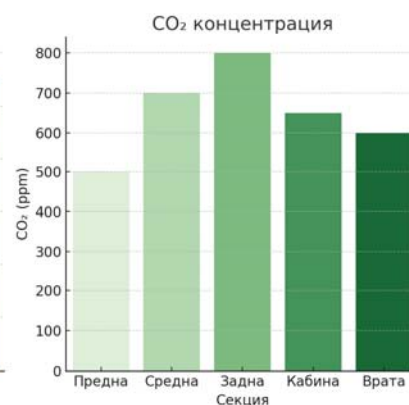
Критерий	Автомобилен транспорт	Железопътен транспорт
Обем на пространството	Ограничен (1-2м <sup>3</sup> на човек)	По-голям, многозонов
Тип климатизация	Локална, бързо реагираща	Централизирана, по-бавна
Източници на топлина	Двигател, радиационна температура	Пътници, машини, външна среда
Ниво на шум	Зависим от двигателя и пътя	Зависим от релсов път и вентилация
Възможност за контрол от пътника	Често индивидуален	Ограничен или централен
Поддръжка на климатични системи	По-лесна, но честа	По-сложна и централизирана



Граф. 1.



Граф. 2.



Граф. 3.

Въз основа на установените предизвикателства, могат да бъдат приложени редица технологични иновации в управлението на климатичните системи, възможно е да се търси повишаване на енергийната ефективност и пътническият комфорт. Според прегледаната научна литература се вижда необходимост от подобряване на организационни решения и микроклиматичните условия в автомобилния и железопътния транспорт.

Сравнението на условията в автомобилния и железопътния транспорт разкрива различни предизвикателства и възможности за иновации. Железопътният транспорт е позициониран като устойчив гръбнак на обществения транспорт, като подчертава дигитализацията, автоматизацията и интеграцията в система от врата до врата (Hlavatý & Ližbetin, 2021). Обратно, автомобилният транспорт е изправен пред значителни проблеми със задръстванията, което налага усъвършенствани решения за управление на трафика като интелигентни системи (ITS) и (IoT) (Abbasova, 2024).

#### МЕТОДИ ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА ФИЗИЧЕСКИТЕ ПАРАМЕТРИ НА СРЕДАТА

Проучени нормативните документи и стандарти за оценка на топлинен комфорт се базират на резултати от проучване на топлинния комфорт, проведени при здрави възрастни. В основата им е скалата на Fanger на топлоусещането, която се основава на уравнението на топлинния баланс на човешкото тяло.

Човек е в състояние на топлинен комфорт, когато има баланс между нивото на произведената от организма топлина (метаболитна топлопродукция) и топлината отделена в околното пространство. Съгласно EN ISO 7730 [1] «Топлинният комфорт е това състояние на ума, което изразява удовлетворение от топлинната околна среда».

За точно характеризиране на топлинната среда като референтни документи за нормиране и дефиниране на граничните стойности на компонентите на микроклимата в световната практика се използват стандарти като ISO-7730, EN 16798-1 (отменен БДС EN 15251) и ANSI/ASHRAE 55 [1,2,3].

В изследване на Полякова Валентина Алексеевна е представен метод за измерване и хигиенна оценка на параметрите на микроклимата в пътническите вагони на електрически влакове, оборудвани с отоплителни и климатични системи. Специфичната методология спомага за повишаване на точността и надеждността на измерванията и оценките на микроклимата в определената среда. Измерват се температурата и влажността на различни височини в рамките на леките автомобили, осигурявайки цялостно събиране на данни в различни отделения, който водят до по-точни и надеждни оценки на условията на микроклимата и работата на системите за отопление и климатизация във влаковите вагони и автомобили (Alekseevna et al., 2007).

Учени внедряват динамиката на флуидите (CFD) в метод, позволяващ симулация на разпределението на въздушния поток и температурата в превозното средство, подпомагайки проектирането на по-ефективни микроклиматични системи (Luo et al., n.d.).

### **ЕНЕРГИЙНИ И ЕКОЛОГИЧНИ ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВА**

Осигуряването на оптимален микроклимат в транспортните средства често е свързано със значителна консумация на енергия, особено при използване на климатични системи в екстремни метеорологични условия. Това поражда редица екологични и енергийни предизвикателства.

При автомобилния транспорт, честото стартиране и спиране на климатичната система в зависимост от външните условия води до непостоянна енергийна консумация. В железопътния транспорт мащабът на системите и необходимостта от поддържане на микроклимат в много вагони едновременно поражда значителни разходи за електроенергия. Поради климатичните изменения се предвижда повишен температурен дискомфорт във всички направления на сухопътния транспорт и подземните железници.

Изследване в лондонския метрополитен (Jenkins et al., 2014), показва че без намеса и контрол от старна на Управляващият орган, недоволството на пътниците би могло да достигне критични нива до 2050 г., което налага адаптиране на системите за климатизация и вентилация.

Изследване на въздушните движения показват нужда от ефективна организация на въздушния поток във всички части на превозното средство. От решаващо значение е подобряване на настоящите системи за подаване на въздух и състоянието на топлинния комфорт. Неравномерно разпределение на температурата често води до по-високи нива на дискомфорт в средните участъци на автомобилите (Deng-chun et al., n.d.).

Според изследване на Г. М. Стоякин подобряването на характеристиките на климатичната система на пътническия подвижния състав и внедряването на енергийно ефективни системи, като термпомпи за отопление, може да подобри качеството на въздуха без значително увеличаване на експлоатационните разходи, като по този начин балансира комфорта и икономическата жизнеспособност. Също така управлението и поддържането на адекватна вентилация (20-35 m<sup>3</sup>/h на човек) е от съществено значение за поддържане на нивата на CO<sub>2</sub> под 1000 ppm, което пряко влияе върху здравето и комфорта на пътниците (Стоякин et al., 2020). Подобряване на енергийната ефективност и включване на IoT технологии е пътят към по-устойчиво и комфортно пътуване.

Температурните условия в метрото, повишена температурата и влажността, влияят пряко върху възприятията за комфорт и безопасността на пътниците. Некомфортните условия на средата могат да доведат до избягване на влаковите композиции и увеличен риск за пътниците (Zou et al., 2025).

Проучване на Дивен Шен академичния преподавател в Пекин разкрива, че високите температури и препълнен вагон влияят на пътуващите в избора на обществен транспорт и е основен фактор за температурния дискомфорт (Shen et al., 2016).

## **ВЪЗДЕЙСТВИЕ НА МИКРОКЛИМАТА ВЪРХУ ЗДРАВЕТО НА ПЪТНИЦИТЕ**

Проучване свързано с качеството на въздуха дифинира проблем, който сочи че микроклиматът в системите на метрото може да бъде уязвим към патогени, пренасяни във въздуха, със значителни рискове, свързани с експозицията на биоаерозол по време на пристигането на влакове (Liu et al., 2024).

В изследване на моделите на въздушния поток в превозното е видно, че правилната вентилация, като отваряне на прозорци за създаване на въздушен поток, може да намали риска от разпространение на патогени сред пътниците (Mathai et al., 2021).

В изследване характеризиращо качествата на въздуха, с високи нива на CO<sub>2</sub> и прахови частици (PM 2.5 и PM 10), в резултат на недостатъчна вентилация, поради намалени когнитивни функции като бдителност и вземане на решения, повишават риска от пътнотранспортни произшествия. Това се отнася особено за превозни средства, където настройките за вентилация могат значително да променят нивата на експозицията (Hofman & Manna, 2020).

## **ТЕМПЕРАТУРЕН КОМФОРТ И ДИСКОМФОРТ**

Температурният комфорт в железопътния транспорт значително влияе върху преживяванията и поведението на пътниците. Изследванията показват, че топлинните среди в метросистемите и железопътните вагони влияят на удовлетвореността на пътниците, безопасността и избора на режим.

Високите температури в кабините на превозните средства могат да доведат до топлинен стрес, особено при уязвимите популации като деца. Детската превозна хипертермия е критичен проблем, като децата бързо достигат опасни топлинни прагове в затворени превозни средства, което води до тежки здравни резултати като топлинен удар (Grundstein et al., 2017).

Също така в автобуси фактори на микроклимата като шум, температура и влажност влияят на моментното настроение на пътниците. Оптималните нива на тези фактори са от решаващо значение за поддържането на комфорта и удовлетвореността на пътниците по време на пътуване (Zhang et al., 2020).

При търговските превозни средства високите температури могат да влошат работата на водачите и да увеличат умората, повлияйки на времето за реакция и цялостната безопасност (Schweizer, 1994).

Академичния изследовател от Parsons Brinckerhoff Марк П. Колино е проучил ефективността на климатичните системи е и установил корелация между външните температури и бордовите условия, което потенциално води до дискомфорт или здравословни проблеми за пътниците (Colino & Rosenstein, 2012).

## **СИСТЕМИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ И МОНИТОРИНГ НА МИКРОКЛИМАТ**

Иновативен подход за подобряване на микроклиматичните условия в автомобилния и железопътния транспорт може да бъде постигнат чрез интегриране на енергийно ефективни системи, по-специално чрез използване на възобновяеми енергийни източници като слънчевата енергия. Тази стратегия не само подобрява енергийната ефективност, но също така допринася за по-устойчива транспортна инфраструктура.

Внедряването на системи, които използват както отворени, така и затворени вериги за подаване на въздух, може значително да подобри качеството на въздуха. Затворената верига филтрира и рециркулира въздуха, докато отворената верига въвежда третиран околнен въздух (Andreevich & Mikhajlovich, 2009).

Интегрирането на технологии, които блокират слънчевата радиация, може да помогне за поддържане на комфортна температура в кабината, особено при екстремни метеорологични условия (Luo et al., n.d.).

Разработват се иновативни системи за управление на енергията за железопътните линии, с което може да се оптимизира разпределението и съхранението на енергия, осигурявайки стабилно снабдяване, като същевременно минимизира отпадъците. Използването на покриви на станции и пространства край трасето за производство на слънчева енергия може да засили енергоснабдяването на железопътните системи, повишавайки цялостната ефективност и намалявайки въглеродните отпечатъци (Aimad et al., 2024).

Подобряването на системите за отопление, вентилация и климатизация (ОВК) във влаковете може да доведе до значителни икономии на енергия. Например оптимизирането на режимите на рециркулация на въздуха може да намали консумацията на енергия от 11,6 kW до 3,9 kW при зимни условия (Panfilov et al., 2024).

Системите за отопление и охлаждане, могат да генерират специфични топлинни потоци към различни области на тялото, като гръбначната област и крайниците, подобрявайки общия топлинен комфорт чрез контролирани реакции към нивата на личен комфорт (Schumacher et al., 2015).

Разработват се системи, които измерват температурните показатели на кожата. Чрез тях могат да се регулират настройките на ОВК в реално време, което гарантира, че микроклиматът е в съответствие с физиологичните реакции на пътуващия (Kollárik et al., 2024).

В проучване на международни транзитни влакове, подробно се описва мониторинг на микроклимата с преносими устройства за събиране на данни в затворени железопътни среди, оборудвани със сензори за въглероден окис, въглероден диоксид, температура, влажност и прахови частици (Zhijun et al., 2014).

В изследване на Йоанис Кусис за мониторинг на микроклиматичните показатели в превозните средства, се разглеждат и оценяват динамични показатели на микроклимата в градски условия, предоставяйки данни в реално време, които могат да информират контролните органи, за вземане на навременни мерки за здраве и безопасност (Kousis et al., 2021).

## РЕЗУЛТАТИ

Балансираният подход с иновативни технологии, системи за управление и мониторинг, би могъл да доведе до удовлетворени пътници и по-ефективна транспортна система.

Ясно са изразени специфични предизвикателства като:

- Голяма дължина на влаковите състави → трудност за равномерно климатизиране
- Множество зони с различен товар от пътници
- Старо подвижно оборудване без модерни климатични системи
- Лоша изолация на стари вагони
- Високи експлоатационни разходи за отопление и охлаждане

В таблица 2 е направен анализ на динамични параметри и са предложени решения съобразени със здравословната среда за човека.

Таблица 2.

Проблем / Предизвикателство	Възможно решение	Потенциални ползи
Неравномерна температура	Адаптивни климатични системи с локални сензори	По-добър комфорт и енергоспестяване
Липса на информация в реално време	IoT мрежа със сензори и cloud анализ	Мониторинг и поддръжка в реално време
Висока консумация на енергия	Интелигентно управление с прогнозен модел	Намалени разходи и емисии
Субективни нужди на пътници	Персонализирани зони и индивидуални настройки	Повишена удовлетвореност
Вибрации и шум	Вградени шумоизолационни и антивибрационни системи	Подобряване на общия микроклимат
Замърсяване на въздуха в кабината и пътническите помещения	Филтри с активен въглен + CO <sub>2</sub> мониторинг	По-здравословна среда

Решенията са базирани на разгледаната научна литература и включват: използване на възобновяеми източници, интелигентно управление чрез прогнозни алгоритми и енергийно ефективни устройства.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мониторингът на микроклиматичните условия носи многобройни предимства и е от съществено значение за здравето на пътниците

Предизвикателства като увеличеното потребление на енергия и сложността на системната интеграция трябва да бъдат решени, за да се оптимизира ефективно комфортът на пътниците.

Температурният комфорт в железопътния транспорт значително влияе върху преживяванията, поведението и здравето на пътниците.

Важно да се вземат предвид недостатъците в системите за мониторинг, които биха могли да доведат до неоткрити рискове за здравето в железопътната среда.

Микроклиматът в сухопътния транспорт е комплексна и интердисциплинарна тема, изискваща синергия между инженерство, екология и хуманитарни науки. Бъдещите изследвания трябва да се фокусират върху устойчиви технологии, индивидуализирани решения и пълна интеграция на сензорни системи.

## ЛИТЕРАТУРА:

- [1] EN ISO-7730, Ергономия на топлинната среда – Аналитично определяне и интерпретация на топлинния комфорт чрез изчисляване на индексите PMV и PPD и прилагане на критериите за локален топлинен комфорт
- [2] EN 15251 (2007) Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. CEN, Brussels
- [3] БДС EN 16798-1:2019 Енергийни характеристики на сгради. Вентилация на сгради. Част 1: Входни параметри на вътрешната околна среда за проектиране и оценяване на енергийните характеристики на сгради, насочени към качеството на вътрешния въздух, топлинната среда, осветлението и акустиката. Модул M1-6

## CHALLENGES IN RESEARCHING THE MICROCLIMATE IN LAND TRANSPORT (ROAD AND RAIL)

**Valentina Zochinova**  
[zochinova@abv.bg](mailto:zochinova@abv.bg)

**Todor Kableschkov University of Transport,  
Sofia, Geo Milev Str. 158,  
BULGARIA**

**Abstract:** *The aim of this study is to compare the conditions in road and rail transport and to propose innovative approaches for improvement. Energy and environmental challenges are described in the context of global efforts to reduce carbon emissions and improve energy efficiency.*

*Studies related to thermal comfort and monitoring of microclimatic conditions in rail transport are analyzed. The challenges in the field of land transport are systematized and the variable climatic conditions, limited space, energy efficiency and the need for intelligent sensor solutions for building an adaptive environment are examined.*

*The study, assessment and monitoring of microclimate parameters in land transport is key to ensuring comfort, health and safety of passengers.*

*The possibilities and methods for measuring the physical parameters of the environment are presented and the regulatory documents and standards for assessing thermal comfort are studied.*

*In conclusion, the possibilities for adaptive climate systems and IoT technologies are presented as the path to more sustainable and comfortable travel. The study, maintenance and provision of stable microclimate parameters such as temperature, humidity, air velocity, carbon dioxide concentration, presence of dust and gas pollutants of the microclimate in land transport is an important aspect of modern transport engineering and is key to ensuring good air quality and energy efficiency of land transport.*

**Key words:** *Microclimate, thermal comfort, transport.*