

## COMPARATIVE ANALYSIS OF REFRIGERANTS USED IN CAR'S CLIMATE CONTROL SYSTEMS<sup>8</sup>

---

**Assoc. Prof. Georgi Kadikyanov, PhD**

Department of Engines and Vehicles,  
"Angel Kanchev" University of Ruse  
Phone: 082-888 526  
E-mail: [gkadikyanov@uni-ruse.bg](mailto:gkadikyanov@uni-ruse.bg)

**Prof. Rosen Ivanov, DSc**

Department of Engines and Vehicles,  
"Angel Kanchev" University of Ruse  
Phone: 082-888 528  
E-mail: [rossen@uni-ruse.bg](mailto:rossen@uni-ruse.bg)

**Chief assist. Prof. Gergana Staneva, PhD**

Department of Engines and Vehicles,  
"Angel Kanchev" University of Ruse  
Phone: 082-888 526  
E-mail: [glstaneva@uni-ruse.bg](mailto:glstaneva@uni-ruse.bg)

***Abstract:** In vehicle air conditioning systems, the compressor increases the pressure of the refrigerant in the gaseous state. Then in the condenser it passes into a liquid state with high pressure. The pressure in the evaporator drops sharply. This process causes the refrigerant to boil, which lowers its temperature to a new boiling point. As the refrigerant passes through the evaporator, the air from the car's interior passes along its outer surfaces. The refrigerant boils, absorbing heat from the air and reducing the temperature of the entering air in cabin. The heat from the cabin is transferred to the already gaseous refrigerant. Heat transfer in air conditioning systems is due to the refrigerant. A variety of refrigerants with different properties are used in vehicle air conditioning systems. The aim of this paper is to compare the refrigerants used in the air conditioning systems of vehicles.*

***Keywords:** Refrigerant, Global Warming Potential, Car's Climate Control, CO<sub>2</sub> Emissions.*

### ВЪВЕДЕНИЕ

Климатичните системи, вградени в транспортните средства, отдавна са престанали да се разглеждат като луксозно оборудване на автомобилите. Те се превърнаха във фактор за активна безопасност и днес могат да се разглеждат като неразделна част от спецификацията на превозното средство както за комфорт на водача и пътниците, така и за безопасност. Температурата и влажността на въздуха в салона на автомобила влияят съществено на способностите и поведението на водачите при управлението на транспортните средства (Kostadinov, S., Lyubenov, D., Balbuzanov, T. & Atanasova-Petrova, P., 2016).

Изискванията към хладилните агенти, които се използват в климатичните системи в транспортните средства са да притежават ниска температура на кипене и висока специфична топлина на изпарение. Друга важна характеристика е връзката между температурата и налягането. Ако температурата на хладилния агент се понижи, налягането също се понижава (Choudharia, C. & Sapalib, S., 2017). За да работи климатичната система с максимална ефективност, хладилният агент трябва да достига най-ниското си работно налягане и температура в изпарителя без да замръзва и най-високото си налягане и температура в кондензатора.

---

<sup>8</sup> Докладът е представен на сесията на 29 октомври 2021 с оригинално заглавие на български език: СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА ХЛАДИЛНИТЕ АГЕНТИ, ИЗПОЛЗВАНИ В АВТОМОБИЛНИТЕ КЛИМАТИЧНИ СИСТЕМИ

В климатичните системи на транспортните средства основно са се използвали и се използват в момента четири вида хладилни агенти (Calm, J., 2008):

- хлорофлуорвъглерод R12;
- хидрофлуоровъглерод R134a;
- въглероден диоксид R744;
- хидрофлуороолефин R1234yf.

Целта е да се направи сравнителен анализ на хладилните агенти, използвани в климатичните системи на транспортните средства.

## ИЗЛОЖЕНИЕ

### Хлорофлуорвъглерод R12

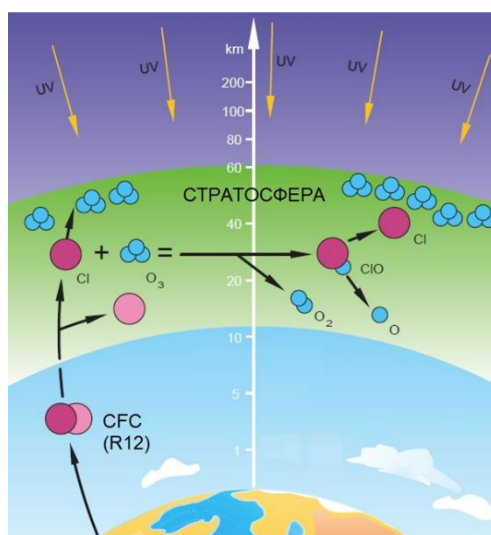
В климатичните системи на транспортните средства в близкото минало се е използвал хладилен агент R12. Той е CFC (хлорофлуоровъглерод) газ, който има температура на кипене  $-29,8^{\circ}\text{C}$  при нормално атмосферно налягане. Температурата на кипене зависи от налягането, т.е. температурата на кипене се увеличава, когато налягането се увеличи.

R12 има следните свойства: без мирис (в концентрации под 20%); нетоксичен (с изключение на контакт с открит пламък или горещи повърхности); негорим; невзривоопасен; лесно абсорбира влагата; смесва се с минерални масла; по-тежък от въздуха, следователно има риск от задушаване в близост до земята; не атакува метали или каучук и е вреден за околната среда (съдържа хлор, който разрушава атмосферния озон слой).

Озонът ( $\text{O}_3$ ) се образува в горните слоеве на атмосферата (стратосферата), на около 10 до 60km над земната повърхност. Този слой действа като щит, който предпазва земната повърхност от вредното ултравиолетово лъчение от слънцето.

Хлорът, съдържащ се в молекулата на хладилния агент R12 (CFC) достигнал до озоновия слой разрушава озоновата молекула  $\text{O}_3$ . Разграждането на озоновия слой може да бъде катастрофално за живота на Земята, причинявайки проблеми като: онкологични заболявания по кожата; очна катаракта; намален имунитет към болести; щети върху посевите; изчезване на живота във водата.

Процесът на разграждане на озоновия слой, предизвикан от използването на CFC хладилен агент е показан на Фиг. 1.



Фиг. 1. Процес на разграждане на озоновия слой

Под действието на ултравиолетовата светлина, идваща от Слънцето, молекулата на R12 се разпада. Една молекула от CFC е отговорна за разграждането на повече от 100000 молекули озон, тъй като молекулата на хлорния оксид ( $\text{ClO}$ ) е неустойчива и бързо се разпада. След което свободният хлорен атом отново се свързва с кислороден атом от

молекулата на озона. Освен въздействието върху озоновия слой R12 влияе и на задържането на топлина в атмосферата, като Потенциалът му към глобално затопляне е твърде голям – 8500. В миналото проблемът с Глобалното затопляне не е стоял на дневен ред.

### Хидрофлуоровъглерод R134a

От 1993 г. автомобилната индустрия започва масово да използва неозоноразрушаващия хладилен агент R134a (HFC) (хидрофлуоровъглеводород). Химичното му наименование е Тетрафлуоретан. В момента този хладилен агент е най-разпространения в климатичните системи в транспортните средства. R134a е избран като заместващ хладилен агент за R12 (дихлордифлуорометан) тъй като R12 съдържа хлор и има основен ефект върху разрушаването на озоновия слой. R134a и водата притежават свойството да променят агрегатното си състояние, но R134a може да направи това по-бързо и при много по-ниска температура от водата. Над  $-26,3^{\circ}\text{C}$ , R134a променя състоянието си от течно, превръщайки се в пара и поглъща големи количества топлина от въздуха в салона на превозно средство (Ravikumar, T., & Mohan Lal, D., 2009), (Yu, C., & Tun-Ping, T., 2014). Това създава охлаждащия ефект, който се усеща в автомобила. Работното налягане на R134a е по-високо в сравнение с R12.

Парниковият ефект е естествен процес, който протича в атмосферата. В резултат на това средната температура на повърхността на Земята е около  $15^{\circ}\text{C}$  вместо  $-18^{\circ}\text{C}$ . Това би се случило, ако не съществуваше парников ефект и в атмосферата нямаше парникови газове. Тъй като в противен случай температурата на Земята би зависела само от разстоянието от повърхността на Земята до Слънцето. Този ефект е от съществено значение за естествения баланс.

От Фиг. 2 се вижда връзката между наличието на парникови газове в атмосферата и температурата ѝ. Потенциалът към глобално затопляне (Global Warming Potential – GWP) е топлината, погълната от разглеждания парников газ в атмосферата, отнесена към топлината, която би била погълната от същата маса въглероден диоксид ( $\text{CO}_2$ ) (Regulation (EU) no 517/2014).



Фиг. 2. Връзка между парниковите газове в атмосферата и температурата ѝ

Потенциалът към глобално затопляне на въглеродния диоксид ( $\text{CO}_2$ ) е 1. За други газове това зависи от структурата и свойствата им, както и от времето на въздействие върху околната среда. Някои газове, имат голям Потенциал към глобалното затопляне, тъй като те поглъщат много повече топлина от  $\text{CO}_2$ .

При определянето на Потенциала към глобално затопляне на повечето газове, които се разграждат във времето, се взема под внимание поглъщането на топлина с течение на времето. Например през следващите 20 години Потенциалът им към глобално затопляне е

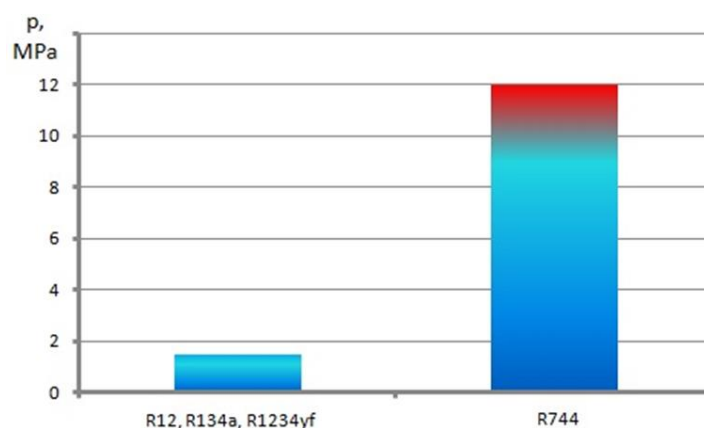
по-голям спрямо потенциала на CO<sub>2</sub>, но за следващите 100 или 500 години може да се окаже по-малък. Стойностите на Потенциала към глобално затопляне се изчисляват и актуализират постоянно.

Еквивалентът на въглероден диоксид (CO<sub>2</sub>e или CO<sub>2</sub>eq или CO<sub>2</sub>-e) се изчислява от Потенциала към глобално затопляне. Може да бъде измерен в тегло или концентрация. За всяко количество от дадения газ, това е количеството CO<sub>2</sub>, което би затоплило земята колкото количеството от този газ. По този начин се осигурява обща скала за измерване на климатичните ефекти на различните газове. Изчислява се като Потенциалът към глобално затопляне на дадения газ се умножи по количеството му. Например, ако газът има Потенциал към глобално затопляне 300, два тона газ имат еквивалент на CO<sub>2</sub>-e от 600 тона, а 1 част на милион от съответния газ в атмосферата има еквивалент на CO<sub>2</sub>-e от 300 части на милион.

### Въглероден диоксид R744

Течният въглероден диоксид (с търговско наименование R744 или R-744) е бил използван като хладилен агент преди откриването на R12. Някои производители на климатични системи се връщат към използването му поради факта, че R134a допринася за изменението на климата повече от CO<sub>2</sub>. Физичните свойства на CO<sub>2</sub> са изключително благоприятни за използването му като хладилен агент, отдаване и поглъщане на топлина с висок коефициент на студопроизводство. Сравнение на работното налягане между R744 и другите хладилни агенти, използвани в климатичните системи на транспортните средства е показано на Фиг. 3.

Поради необходимостта да работят при налягане до 12 – 13MPa, системите с CO<sub>2</sub> изискват силно устойчиви компоненти (Kobayashi, H. & Takeuti, M., 2000). Работните налягания на климатичните системи, използващи другите хладилни агенти е около 1,6MPa, докато работното налягане за CO<sub>2</sub> е около 8 пъти по-високо. R744 притежава някои екологични предимства (Потенциал към глобалното затопляне от 1, неразрушаващ озона, нетоксичен, незапалим), които биха могли да доведат до масовото му използване.



Фиг. 3. Сравнение на работното налягане между R744 и другите хладилни агенти, използвани в климатичните системи на транспортните средства

В литературата съществуват известни противоречия, относно натоварването на околната среда с въглеродни емисии. Според някои източници (Kobayashi, H. & Takeuti, M., 2000) при използването на климатични системи с R744, поради по-високото работно налягане от компресора е необходимо повече енергия. За тази енергия се изразходва повече гориво, което допринася за по-големите въглеродни емисии от двигателя. Според други източници поради спецификата на климатичните системи с CO<sub>2</sub> е необходимо компресора да работи за по-кратко време, което пък води до по-ниски въглеродни емисии.

### Хидрофлуороолефин R1234yf

HFO1234yf (Хидрофлуороолефин) или R1234yf е разработен от една от водещите химични компании в света. В Европейската директива (Directive 2006/40/EC), която е в сила от 2011г., се изисква всички нови климатични системи, вграждани в транспортните средства за продажба в Европа да използват хладилен агент с Потенциал към глобалното затопляне под 150.

Според някои източници (Brown, J., 2009) R1234yf има 100-годишен Потенциал към глобалното затопляне 4, според други той е по-нисък от 1. Този хладилен агент е алтернатива на масово използвания R134a, който има 100-годишен GWP от 1300. Производителите на автомобили не би трябвало да правят значителни модификации в конструкциите на климатичните системи, за да ги приспособят за R1234yf. Сервизното оборудване е идентично с това за R134a.

Един от недостатъците на този хладилен агент е все пак неговата слаба запалимост. Друг проблем, засягащ съвместимостта между системите, използващи R1234yf и R134a, е изборът на смазочно масло.

В таблица 1 е направено сравнение на някои характеристики на хладилни агенти, използвани в климатичните системи на транспортните средства.

Таблица 1. Сравнение на някои характеристики на хладилни агенти, използвани в климатичните системи на транспортните средства

				
Буквено означение	CFC	HFC	-	HFO
Химична формула	$\text{CCl}_2\text{F}_2$	$\text{CH}_2\text{FCF}_3$	$\text{CO}_2$	$\text{CH}_2=\text{CFCF}_3$
Наименование	Дихлоридо-флуорометан	Тетра-флуороетан	Въглероден диоксид	Хидрофлуороолефин (Тетрафлуоропропен)
Потенциал към Глобалното затопляне (GWP)	8500	1300	1	4
Температура на кипене при нормално атмосферно налягане °C	-29,8	-26,5	-78,4	-29,0
Търговско наименование	R12	R134a	R744	R1234yf

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поради разрушителното влияние на хладилния агент R12 върху озоновия слой, той е забранен за производство и използване в климатичните системи на транспортните средства. Като хладилни свойства, заместващият го R134a не се различава съществено. Известни са само някои конструктивни промени, отнасящи към агресивното въздействие на водорода от молекулата му върху уплътненията и металните детайли. Проблемите с околната среда и R134a са свързани с големия му Потенциал към глобално затопляне, а именно 1300. Затова и

този хладилен агент е забранен за използване в климатичните системи на транспортните средства, произведени след 1 януари 2017г.

Алтернативният R1234yf е с температура на кипене при нормално атмосферно налягане  $-29,0^{\circ}\text{C}$ , която е аналогична на тази на R12 и R134a. Конструкциите на климатичните системи, използващи този хладилен агент, са идентични с досегашно вгражданите. Потенциалът му към Глобалното затопляне е само 4. Недостатък е, че е възпламеняем.

R744 е с температура на кипене при нормално атмосферно налягане  $-78,4^{\circ}\text{C}$ . Различните хладилни свойства на този хладилен агент изискват по-високо нормално работно налягане близо 8 пъти в сравнение с флуоросъдържащите хладилни агенти. Това предявява конструктивни промени в климатичните системи, изискващи компресори, създаващи по-високи налягания, по-дебелостенни тръбопроводи и уплътнения за по-високите налягания. Тъй като този хладилен агент е  $\text{CO}_2$  Потенциалът му към глобалното затопляне е 1.

Изследванията са подкрепени по договор на Русенски университет "Ангел Кънчев" с №21-ФТ-03 Методи и средства за повишаване на екологичните параметри на двигателите и транспортните средства

## REFERENCES

Brown, J. (2009). HFOs - New, Low Global Warming Potential Refrigerants. *ASHRAE Journal*, 22-29.

Calm, J. (2008). The next generation of refrigerants – historical review, considerations, and outlook. *International Journal of Refrigeration*, vol. 31, 1123-1133.

Choudharia, C. & Sapalib, S. (2017). Performance Investigation of Natural Refrigerant R290 as a Substitute to R22 in Refrigeration Systems. *Energy Procedia* 109, 346 – 352.

Directive 2006/40/EC of the European parliament and of the Council of 17 May 2006 relating to emissions from air-conditioning systems in motor vehicles and amending Council Directive 70/156/EEC.

Kobayashi, H. & Takeuti, M. (2000). Development of  $\text{CO}_2$  Scroll Compressor for Automotive Air-conditioning Systems *The International Symposium on HCFC Alternative Refrigerants and Environmental Technology 2000: Latest technology for Energy Conservation, Refrigerants and Recycling on Air-Conditioning and Refrigeration Equipment for the 21st century*. Proceedings.

Kostadinov, S., Lyubenov, D., Balbuzanov, T. & Atanasova-Petrova, P. (2016). Study of driver behaviour. *Proceedings of University of Ruse*. Vol. 55. book 4. 30 – 34. (Оригинално заглавие: Костадинов, С., Любенков, Д., Балбозанов, Т., & Атанасова –Петрова, П. (2016) Изследване на поведението на водачи на моторни превозни средства. *Научни трудове на РУ*. Том 55. Серия 4. 30 – 34)

Ravikumar, T., & Mohan Lal, D. (2009). On-road performance analysis of R134a/R600a/R290 refrigerant mixture in an automobile air-conditioning system with mineral oil as lubricant. *Energy Conv. and Manag.* 50.

Regulation (EU) no 517/2014 of the European parliament and of the Council of 16 April 2014 on fluorinated greenhouse gases and repealing Regulation (EC) No 842/2006.

Yu, C., & Tun-Ping, T. (2014). Retrofit assessment of refrigerator using hydrocarbon refrigerants. *Applied Thermal Engineering*, vol. 66, 507-51